

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
ТАДЖИКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Садриддина Айни**

На правах рукописи

УДК 634+635-151(575.3)

КУРБОНОВ Мухамадали Файзалиевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ,
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ, АДСОРБЦИОННЫХ И
МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА
ПИВА ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

*диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности
01.04-14– Теплофизика и теоретическая теплотехника*

Душанбе – 2023

Работа выполнена на кафедре «Общая физика» Таджикского государственного педагогического университета имени С.Айни.

Научный руководитель: **Сафаров Махмадали Махмадиевич** – Заслуженный деятель науки и техники Таджикистана, академик международной академии (МИА), академик инженерной академии (ИА) РТ, доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Пономарев Сергей Васильевич** – доктор технических наук, профессор, Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

Рахимов Хуршед Абдуллоевич – кандидат технических наук, и. о., доцент, декан факультета «Инженерии и отраслевой экономики» Институт энергетики Таджикистана. (г. Бохтар)

Ведущая организация: **Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии (ИВП, ГЭ и Э), Национальная академия наук Республики Таджикистан.**

Защита диссертации состоится «15» января 2024г в 14⁰⁰ на заседании диссертационного совета 6D.KOA-041 при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими, по адресу: 734042, г. Душанбе, проспект акад. Раджабовых 10а, e-mail: d.s6d.koa.041@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими и на официальном сайте университета <http://ttu.tj/>

Автореферат разослан « _____ » _____ 2023 года.

**Ученый секретарь
диссертационного совета 6D.KOA-041,
кандидат технических наук, доцент**

Тагоев С.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Сегодня во всем мире отмечается преобладающий интерес к качеству продуктов питания, вызванный соответствующим развитием стран и государств мира. В подавляющем случае решение поставленного вопроса, связанного с недостатком или экономией как энерго-, так и экономических ресурсов, главным образом, зависит от местных географических возможностей.

Актуальным вопросом на сегодняшний день считается тщательное изучение термодинамических и физико-химических свойств веществ, при этом учитываются происходящие процессы на уровне межчастичного взаимодействия с учетом ориентационных эффектов, развитие которых наблюдается в пищевых продуктах под влиянием внешнего поля, температуры и давления. Глубокое изучение 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 эффективности выбранных конструктивных решений, определения времен «живучести» продуктов пива до ухудшения его свойств и необходимости перезаправки, является чрезвычайно важной и актуальной проблемой.

Связь работы с научными программами и грантами. Диссертационные исследования выполнены в рамках научно-технической программы «Теплофизика и теплоэнергетика» по направлению научной деятельности Технологического университета Таджикистана «Разработка методов и средств повышения надежности и эффективности эксплуатации энергетических средств в мини пивзаводах». Основные результаты диссертации, представленные в качестве аппроксимационных зависимостей по физико-химическим и термодинамическим свойствам изученных веществ, применяются в соответствующих расчетах в процессах проектирования мини пивзаводов. Аппроксимационные зависимости, полученные по составленным подробным таблицам термодинамических и физико-химических свойств системы вода и сусло в условиях аэрации и без аэрации, рекомендуется для использования проектными организациями при расчёте различных технологических и химических процессов, а разработанная аппаратура для выполнения научно-исследовательских работ.

Целью 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. Определение состояния исследования основных закономерностей касательно технологии производства пива в условиях Республики Таджикистан.

2. Исследование физико-химических и термодинамических свойств, 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. Определение механизмов 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 суслу на стадии основного брожения при разных температурах.

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

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

Разработаны и созданы установки для:

а) реализации методов монотонного разогрева и регулярного теплового режима первого рода, служащие основой для экспериментального исследования теплопроводности, температуропроводности и теплоёмкости объектов (сусло+вода) при различных температурах и давлениях;

б) получения термограмм исследуемых веществ;

в) получения экспериментальных значений физико-химических, термодинамических свойств изучаемых веществ при температурах от 298 до 379К и давлениях от 0,101 до 9,81 МПа;

г) выявления зависимости физико-химических и термодинамических характеристик изучаемых системы (сусло + вода) от температуры и давления;

д) получения аппроксимационных зависимостей на основе проведенных экспериментальных исследований, позволяющих установить взаимосвязь между названными параметрами и параметрами состояния;

ж) на основе выполненных экспериментов и соответственного анализа по исследованию кинетики процессов разложения изучаемых веществ в результате термохимического воздействия, выявлена динамика и константы формальной кинетики данной реакции.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

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

2. Разработан способ изменения теплофизических параметров (p , λ , c_p , a) суслу 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: $P-\lambda-T$; $P-a-T$; $P-c_p-T$; $P-c_p-\rho-T$, позволяющие вычислить данные параметры в неисследованных точках температуры, давления и концентрации компонентов.

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

Практическая ценность работы:

1. Усовершенствованные экспериментальные установки можно использовать для определения физико-химических свойств и скорость разложения продуктов для производства пива с существенной экономией времени и ресурсов, с учетом 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 расчетах процессов и технологических аппаратов производства пива.

3. Кинетические параметры реакций термического разложения, определенные по экспериментальным данным, позволяют оценить период эффективности 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.

Результаты исследования внедрены:

Усовершенствованные экспериментальные установки для измерения теплоемкости, температуропроводности, теплопроводности и получения термограммы системы «сусло + вода» используется в научных и учебных лабораториях кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Технологического университета Таджикистана преподавателями, аспирантами, магистрантами при выполнении выпускных, квалификационных и научных работ. В предприятии ООО «Санет» в технологическое оборудование были внесены усовершенствования (уменьшение толщины корпуса варочного оборудования, уменьшение оборота мешалок, изменение направления движения теплоносителя)

и заменен зарубежный солод на солод производства Республики Таджикистан (акты о внедрении результатов прилагаются).

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 сула 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 помощью 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 (предэкспоненты энергии активации);
6. Результаты исследований кинетики протекания химических процессов на стадии главного брожения и разработанная математическая модель кинетики сбраживания пивного сула.

Степень достоверности результатов исследований подтверждается результатами контрольных измерений на опытных устройствах, применяемых для экспериментов; 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.

Личный вклад автора заключается в постановке и выполнении задач исследования, в выборе методов и установления пошагового 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, получении данных по энергии активации, степени и кинетики разложения, а также в самостоятельном проведении соответствующей обработки и анализа, полученных в ходе экспериментов результатов по физико-химическим и термодинамическим свойствам (теплопроводность, теплоемкость, плотность, температуропроводность,

разность энтальпии, разность энтропии, энергии Гиббса, энергии Гельмгольца, внутренняя энергия, коэффициент изотермической сжимаемости, коэффициент объемного расширения, разность теплоемкости и коэффициентов модифицированных уравнений типа Тейта) и получении основных выводов по выполненному объему работы.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на: 23th National and International Meeting on Inverse Problems. Michigan, USA, (2010); 2^{-ой} Международной научно-технической конференции "Новое в технологии и технике пищевых производств" Воронеж, (2010); Республиканской научной конференции "Проблемы современной координационной химии", посвященной 60-летию члена корреспондента АН РТ, доктора химических наук, профессора Аминджонова А.А., Душанбе, (2011); 13^{-ой} Российской конференции по теплофизическим свойствам веществ (с международным участием), Новосибирск (2011); 4^{-ой} Международной научно-практической конференции "Современные энергосберегающие тепловые технологии, СЭТТ", Москва, (2011); 19 European Conference on Thermophysical Properties, Thessaloniki, Greece, (2011); Республиканской научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений», посвященной 70-летию профессора О. Азизкулова, Душанбе, (2011); 18^{-th} Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, Colorado, USA, (2012); Восьмой Международной теплофизической школе, посвященный 60-летию профессора Сафарова М.М., Душанбе-Тамбов, (2012); 4^{-ой} Конференции Евро-Азии, Москва, (2014); Девятой Международной теплофизической школе "Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий", Душанбе-Москва-Тамбов, (2014); VII^{-ой} Международной научно-практической конференции: «Научное обозрение физико-математических и технических наук в XII веке», Москва, (2014); 10^{-ой} Международной научно-практической конференции «Образование и наука» Руснаука, Прага, (2014); Международной научно-технической конференции "Нанотехнологии функциональных материалов" (НФМ-2114), Санкт-Петербург, (2014); Десятой Международной теплофизической школе "Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий", Душанбе-Москва-Тамбов, (2016); Конференции ТНУ, Душанбе, (2016).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы изложены в 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.

Структура и объём работы. Настоящая исследовательская работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка использованной литературы из 212 наименований. В работе также содержатся 41 рисунков, 34 таблиц, 12 страниц приложения включительно и в целом изложена на 170 страницах машинописного текста.

Соответствие паспорту специальности

По тематике, методом исследования предложенным новым научным положением диссертации соответствует паспорту специальности научных работников 01.04.14. «Теплофизика и теоретическая теплотехника» в части п. 5. «экспериментальные и теоретические исследования однофазной, свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров теплопередающих поверхностей», в части п. 7. «Экспериментальные и теоретические исследования процессов совместного переноса тепла и массы в бинарных и многокомпонентных растворах с добавкой твердых наночастиц, включая химически реагирующие наножидкости», в п. 9. «разработка научных основ и создание методов интенсификации процессов тепла и массообмена в продуктах пива»

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

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 (энтальпия, энтропия, энергия Гиббса, энергии Гельмгольца и др.) и исследования процесса изменения адиабатического измерения температуры.

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. Подобные исследования могли бы быть полезными и при теоретическом описании жидких многофазных сред.

Во 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 сусла 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.

Экспериментальная установка для комплексного определения теплофизических свойств при различных температурах и давлениях (Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 100, 2007, 5с).

Главными элементами, из которых состоит установка, являются (рисунок 1): бикалориметр, пережимной сосуд высокого давления (13), грузопоршневой манометр МП-2500 (16) и электроизмерительные приборы. Для учета температурных изменений применена термопара (хромель-алюмель ($\varnothing=0,15\text{мм}$)) с потенциометром (Р 37-1 классом точности 0,001). Для создания необходимой

разности для размещения холодного спая термопары был применен сосуд Дьюара со льдом. Изменение температуры опыта также измерялась хромель-алюмелевой термопарой (не более 0,02 К) и гальванометром марки М 17/4. Для измерения разности температуры на границах слоя изучаемого вещества тоже использовалась хромель-алюмелевая термопара концами соединенной к гальванометру марки М 17/2. Для этого ее горячий спай помещают в измерительный цилиндр (2), а холодный – в наружный цилиндр (7). Внутренний нагреватель из нихрома ($\varnothing=0,15\text{мм}$), служащий для создания разности температур (1,31-0,65) К и горячий спай термопары изолированы от исследуемой среды стеклотканью с клеевой пропиткой (клей БФ-2), при этом они находились при атмосферном давлении. Питание нагревателя обеспечивается от электросети понижающим трансформатором.

Погрешность измерения теплопроводности составила: относительная при $\alpha = 0,95 - 1,9\%$, методическая – 0,2%, инструментальная – 1,1%, общая относительная – до 3,2%.

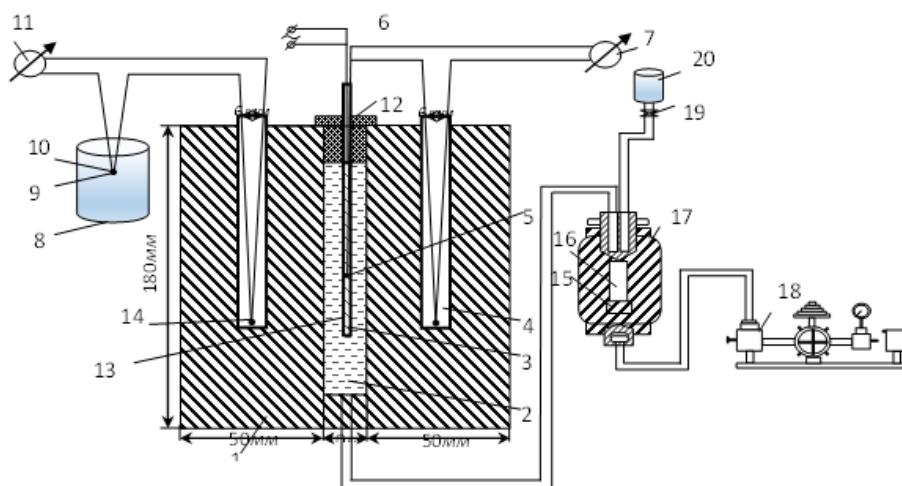


Рисунок 1. Схема установки для комплексного определения теплофизических свойств растворов: 1-калориметр, 2-измерительный цилиндр, 3-тонкостенная металлическая трубка, 4, 14-дифференциальная термопара, 5-горячий спай термопары, 6, 13-маломощный нагреватель, 7, 11-гальванометр, 8-сосуд Дьюара, 9-водоледеная смесь, 10-холодный спай термопары, 12-металлическая пробка, 15-глицерин, 16-полиэтиленовый мешочек, 17-пережимной сосуд, 18-грузопоршневой манометр, 19-вентиль, 20- металлический стакан для заполнения исследуемых объектов.

Расчет термодинамических свойств продуктов пива. Расчет энергии Гиббса.

В основу положений Гиббса заложен принцип равновесия, который описывается ростом энтропии в изолированных системах. Суть принципа заключается в том, что при достижении системой максимума энтропии, она достигнет равновесия. Математически это условие можно выразить:

$$(\delta\eta)\varepsilon \leq 0, \quad (1)$$

где η – энтропия, ε – энергия.

Закон Гесса.

Тепловым эффектом реакции принято считать энтальпию, которая представляет собой то количество тепла, при котором образуется 1 моль вещества, состоящая из нескольких простых. Закон Гесса представляет собой термохимический метод расчета энтальпии. Его применяют при отсутствии возможности ее экспериментального изучения. Согласно предположениям Гесса энтальпия зависит от природы и физического состояния, входящих в реакцию веществ и конечного продукта.

Энтропия.

Энтропия является логарифмической формой вероятности наличия веществ либо их состояний:

$$S = R \ln W, \quad (2)$$

где R – газовая постоянная; W – вероятность состояния.

В реакции при $T=\text{const}$ и $P=\text{const}$ основополагающей движущей силой является энергия Гиббса (G) (изобарно–изотермический или изобарный потенциал), которую также принято называть свободной энтальпией. Возможность прохождения реакции описывается Энергией Гиббса, которая имеет следующий вид:

$$G=H - TS. \quad (3)$$

Энтальпия. Тепловой эффект реакции.

Наибольший интерес в прикладном плане представляют два типа тепловых эффектов реакции: изотермо-изобарный (при $T = \text{const}$, $P = \text{const}$) и изотермо-изохорный (при $T=\text{const}$ и $V=\text{const}$). Существуют дифференциальный и интегральный тепловые эффекты реакции:

$$u_{T,V} = (\partial U / \partial \xi)_{T,V} = \sum_i v_i u_i, \quad (4)$$

$$h_{T,p} = (\partial H / \partial \xi)_{T,p} = \sum_i v_i h_i, \quad (5)$$

где u_i , h_i – соответственно парциальная внутренняя энергия и молярная энтальпия; v_i – стехиометрический коэффициент ($v_i > 0$ для продуктов, $v_i < 0$ для реагентов); $\Delta = (n_i - n_{i0})/v_i$ – химическая переменная, которая для различных систем отличительна в зависимости от состава изучаемой системы в любом промежутке времени реакции (n_i и n_{i0} – числа молей i -го компонента во время изучения до химического превращения).

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.

Исследование теплофизических свойств системы (вода+сусло), плотность, коэффициент поверхностного натяжения системы (вода+сусло) в зависимости от температуры при атмосферном давлении.

Для правильной организации процесса теплопереноса необходимо выявить характер изменения теплофизических, термодинамических свойств теплоносителей. Физико-химические, термодинамические характеристики исследуемых продуктов пива являются функциями состояния, на величину которых влияют значительное количество факторов, например, их химический состав и структура.

Таблица 1.- Основные физические характеристики системы (вода + сусло).

Образец	n-показатель преломления света	$\rho \cdot 10^3, \text{кг/м}^3$	$\sigma \cdot 10^{-2}, \text{Н/м}$	$\Gamma \cdot 10^{-6}, \text{моль/см}^2$
100%H ₂ O	1,3325	1,000	7,30	-
90%H ₂ O+10%сусла	1,3335	1,010	7,28	0,79
80%H ₂ O+20%сусла	1,3345	1,015	6,89	1,70
70%H ₂ O+30%сусла	1,3360	1,020	6,55	2,66
60%H ₂ O+40%сусла	1,3380	1,025	6,36	3,43
50%H ₂ O+50%сусла	1,3410	1,028	6,30	3,95
40%H ₂ O+60%сусла	1,3420	1,033	6,23	4,65
30%H ₂ O+70%сусла	1,3435	1,036	6,02	5,35
20%H ₂ O+80%сусла	1,3450	1,040	5,80	5,91
10%H ₂ O+90%сусла	1,3460	1,044	5,62	6,43
100% сусла	1,3480	1,048	5,53	7,05

Исследование кинетики разложения в системах вода+сусло.

Согласно методу предложенному Аррениусом, кроме распространенного формально - кинетического описания процесса, зависящего от формы кривых разложения, также признания получили способы изучения механизмов разложения в элементарных процессах твердого вещества, которые в свою очередь зависят от перестройки кристаллической решетки. Основоположниками данных исследований являются Френкель, Вангер, Шоттки, в которых применяются закономерности физической химии твердого тела (теории переноса и разупорядоченности). Поскольку дефекты различной природы оказывают значительное влияние на лимитирующую стадию реакции, соответственно и способы их изучения основываются на влиянии разупорядочивания решетки допированием, механической либо радиационной обработкой реагирующего вещества, которые влияют на его теплопроводность, температуропроводность, термодинамические свойства, а также и на скорость его разложения. Термическое разложение веществ как в твердом, так и в жидком состоянии представляет собой процесс, который закладывает основу подавляющего числа физических и химических явлений, происходящих в природе и промышленных технологиях.

Модель теплового баланса.

Коэффициент полезного действия теплообменных устройств в большей степени зависит от интенсивности теплоотдачи, которая зависит от физико-химических и термодинамических особенностей рабочего вещества. Теплоносители (жидкости) кроме высоких показателей теплофизических параметров (теплопроводность), способствующие интенсификации тепловых потоков в процессе теплоотдачи, под влиянием внешнего поля они еще способны изменять свои характеристики, что является не мало важным в процессах регулирования теплообмена. С целью определения основных параметров кинетики термического разложения водного раствора с добавлением и без добавления в него сухого вещества, был выполнен ряд экспериментальных исследований для установления основных показателей этих параметров, позволяющих установить эффективное время применения предложенной системы продуктов пива.

Обработка результатов эксперимента, численное решение и использование результатов для определения констант формальной кинетики исследуемой реакции проводилась средствами MSEXEL 2010. В результате обработки данных экспериментов численными способами значительно приближеннее оказалось применение полиномы третьей степени (рис. 2-4). Погрешность эмпирического выражения составила не более $1,8 \div 2,0\%$.

Для полученных термограмм наилучше всего подошла степенная функция. Погрешность аппроксимации составила не более $6,5 \div 7,0\%$ (рисунок 2).

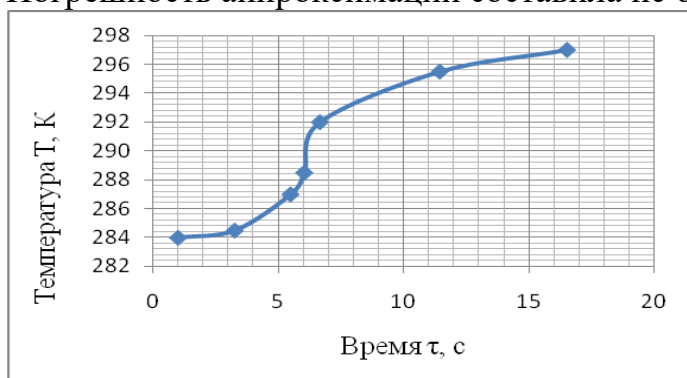


Рисунок 2. Пример экспериментальной термограммы.

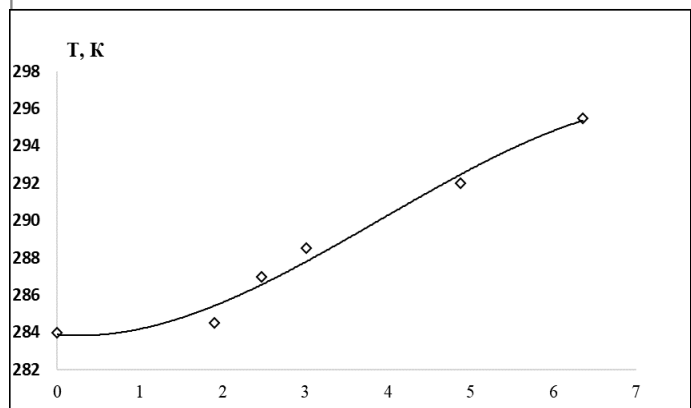


Рисунок 3. Пример начального участка экспериментальной термограммы с нанесенной линией тренда.

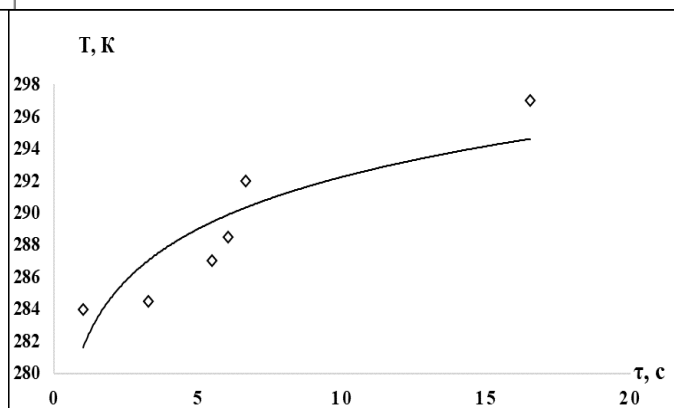


Рисунок 4. Пример экспериментальной термограммы с нанесенной линией тренда.

Расчет кинетики исследуемых образцов.

Для получения результатов кинетики разложения мы воспользовались опытным устройством, представленном в диссертации. В качестве дисперсной фазы нами

использован ячменный порошок (2 г, 4 г, 8 г). Растворителем послужила вода при (T=280 К, 287 К и 288 К).

Результаты исследования на рисунках 5 - 6 представлены графически.

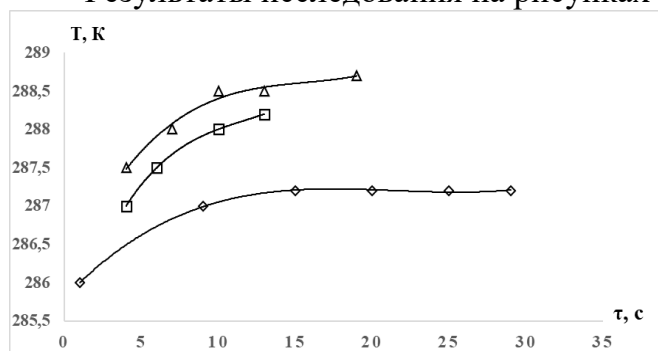


Рисунок 5. Температурная зависимость адиабатического изменения температуры разложения сухого вещества и H₂O от времени.

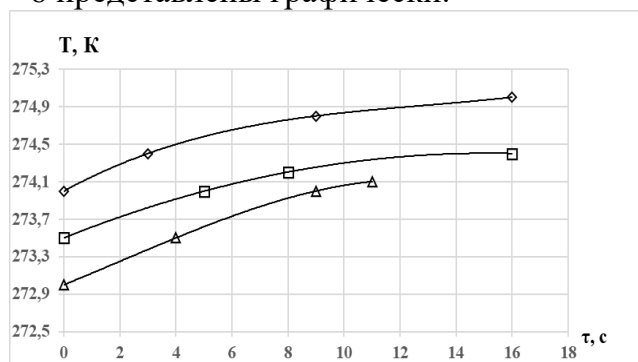


Рисунок 6. Температурная зависимость адиабатического изменения температуры разложения воды и сухого вещества от времени.

Определения кинетики разложения H₂O и доли массы порошка от времени приведена на рисунках 5 и 6.

Как показало исследование при маленьких концентрациях сухого вещества процесс разложения происходит быстрее, чем при больших концентрациях. Эти кинетические кривые, которые исследовались для чистого сухого вещества, удовлетворительно описываются уравнением первого порядка Ерофеева – Колмогорова:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \tau} = k(1 - \alpha) \quad (6)$$

где α - степень разложения, τ - время, сек, k - константа скорости.

После соответственного математического преобразования можно представить это уравнение в виде:

$$\lg(1 - \alpha) = \frac{K_\tau}{2.303} \quad (7)$$

Функциональные зависимости $\lg\left(\frac{1}{1-\alpha}\right)$ от τ приведены на рисунке 7.

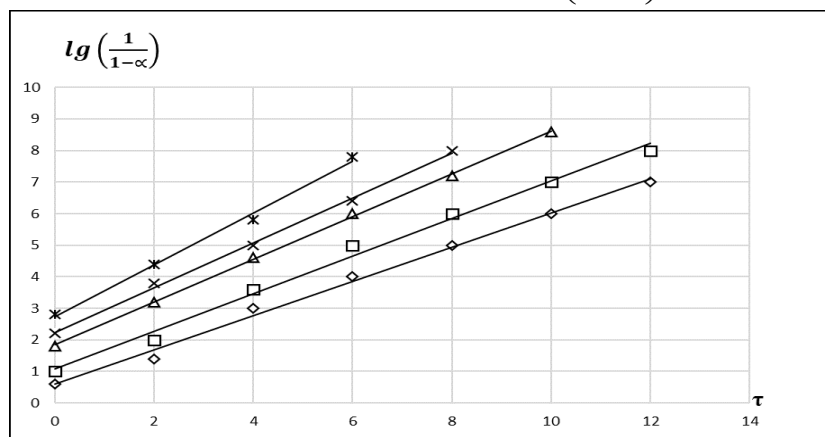


Рисунок 7. Зависимость $\lg\left(\frac{1}{1-\alpha}\right)$ от времени τ .

Из графика, представленного на рисунке 7, были определены значения констант скоростей.

Температурную зависимость константы скорости прохождения химической реакции можно описать согласно Аррениуса, в виде:

$$\lg K = \lg K_0 - \frac{E}{2.303RT} \quad (8)$$

где, R - универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·град.), T – абсолютная температура, К.

Согласно графику экспериментальные значения температурной зависимости константы скорости в соответствующих координатах $\lg K - 1/T$ (рисунок 8) укладываются вдоль прямой.

Величины энергии активации устанавливаются согласно тангенсу угла наклона прямой и по нижеследующему выражению:

$$E = \frac{2.3RT_2T_1}{T_2 - T_1} \lg \frac{K_2}{K_1} \quad (9)$$

Расчетные данные (формула 9) энергии активации в зависимости от времени разложения дисперсной фазы приведены в таблице 2.

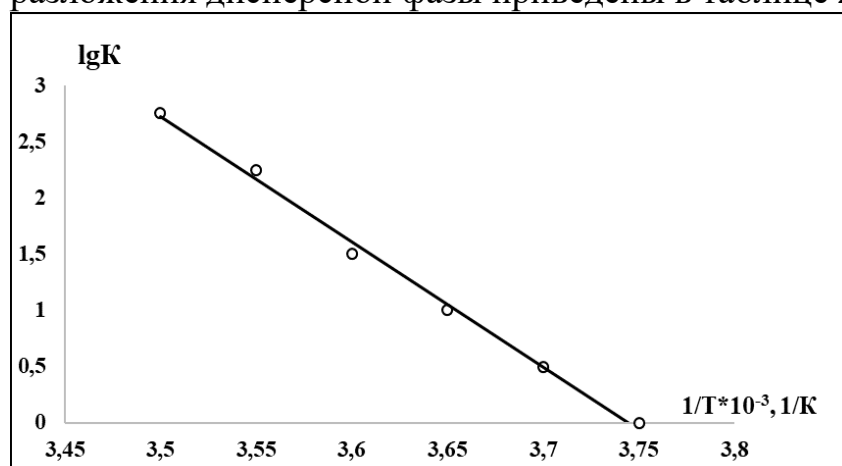


Рисунок 8. Зависимость $\lg K$ от обратной абсолютной температуры.

Таблица 2.- Вычисленные значения энергии активации от времени разложения сухого вещества.

τ, C	1	3	5	8	11	14
E, Дж/моль	$6.11 \cdot 10^6$	$0.32 \cdot 10^6$	$0.12 \cdot 10^6$	$0.11 \cdot 10^6$	$0.084 \cdot 10^6$	$0.069 \cdot 10^6$
E, кДж/моль	6110	320	120	110	84	69

С помощью соответствующих выражений(8 и 9) был произведен расчет энергии активации E, которая соответствует значениям, полученным графическим способом. Расчетные данные по энергии активации и температурная зависимость скорости разложения сухих компонентов раствора подтверждают ее прохождение в диффузионно - кинетической области. Надо отметить, что, используя теорию Аррениуса, или другие теории также можно изучить механизм происхождения химических реакций многокомпонентных систем и комплексов веществ.

Влияние температуры на изменение скорости химической реакции согласно теории Аррениуса-Эйринга.

Применив опытные данные по зависимости времени старения веществ от влияния температуры (электролитов и воды) и теорию Аррениуса-Эйринга нами была выч

ислена скорость C этой же целью на плоскости (x, y) был построен график зависимости $\tau = f(1/T)$, (рисунок 9 и 10).

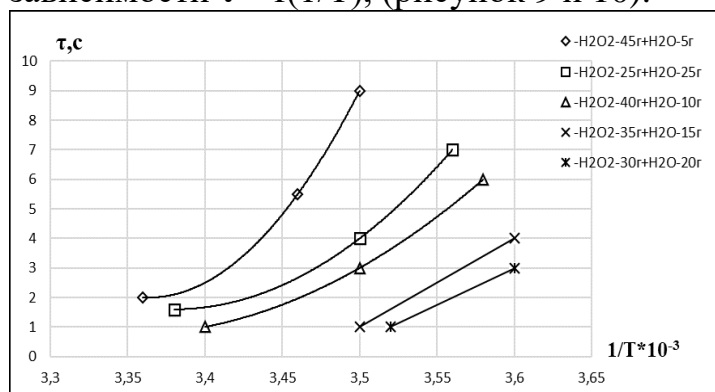


Рисунок 9. Зависимость продолжительности старения электролита от обратной температуры.

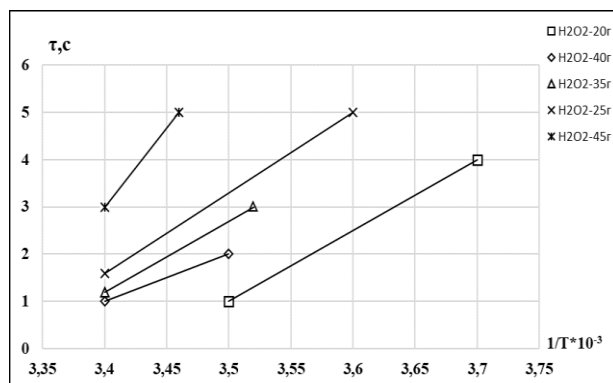


Рисунок 10. Зависимость продолжительности старения электролита (сухого вещества и воды) от обратной температуры старения.

Было установлено, что длительность процесса старения напрямую зависит от температуры следующим образом:

$$\ln \tau = \frac{A}{T} + B, \quad (10)$$

где A и B – постоянные изучаемого материала из условий теплового старения, анализ которых показал, что данные величины ничто иное как функция массы второго компонента (уравнение 11 и 12):

$$A = -323 \cdot 10^7 m^2 + 902569,1 \cdot m + 2880,01 \quad (11)$$

$$B = 80285,4 \cdot m^2 - 2346,6 \cdot m - 11,461 \quad (12)$$

Уравнение (13) с учетом (11) и (12) принимает вид:

$$\ln \tau = \frac{(-323 \cdot 10^7 m^2 + 902569,1 m + 2880,014)}{T} + (80285,359 m^2 - 2346,56 m - 11,460) \quad (13)$$

Решая уравнение (13), можно установить соответствующее время старения теплоносителей, для чего следует располагать соответствующими значениями массы второго компонента и температуры. Было показано, что логарифмическая зависимость τ от величины, которая является противоположной температуре старения вещества и обратной температуре старения, должна будет соответствовать закону прямой.

Подобного рода зависимости используются и для установления длительности применения изоляции и жидкостей (растворов) в разных конструкциях. Выполнимость (13) графически показана на рисунке 11. Согласно графику 12 начало процесса старения приходится к 278 К

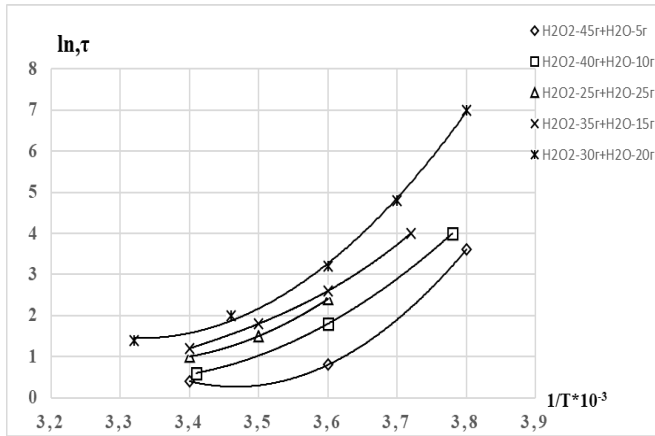


Рисунок 11. Зависимость логарифма времени старения от обратной температуры старения.

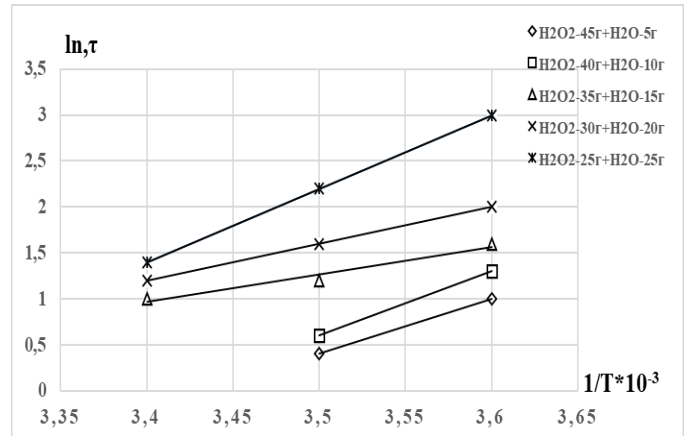


Рисунок 12. Зависимость логарифма времени старения от обратной абсолютной температуры.

Расчет гиббсовской адсорбции из изотермы поверхностного натяжения методом графического дифференцирования.

Адсорбция (Γ) растворенного вещества в зависимости от изменения его поверхностного натяжения описывается уравнением Гиббса. Для разбавленных неэлектролитных растворов оно имеет следующий вид:

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial C} \right), \quad (14)$$

согласно которому направление процесса (концентрирование вещества на поверхности, либо в объемной фазе) определяется установлением знака $\frac{d\sigma}{dC}$:

- I. Если $\frac{d\sigma}{dC} < 0$, то $\Gamma > 0$, тогда концентрация вещества в поверхностном слое больше, чем в объеме ($C_s > C_v$), данное вещество ПАВ.
- II. Если $\frac{d\sigma}{dC} > 0$, то $\Gamma < 0$, тогда концентрация вещества в поверхностном слое меньше, чем в объеме ($C_s < C_v$), данное вещество ПАВ.
- III. Если $\frac{d\sigma}{dC} = 0$, то $\Gamma = 0$, следовательно концентрация вещества в поверхностном слое равна концентрации вещества в объеме раствора ($C_s = C_v$), данное вещество ПИВ и ПНВ.

Если располагать значениями зависимости поверхностного натяжения раствора от концентрации растворенного в нем вещества, то путем графического дифференцирования можно вычислить изотерму адсорбции ПАВ, т.е. $\sigma = f(C)$, для чего в нескольких точках кривой $\sigma = f(C)$ проводят касательные и уточняют тангенсы угла их наклона, отвечающие значениям производных $\partial \sigma / \partial C$ в данных точках (рисунок 13). Зная их значения с помощью уравнения адсорбции Гиббса можно вычислить значения Γ , по которой строится изотерма адсорбции $\Gamma = f(C)$ (рис.14).

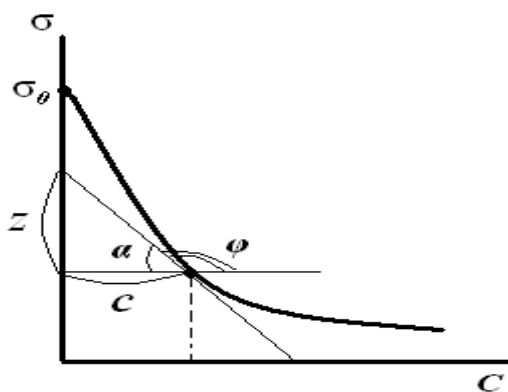


Рисунок 13. Графическое определение величины адсорбции по изотерме поверхностного натяжения.

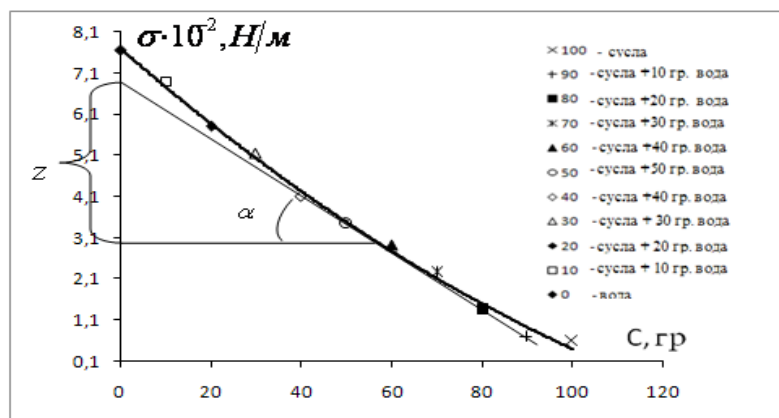


Рисунок 14. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения от концентрации.

Из рисунка 14 видно, что: $\frac{d\sigma}{dC} = \operatorname{tg}\varphi = -\operatorname{tg}\alpha = -\frac{z}{C}$

Подставим полученное значение в уравнение Гиббса (15)

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial C} \right) = -\frac{C}{RT} \operatorname{tg}\Psi = -\frac{C}{RT} \left(-\frac{z}{C} \right) = \frac{z}{RT} \quad (15)$$

$$\rho = (2,671n - 2,552) 10^{-3}, \text{ кг} \cdot \text{ м}^{-3} \quad (16)$$

$$\rho = (-0,0001C + 1,049) 10^{-3}, \text{ кг} \cdot \text{ м}^{-3} \quad (17)$$

$$\sigma = (-40,67\rho + 48,12) 10^{-3}, \text{ Н} \cdot \text{ м} \quad (18)$$

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.

Плотность пивного сусла в зависимости от температуры в режиме аэрации и без аэрации.

Критериальное уравнение, служащее для описания теплообменных процессов в рассматриваемом роторно - пленочном аппарате (РПА) записывается в виде:

$$Nu = f \left(\operatorname{Pr}; \operatorname{Re}; \operatorname{Re}_{nl}; K_{\varrho}, \frac{\delta}{D_A}, \frac{H}{D_A}, \frac{\omega_0}{\omega_z} \right) \quad (19)$$

Теплопроводность, объемную теплоемкость, температуропроводность устанавливают путем использования метода двух температурных точек.

В реальных условиях данное выражение в процессе концентрирования пивного сусла в РПА может быть установлено только опытным путем и соответствующей математической обработкой, а его критерии уточняются за счет

ТФС при разных условиях течения процесса. Для этого было разработано опытное устройство, с помощью которого можно определить искомые величины. Для измерения плотности концентрированного пивного сусла использован метод гидростатического взвешивания. Значения по плотности продуктов пива, полученные в ходе соответствующих экспериментов в зависимости от температуры и концентрации сухого вещества (сусла) при аэрации и без нее показаны в таблицах 3 и 4.

Таблица 3.- Плотность (ρ , кг/м³) концентрированного пивного сусла при различных температурах и атмосферном давлении на линии насыщения, без режима аэрации.

T, К x, %	293	303	313	323	333
5	1017,2	1014,3	1011,4	1008,5	1005,6
6	1021,7	1018,8	1015,9	1012,9	1010,1
7	1025,9	1022,9	1020,0	1017,1	1014,1
8	1030,8	1027,8	1024,9	1021,9	1019,0
9	1035,4	1032,5	1029,5	1026,5	1023,6
10	1039,9	1036,9	1034,0	1031,0	1028,0

Таблица 4.- Плотность (ρ , кг/м³) пивного сусла в зависимости от температуры на линии насыщения с учетом режима аэрации.

T, К x, %	293	303	313	323	333
5	988,7	984,5	981,6	978,0	975,4
6	991,1	987,6	985,0	982,1	979,8
7	995,2	992,0	988,0	985,0	983,7
8	999,9	996,7	993,5	995,4	992,9
9	1004,7	1005,8	1002,4	995,4	992,9
10	1008,7	1005,8	1002,4	999,3	997,2

Согласно таблицам 3 и 4 плотность концентрированного продукта пива с увеличением температуры (без режима аэрации и с учетом режима аэрации) уменьшается, а с добавкой количества сусла плотность растет. Например, для образца имеющего 8 % сусла с учетом аэрации изменение температуры в интервале 293-333К, плотность уменьшается на 12 %. При температуре T = 313 К и росте количества сухого вещества x = 5÷10%, плотность образцов без режима аэрации растет на 2,2 %. Как видно из таблиц 3 и 4 плотность образцов с учетом аэрации меньше, чем плотность образцов без режима аэрации. Это обусловлено тем, что при аэрации продуктов пива объем увеличивается, соответственно и уменьшается плотность образцов. Например, при T = 293 К у образца №1 (95 % H₂O + 5 % сусла) плотность уменьшается на 2,9 %, а при T = 333 К плотность этого же образца уменьшается на 3,1 %. Результаты экспериментального исследования показали, что режим аэрации приведет к увеличению объема сусла,

из-за чего соответственно будет уменьшаться плотность и вязкость продуктов пива. Эксперимент показал, что плотность продуктов пива с увеличением температуры, как в режиме аэрации, так и без режима аэрации уменьшается по линейному закону, при увеличении количества суслу, плотность объектов также растет по линейному закону (таблицы 3 и 4).

Для обобщения и обработки экспериментальных данных по плотности образцов нами использован закон соответственных состояний в следующем виде:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (20)$$

где ρ и ρ_1 - плотность образцов в режиме аэрации при различных температурах T и при T_1 ($T_1 = 313\text{K}$).

Выполнимость функциональной зависимости (20) показана на рисунке 15 и 16.

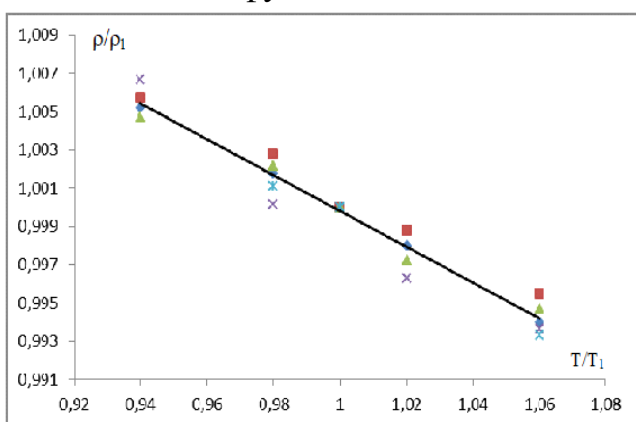


Рисунок 15. Зависимость относительной плотности (ρ/ρ_1) от относительной температуры (T/T_1) в режиме без аэрации при различных температурах и концентрации суслу.

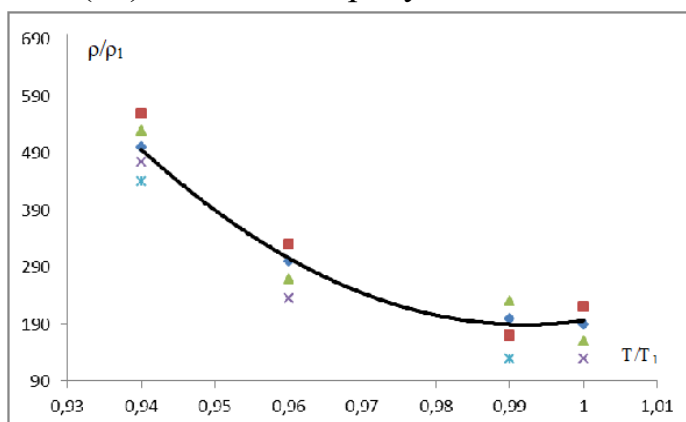


Рисунок 16. Зависимость относительной плотности (ρ/ρ_1) от относительной температуры (T/T_1) в режиме аэрации при различных температурах и концентрации суслу.

Как видно из рисунков 15 и 16, относительная плотность образцов от относительной температуры в условиях, не предусматривающих аэрацию и с учётом режима аэрации, подчиняются линейному и квадратичному законам соответственно, уравнения которых имеют следующий вид:

- для образцов без условия аэрации:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = 1,09 - 0,09\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (21)$$

- для образцов с учётом аэрации:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = \left[-0,233\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 0,36\left(\frac{T}{T_1}\right) + 0,873 \right], \quad (22)$$

Анализ значений ρ_1 показал, что они представляются в качестве функции концентрации дисперсной фазы (суслу).

Для образцов при различных условиях без и с аэрацией выражения представляются в виде (рисунок 17):

- без аэрации:

$$\rho_1 = 4,52x + 988,8, \text{ кг/м}^3, \quad (23)$$

- с учётом аэрации

$$\rho_1 = 4,08x + 961,2, \text{ кг/м}^3 \quad (24)$$

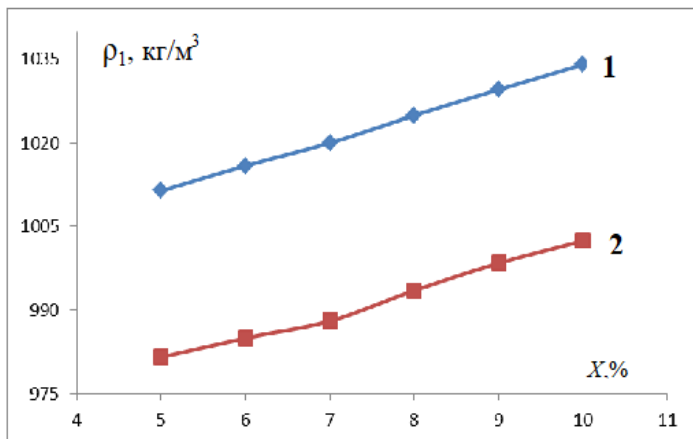


Рисунок 17. Зависимость ρ_1 от концентрации сухого вещества суслу при температуре $T_1=313$ К для образцов в режиме аэрации и без режима аэрации: 1 – без режима аэрации; 2 – в условиях аэрации.

Из уравнений (21) и (22) с учётом (23) и (24) получим:

$$\rho = \left[1,09 - 0,09 \left(\frac{T}{T_1} \right) \right] (4,52x + 988,8), \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (25)$$

$$\rho = \left[0,233 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 0,36 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 0,873 \right] (4,08x + 961,2), \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (26)$$

Исходя из сказанного, **основной целью данной главы** является изучение влияния аэрации в процессе главного сбраживания на основные физико-химические, химико-биологические параметры и на вкусовые качества пива.

Влияние температуры, количества сухого вещества на изменение теплопроводности продуктов пива без режима аэрации.

В работе показаны итоги опытного изучения теплопроводности компонентов пива в зависимости от температуры (293-333) К и концентрации сухого вещества (0-10) %. На основе экспериментальных данных получено эмпирическое уравнение. Теплопроводность образцов исследования была определена с помощью метода регулярного теплового режима с общей относительной погрешностью при $a = 0,95$ 3,5 %.

Поверхностное натяжение, возникающее на границе между пивным сусликом со смесью его паров и воздухом, производилось методом наибольшего давления пузырьков (метод Ребиндера). Теплопроводность образцов исследовалась с помощью цилиндрического бикалориметра, позволяющий проводить измерения при изменении температуры и давления опыта, с погрешностью, не превышающей значения 3,2 %.

Нами были исследованы следующие образцы: образец №1 – (H₂O + 5 % суслу); образец №2 – (H₂O + 6 % суслу); образец №3 – (H₂O + 7 % суслу); образец №4 – (H₂O + 8 % суслу); образец №5 – (H₂O + 9 % суслу); образец №6 – (H₂O + 10 % суслу).

Таблица 5.- Плотность (ρ , кг/м³) концентрированных продуктов пива при различных концентрациях сухого вещества при T = 293 К без режима аэрации.

x, %	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
ρ , кг/м ³	1017,2	1021,7	1025,9	1030,8	1035,4	1039,9

Согласно таблице 5 рост концентрации сухого вещества способствует повышению плотности пивного суслу по линейному закону. Изменение концентрации сухого вещества от 5 – 10 %, увеличивает плотность образцов порядка 2,23 %.

Таблица 6.- Экспериментальные данные теплопроводности пивного суслу ($\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)) при различных температурах и концентрациях сухого вещества без режима аэрации.

Концентрация, %	Температура T, К				
	293	303	313	323	333
5,0	461,1	473,3	485,0	496,7	508,5
6,0	458,1	470,1	481,7	493,4	505,0
7,0	454,5	466,4	477,9	489,5	501,0
8,0	450,9	462,8	474,2	485,8	497,1
9,0	446,9	458,7	470,0	481,4	492,7
10,0	443,5	455,2	466,1	477,7	488,9

Как видно, из таблицы 5 при увеличении температуры от 293 – 333 К увеличивается теплопроводность образца №1 на ~10,3 %, а для образца №6 рост теплопроводности составил ~ 10,2 %. При температуре T = 293 К происходит увеличение концентрации сухого вещества от 5 – 10 %, теплопроводность уменьшается на 3,97 %, а при T=333 К это разница будет равна 4,0 %.

Обработка и соответствующее обобщение результатов экспериментов нами была проведена согласно закону соответственных состояний:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (27)$$

где: λ и λ_1 – теплопроводность образцов при атмосферном давлении без режима аэрации при T и T₁; T₁ = 313 К.

Выполнимость (28) представлена на рисунке 18.

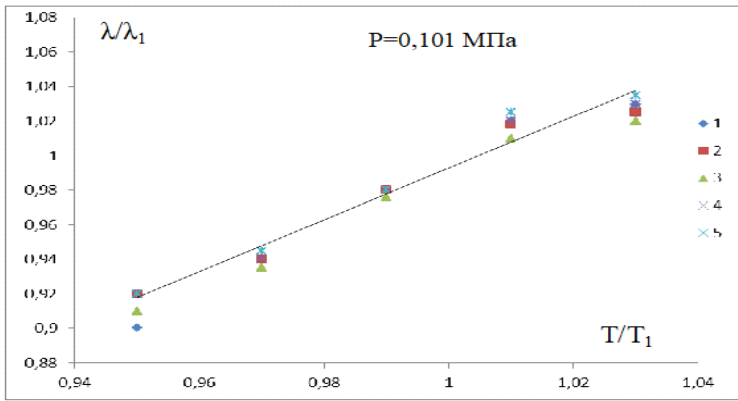


Рисунок 18. Зависимость относительной теплопроводности образцов (λ/λ_1) от относительной температуры (T/T_1): 1 – образец №1; 2 – образец №2; 3 – образец №3; 4 – образец №4; 5 – образец №5.

Согласно рисунку 18 все значения экспериментальных точек на графике соответствуют их прямой, уравнение которой можно записать в виде:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = \left[0,754 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 0,286 \right] \quad (28)$$

Анализ значений λ_1 показал, что они представляются в виде функциональной зависимости концентрации сухого вещества (рисунок 19).

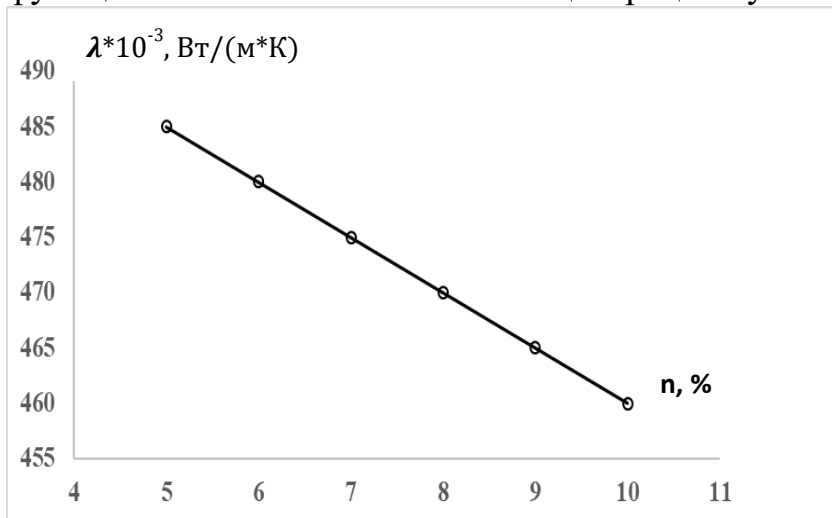


Рисунок 19. Зависимость λ_1 от концентрации сухого вещества при температуре 313 К без режима аэрации.

Линия графика, изображенная на рисунке 25, выглядит следующим образом:

$$\lambda_1 = 0,508 - 0,00376 x, \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})} \quad (29)$$

Уравнение (28) с учетом (29) примет вид:

$$\lambda = \left[0,714 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 0,286 \right] \left(0,5038 - 0,00376x \right), \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})} \quad (30)$$

Воспользовавшись (30) теплопроводность неисследованных продуктов пива, исключая процесс аэрации, можно вычислить с погрешностью до 2,5%, для чего достаточно располагать значениями концентрации сухого вещества в сусле.

Взаимосвязь между теплоемкостью и кинетикой продуктов пива при различной концентрации сусла, без режима аэрации.

Для косвенных определений теплоемкости объектов обычно разрабатывают или используют две или три экспериментальные установки для измерения теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности при различных параметрах состояния, а затем рассчитывают теплоемкость C_p образцов следующим выражением:

$$C_p = \frac{\lambda}{a\rho}, \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \quad (31)$$

Результаты контрольных измерений совпадают с литературными данными в пределах погрешности опыта. Результаты экспериментального исследования представлены в таблице 7.

Таблица 7.- Теплоемкость (C_p , Дж/(кг·К)) продуктов пива (вода+сусло) в зависимости от температуры концентрации сусла при атмосферном давлении, без режима аэрации.

Т,К	Образцы						
	Н ₂ О	Н ₂ О+5 % сусло	Н ₂ О+6% сусло	Н ₂ О+7% сусло	Н ₂ О+8% сусло	Н ₂ О+9% Сусло	Н ₂ О+10% сусло
298,3	3993	3554	3450	3340	3290	3160	3090
308,6	3961	3740	3610	3500	3406	3263	3200
318,9	4130	3934	3800	3682	3584	3334	3270
328,4	4370	4192	4050	3900	3800	3650	3443
337,6	4630	4440	4300	4132	4040	3860	3690
348,0	4960	4820	4630	4410	4300	4150	3948
358,4	5350	5200	5030	4840	4680	4510	4330
368,2	5780	5600	5460	5244	5080	4936	4760
378,5	6240	6030	5875	5700	5558	5360	5240

Как видно из таблицы 7, с ростом температуры теплоемкость увеличивается, а с увеличением концентрации сусла уменьшается. Например, при температуре $T = 298,3$ К теплоемкость при добавке 10 % сусла воды уменьшается на ~ 22,6 %, а при температуре $T = 378,5$ К это изменение доходит до ~16,0 %. Надо отметить, что экспериментальные работы проведены в равновесных условиях, имеется ввиду тепловое, механическое равновесие. Изменение шага температуры в экспериментах равнялось ~ (8 – 10 К).

Обработка результатов экспериментов по теплоемкости нами выполнена с помощью:

$$\frac{C_p}{C_p^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (32)$$

где C_p и C_p^* - удельная изобарная теплоемкость растворов без режима аэрации при температуре T и T_1 : $T_1 = 337$ К.

Данные изменения показаны в графическом виде на рисунке 20. В соответствии с графиком все экспериментальные данные хорошо повторяют ее кривую, которая имеет уравнение второго порядка:

$$\frac{C_p}{C_p^*} = 8,7 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 15,1 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 7,38 \quad (33)$$

Анализ значения C_p^* позволил установить, что оно представляет собой концентрацию сусла ($n_{\text{сус}}$) (рисунок 21).

Прямая линия, приведенная на рисунке 21, описывается уравнением:

$$C_p^* = 5400 - 172 n_{\text{сус}}. \quad (34)$$

Из уравнения (33) и (34) получим:

$$C_p = [8,7 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 15,1 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 7,38] (5400 - 172 n_{\text{сус}}), \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}, \quad (35)$$

Эмпирическое выражение (35) можно использовать для расчета температурной зависимости теплоемкости неизученных продуктов пива с погрешностью до 3 %, для чего достаточно обладать значениями концентрации сусла ($n_{\text{сус}}$) и температуры.

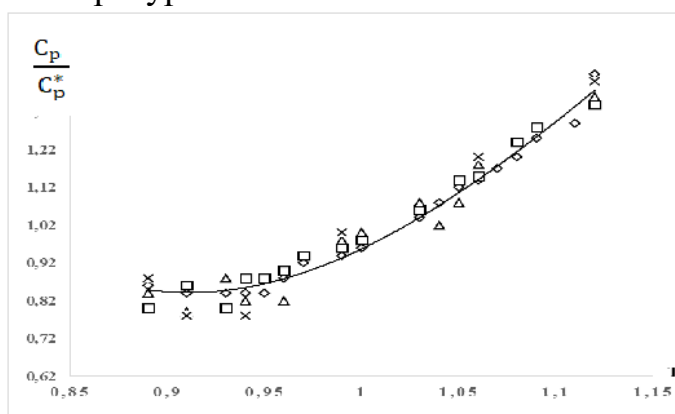


Рисунок 20. Зависимость относительной теплоемкости пивного сусла (C_p/C_p^*) от относительной температуры. T/T_1 : 1 – H_2O ; 2 – $\text{H}_2\text{O} + 5\%$ сусла; 3 – $\text{H}_2\text{O} + 6\%$ сусла; 4 – $\text{H}_2\text{O} + 7\%$ сусла; 5 – $\text{H}_2\text{O} + 8\%$ сусла; 6 – $\text{H}_2\text{O} + 9\%$ сусла; 7 – $\text{H}_2\text{O} + 10\%$ сусла.

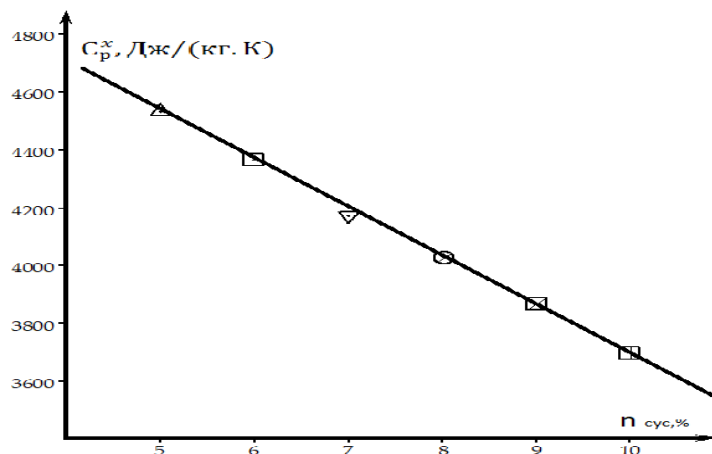


Рисунок 21. Зависимость C_p^* от концентрации сусла ($n_{\text{сус}}$). Значение $n_{\text{сус}}$ берется в %.

Теплоемкость и энтальпия системы продуктов пива в зависимости от температуры и давления без режима аэрации.

Согласно сказанному теплоемкость компонентов пива ($\text{H}_2\text{O} + \text{сусла}$) экспериментально была исследована методом α -калориметра при тепловом и механическом равновесии (таблица 8). Шаг, с которым изменялась температура опыта, составлял $8 - 10^\circ \text{C}$, а по давлению $10 - 50 \text{ МПа}$, с образцами не подверженных аэрации.

Таблица 8.- Теплоемкость $\left(C_p, \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}\right)$ продуктов пива в зависимости от температуры и давления без режима аэрации. Образец №1- (H₂O+5% сусла)

Т, К	р, МПа						
	0,101	1,96	2,94	3,92	4,91	5,88	9,81
298,3	3554	3490	3380	3300	3220	3140	3060
308,6	3740	3610	3506	3402	3300	3240	3103
318,9	3934	3750	3708	3624	3509	3410	3300
328,4	4192	4075	3970	3880	3760	3680	3530
338,6	4440	4342	4254	4164	4032	3912	3832
348,0	4820	4700	4582	4500	4403	4300	4180
358,4	5200	5100	5000	4900	4800	4660	4550
368,2	5600	5500	5400	5300	5200	5100	4940
378,5	6030	5930	5800	5700	5560	5500	5350

Согласно тем данным, которые представлены в таблице 8, теплоемкость компонентов пива с повышением температуры возрастает, а повышение давления и концентрации сусла в образцах, наоборот, становится причиной ее уменьшения. Например, добавка 10 % сусла в воду при T = 298,3 К и p = 0,101 МПа, приводит к уменьшению теплоемкости на 24,9 %, а при этом же давлении (p = 0,101 МПа) и температуре T = 378,5 К эта разница будет равна ~16,0 %. Как выше отмечалось теплоемкость с ростом давления уменьшается. Например, для образца №4 (H₂O + 8 % сусла) при T = 298,2 К теплоемкость уменьшается на ~ 22,5 %, а при T = 378,6 К это изменение доходит до ~ 13,6 %.

Располагая значениями теплоемкости образцов на основе ниже представленной формулы нами произведен расчет разности их энтальпий:

$$\Delta H = \Delta H_0 + \int_{T_0}^T C_p \cdot dT, \text{ Дж/кг}, \quad (36)$$

или

$$\Delta H = \int_{T_0}^T C_p \cdot dT, \text{ Дж/кг}, \quad (37)$$

где, C_p – удельная изобарная теплоемкость, Дж/(кг·К). Результаты расчета для образца №1 – (H₂O + 5 % сусла) приведена на таблице 9.

Таблица 9.- Разность энтальпии продуктов пива в зависимости от температуры и давления.

Образец №1- (H₂O+5% сусла)

Т, К	р, МПа						
	0,101	1,96	2,94	3,92	4,91	5,88	9,81
308,6	38,52	37,18	36,11	35,04	33,99	33,37	31,96
318,9	38,52	38,63	38,19	37,33	36,14	35,12	33,99
328,4	37,33	35,63	35,23	34,43	33,34	32,39	31,35
338,6	43,59	42,38	41,29	40,35	39,10	38,27	36,71
348,0	41,74	40,81	40,41	39,14	37,90	36,77	36,02
358,4	50,13	48,88	47,65	46,80	45,79	44,72	43,47
368,2	50,96	49,98	49,00	48,02	47,04	45,67	44,59
378,5	57,68	56,65	55,62	-	-	-	-

По представленным данным в таблице 9 можно сказать, что разность энтальпии образцов при повышении температуры также повышается и, наоборот, понижается с ростом давления. Введение до 10 % сусла в воду приводит к снижению энтальпии компонентов пива. Например, для образца №5 (H₂O + 9 % сусла) при температуре T₁ = 308,7 К энтальпия уменьшается до 19,7 %, а при T₂ = 378,7 К, это изменение доходит до 15,9 %. Когда p = 0,101 МПа (образец №1 H₂O + 5 % сусла), при увеличении температуры до 378,5 К энтальпия растет до ~ 49,8 %, при данном давлении (образец №6 H₂O + 10 % сусла) в приведенном интервале температур разность энтальпии увеличивается на ~ 51,0 %.

Обработка опытных данных по теплоемкости и энтальпии компонентов пива нами осуществлялась при помощи:

$$\frac{\Delta H}{\Delta H^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (38)$$

где, C_p, ΔH, C_p^{*}, ΔH^{*} - теплоемкость и разность энтальпии при различных температурах и давлениях и при T₁ = 337 К соответственно.

Согласно вышеизложенному, строится график функциональной зависимости теплоемкости C_p^{*} (рисунок 21) от изменения давления:

$$\frac{C_p}{C_p^*} = f\left(\frac{P}{P_1}\right) \quad (39)$$

Выполнимость (39) представлена на рисунке 22.

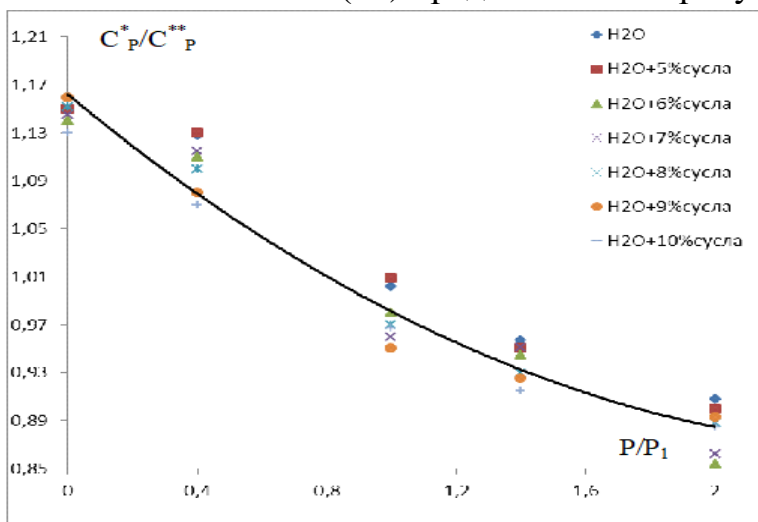


Рисунок 22. Зависимость относительной теплоемкости (C_p^{*}/C_p^{**}) от относительного давления (P/P₁) для образцов продуктов пива без режима аэрации.

Соответствующее уравнение кривой (рисунок 23) имеет вид:

$$\frac{C_p}{C_p^{**}} = \left[0,032 \left(\frac{P}{P_1} \right)^2 - 0,19 \left(\frac{P}{P_1} \right) + 1,16 \right], \quad (40)$$

Анализ значений C_p^{**} позволил установить, что они представляют собой функцию концентрации n_{сусла} – (рисунок 23).

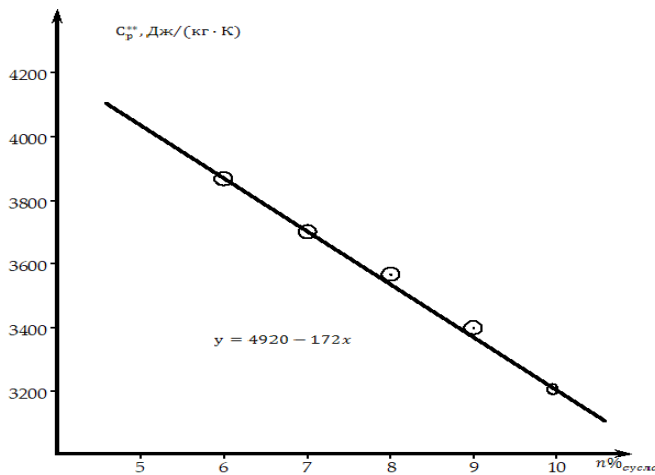


Рисунок 23. Зависимость теплоемкости C_p^{**} от концентрации сусла, образцов для приготовления пива без режима аэрации.

Уравнение прямой (рисунок 23) имеет вид:

$$C_p^{**} = 4920 - 172 n_{\text{сусла}}, \quad (41)$$

С помощью выражения (39), (40) и (41) выражение преобразуется в следующий вид:

$$C_p = \left\{ 8,7 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 15,1 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 7,38 \right\} \left[0,032 \left(\frac{P}{P_1} \right)^2 - 0,19 \left(\frac{P}{P_1} \right) + 1,16 \right] \cdot (4920 - 172 n_{\text{сусла}}) \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad (42)$$

Этим выражением можно вычислить теплоемкость компонентов пива, минуя процесс аэрации семенных дрожжей с погрешностью до 2,8%. Всего лишь необходимо знать концентрацию добавляемого сусла и наполнителя.

Применение уравнения типа Тейта для расчета плотности продуктов пива.

Плотность составных компонентов пива определялась следующим образом:

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho} = C \ln \left[\frac{B + P}{B + P_0} \right] \quad (43)$$

где ρ_0 – плотность образцов при $p_0 = 4,91$ МПа; ρ – плотность образцов при давлении P ; C и B – коэффициенты.

Анализом коэффициентов B и C из (43) выявлено, что они есть функция температуры (таблица 10), т.е. $B = f_1(T)$; $C = f_2(T)$.

Согласно (43) получим:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - C \ln \left[\frac{B + P}{B + P_0} \right]} \quad (44)$$

Выражением (44) при помощи таблицы 10 нами вычислена плотность образцов при различных параметрах состояния.

Таблица 10.- Значения коэффициентов C и B уравнения (44).

Т, К	С	В 10 ⁶ , Па
293,7	0,0069	1,039
315,5	0,0056	1,0467
333,8	0,0061	1,906
353,5	0,0060	2,212
363,4	0,0059	2,52

Результаты использования уравнения типа Тейта для (44) при различных параметрах состояния показаны в таблице 11.

Таблица 11.- Сравнение вычисленных и экспериментальных значений плотности ($\rho_{\text{выч.}}$, кг/м³) продуктов пива по уравнению типа Тейта, при различных температурах и давлениях.

Т,К	p = 9,81 МПа			p = 29,43МПа		
	$\rho_{\text{экс.}}$	$\rho_{\text{выч.}}$	$\Delta, \%$	$\rho_{\text{экс.}}$	$\rho_{\text{выч.}}$	$\Delta, \%$
293,7	1043,7	1040,1	0,28	1049,5	1049,3	0,06
315,5	1033,1	1029,7	0,33	1039,7	1037,9	0,17
333,8	1023,4	1021,6	0,18	1029,5	1028,3	0,12
353,5	1013,0	1012,6	0,04	1019,2	1018,4	0,08
363,4	1008,5	1006,8	0,12	1014,5	1012,9	0,16
Среднеквадратичная погрешность плотности по уравнению (44)			0,19			0,12

Разработанные уравнения для вычисления плотности образцов повторяют экспериментальные в пределах погрешности опыта до 0,16 % в пределах измеряемого диапазона температур и давления $T = (293,7 - 363,4)$ К и $P = (9,81 - 29,43)$ МПа соответственно.

В приложении приведен табулированный вариант результатов сравнения экспериментов и расчетов, выполненных с помощью эмпирических уравнений, полученных на основе анализа и обработки опытных данных по методикам и способам, описанным в четвертой главе настоящей диссертации. Также в приложении работы приведены акты внедрения подтверждающие возможность практической реализации теплофизических и термодинамических свойств рабочего вещества в широкой области изменения параметров состояния.

ВЫВОДЫ

1. Изучены физико-химические, термодинамические свойства и термограммы системы (вода + сусло) в интервале температур (298-379) К, давлений ($p=0,101-9,81$) МПа в зависимости от времени [1-А,2-А,5-А,6-А,8-А,9-А,10-А].

2. Разработана экспериментальная установка для измерения теплоемкости и изменения температуры разложения растворов (методом монотонного разогрева) в зависимости от температуры и давления [1-А,2-А,3-А,5-А,8-А,9-А,10-А].

3. Впервые получены экспериментальные данные по физико-химическим, термодинамическим свойствам и изменению адиабатической температуры исследуемых образцов системы (сухого вещества + вода + сусло) [1-А,2-А,3-А,5-А,6-А,8-А,9-А].

4. Установлено, что добавление сусла и сухого вещества существенно влияет на изменение физико-химических и термодинамических свойств воды [1-А,3-А,6-А,7-А,8-А,9-А,10-А,11-А,18-А,19-А].

5. Показано влияние концентрации сухого вещества и сусла на изменение физико-химических и термодинамических свойств воды [1-А,2-А,3-А,7-А,8-А,9-А,10-А,11-А,13-А,14-А,15-А,16-А,19-А].

6. Приведено качественное и количественное объяснение изменения теплоемкости, теплопроводности, плотности, коэффициента поверхностного натяжения, коэффициента адсорбции исследуемых объектов [1-А,2-А,3-А,6-А,8-А,9-А,10-А,14-А,15-А,16-А,18-А,19-А].

7. Для получения численных значений плотности и калорических характеристик исследуемых веществ впервые нами использованы модифицированные уравнения типа Тейта и уравнение Мамедова-Ахундова и численные методы (методы Гаусса и Крамера) [1-А,2-А,3-А,5-А,6-А,7-А,8-А,9-А,10-А,11-А,12-А].

8. При обработке и обобщении экспериментальных данных по физико-химическим, термодинамическим свойствам получен ряд эмпирических уравнений, позволяющих рассчитать вышеперечисленные характеристики в зависимости от температуры, давления и концентрации суслу [1-А,3-А,5-А,6-А,8-А,9-А,10-А,11-А,12-А,13-А,14-А,15-А,16-А,17-А,18-А,19-А,20-А].

9. Впервые для исследуемых образцов определены константы реакций термохимического разложения с использованием уравнения Ленгмюра – Арениуса [3-А,5-А,6-А,7-А,8-А,10-А,11-А,13-А,14-А,16-А,17-А,19-А, 20-А].

10. Предложено практическое использование полученных результатов в технологии производства пива для инженерных расчетов процессов и аппаратов пищевых производств, моделирования динамики неравномерных процессов и на его основе получен коэффициент теплоотдачи между системами и окружающей средой.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы исследования диссертационной работы.

1. Составлены подробные таблицы теплопроводности, теплоемкости и плотности продуктов пива в большой области изменения температуры (293-673) К, давления (0,101–9,81) МПа, а также массовой концентрации наполнителей (сусло), которые могут найти свое применение в технологических оборудованных, теплообменных аппаратах и т.д.

2. Полученные аппроксимационные зависимости с достаточной эффективностью используются студентами, магистрами и аспирантами кафедры «машины и аппараты пищевых производств» Технологического университета Таджикистана при выполнении выпускных, квалификационных и научно-исследовательских работах. В предприятии ООО «Санет» в технологическое оборудование были внесены усовершенствования (уменьшение толщины корпуса варочного оборудования, уменьшение оборота мешалок, изменение направления движения теплоносителя) и заменен зарубежный солод на солод производства Республики Таджикистан (акты о внедрении результатов прилагаются).

3. Результатами опытных исследований теплопроводности, теплоемкости, плотности, температуропроводности вязкости исследуемых объектов, можно воспользоваться для численного определения коэффициента активности каждого компонента изучаемых образцов.

4. Полученные аппроксимационные зависимости можно использовать для расчета и прогнозирования термодинамических и теплофизических характеристик не

изученных на практике названных растворов в большой области изменения температуры, давления и концентрации сусла, что позволило заложить основу для конструирования материалов системы для производства пива.

5. Полученные в ходе исследования экспериментальные данные, а также математическая модель для вычисления изменений теплофизических параметров достаточно ощутимо способствует снижению затрат на дорогие эксперименты и приобретения соответствующего дорогостоящего оборудования.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

[1-А]. Курбонов, М.Ф. Теплоемкость и энтальпия системы продуктов пива в зависимости от температуры и давления, без режима аэрации/М.М.Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ф.Б. Курбонов.// Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/1 (192),- С.207-215.

[2-А]. Курбонов, М.Ф. Влияние условий аэрации на кинетику сбраживания и термодинамические свойства пивного сусла/М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ф.Б. Курбонов, Ш. Т. Юсупов. //Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/4 (216), -С.49-52.

[3-А]. Курбонов, М.Ф. Компьютерное моделирование химических и фазовых равновесий в системах с неидеальными растворами/М.М. Сафаров, Х.Х. Назаров, М.А. Зарипова, Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, М.М. Гуломов, Г.Н. Неъматов, М.Ф. Курбонов. // Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/4 (216), -С.166-169.

[4-А]. Курбонов, М.Ф. Влияние температуры, количество сухого вещества на изменение теплопроводности продуктов пива, без режима аэрации/М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ф.Б. Курбонов. //Материалы 7 МНПК-2014, “Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке”, Россия, г. Москва, 29. 07. 2014г, Ежемесячный научный журнал “Prospero”, №2. 2014.-С.133-135.

[5-А]. Курбонов, М.Ф. Теплофизические свойства сусла в зависимости от давления и температуры. /**М.Ф.Курбонов**// Вестник технологического университета Таджикистана, 2 (53), 2023, Душанбе,-С 47-55.(единолично)

Публикации в международных и республиканских конференциях.

[6-А]. Курбонов, М.Ф. Влияние температуры и наноразмерных порошков на изменение теплоемкости системы сусло+сухие вещества./М.М.Сафаров, М.Ф. Курбонов, Х.А. Зоиров, Ф.Б. Курбонов. //Тезисы докладов 13 Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ (с международным участием), Новосибирск-28 июня-1 июля 2011. -С. 173-174.

[7-А]. Курбонов, М.Ф. Влияние влажности на изменение переносных свойств нанопористых материалов. /М.М. Сафаров, М.Д. Пирмадов, М.А. Зарипова, Х.А. Зоиров, Дж.А. Зарипов, М.Ф.Курбонов, М.М. Анакулов. //Материалы 4-й Международной научно-практической конференции “Современные энерго-сберегающие тепловые технологии, СЭТТ-2011”, Т.2, М.:-2011.- С.383-389

[8-A]. Kurbonov, M.F. Thermal conductivity of jam(plum) and products beer in dependence temperature and pressures. /М.М. Safarov, M.F. Kurbonov, F.B. Kurbonov, H.A. Zoirov. //Book of abstracts,19 European Conference on Thermophysical Properties, August 28-September1, 2011, Thessaloniki, Greece,- P.334

[9-A]. Курбонов, М.Ф. Влияние нано-, микропорошков на изменение теплоемкости воды и продуктов пива/ М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Х.А. Зоиров, Ф.Б. Курбонов, Ш.Т. Юсупов.//Республиканская научнопрактическая конференция «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений», посвященная 70-летию О. Азизкуловой. 24 декабря 2011, Душанбе. - С.180-182.

[10-A]. Kurbonov, M.F. Influence vagatable oils to exchange specific heat capacity of aviation kerosene./М.М. Safarov, F.B. Kurbonov, M.F. Kurbonov, M. Abdulloeva, S.A. Tagoev.// 18th Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, Colorado USA, June 24-29, 2012, Paper ID 1021

[11-A]. Курбонов М.Ф. Термодинамические свойства некоторых конденсированных веществ. /М.М. Сафаров, М.А. Абдуллаева, М.Ф. Курбонов, Ш.Т. Юсупов, Ф.Б. Курбонов. // Материалы 8-й Международной теплофизической школы, посвящённой 60-летию профессора Сафарова М.М. Душанбе-Тамбов, 8-13 октября 2012,- С.73-74.

[12-A]. Курбонов, М.Ф. Уравнение состояния систем подсолнечное масло+ н-гексан./ М.М. Сафаров, М.А. Абдуллаева, М.Ф. Курбонов, Ш.Т. Юсупов, Ф.Б. Курбонов. // Материалы 8-й Международной теплофизической школы, посвящённой 60-летию профессора Сафарова М.М., 8-13 октября 2012, Душанбе-Тамбов,- С.77-80.

[13-A]. Курбонов, М.Ф. Влияние условий аэрации на кинетику сбраживания и теплоемкости пивного сусла и воды./М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ф.Б.Курбонов. //Материалы 10-й Международной научно-практической конференции, 7-15 января 2014, Образование и наука. Руснаука, Прага, Вып. 26,- С.48-50

[14-A]. Курбонов, М.Ф. Влияние условий аэрации на кинетику и теплопроводность сбраживания пивного сусла. /М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ф.Б. Курбонов, Ю.Ш. Юсупов, Х.А. Зоиров. //Труды международной научно-технической конференции "Нанотехнология функциональных материалов (НФМ -2114)" 24-28 июня 2014, Санкт Петербург. - С.416-417.

[15-A]. Курбонов, М.Ф. Расчет коэффициента активности двухкомпонентных водных растворов./М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.С.Назруллоев, М.Ф. Курбонов, Н.Б. Давлатов , Д.С. Джураев. // Материалы Девятой Международной теплофизической школы, Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий, 6-11 октября 2014 г., Душанбе, МТФШ-9.- С.461-465.

[16-A]. Курбонов, М.Ф. Моделирование процесса сушки и увлажнения наноультрадисперсных материалов. /М.М. Сафаров, Д.А. Шарифов, М.Ф. Курбонов, Д.С. Джураев // Материалы Девятой Международной теплофизической школы, Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий, 6-11 октября 2014 г. Душанбе, МТФШ-9. -С.310-313.

[17-A]. Курбонов, М.Ф. Уравнение состояния типа Тейта для жидких растворов. Теплопроводность./М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ф.Б. Курбонов, Ш.Т. Юсупов, Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, Д.А. Шарифов, Г.Н. Ньматов.

//Материалы Девятой Международной теплофизической школы, Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий, 6-11 октября 2014 г. Душанбе, МТФШ-9.-С.447-452.

[18-А]. Курбонов, М.Ф. Термический анализ и калориметрия пивного сула. Эксперимент и моделирование./М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ш.Т. Юсупов, Ф. Б. Курбонов, Ф.Х. Насруллоев. //Материалы Девятой Международной теплофизической школы. Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий. 6-11 октября 2014 г. Душанбе, МТФШ-9.- С.457-460.

[19-А]. Курбонов, М.Ф. Температуропроводность сула в зависимости от давления/ М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Х.А. Зоиров, Ф.Б. Курбонов. // Материалы 10-й Международной теплофизической школы, 3-8 октября 2016 г. “Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий”. Душанбе-Тамбов, 2016.- С.222-226.

[20-А]. Курбанов, М.Ф. Комплексная переработка соевых семян./М.М. Сафаров, Ф.Б. Курбонов, Ш.Т. Юсупов, Н.К. Зарипов, М.Ф. Курбонов. //Материалы 10-й Международной теплофизической школы, 3-8 октября 2016 г. “Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий”. Душанбе-Тамбов, 2016.-С.591-594.

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ОМУЗГОРИИ ТОҶИКИСТОН
ба номи Садриддин Айни**

Бо ҳуқуқи дастнавис
КУД 634+635-151(575.3)

ҚУРБОНОВ Муҳамадали Файзалиевич

**ТАДҚИҚИ РАВАНДҲОИ ГАРМОФИЗИКӢ, ТЕРМОДИНАМИКӢ,
АДСОРБСИОНӢ ВА МАССАМУБОДИЛАКУНИИ ИСТЕҲСОЛИ ОБИ ҶАВ
АЗ МАҲСУЛОТҲОИ МАҲАЛӢ**

АВТОРЕФЕРАТИ

**рисола барои дарёфти дараҷаи илмии номзоди илмҳои техникаӣ аз рӯи
ихтисоси**

01.04-14– Физикаи ҳарорат ва назарияи техникаи гармо

Душанбе – 2023

**Рисола дар Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи
Садриддин Айни иҷро гардидааст**

Роҳбари илмӣ:

Сафаров Маҳмадали Маҳмадиевич -
Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, академики байналмиллалии муҳандиси (АБМ), академики Академияи муҳандисӣ (АМ) ҚТ, доктори илмҳои техника, профессор

Муқарризони расмӣ:

Пономарев Сергей Васильевич – доктори илмҳои техникӣ, профессор, Донишгоҳи давлатии техникии Тамбов (ш. Тамбов)

Рахимов Хуршед Абдуллоевич – номзади илмҳои техникӣ, и. в., дотсент. Декани факултаи «Муҳандисӣ ва иқтисодиети соҳавӣ» Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон, (ш. Бохтар)

Муассисаи пешбар:

Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон (ИМОГ ва АМИТ),

Ҳимояи диссертатсия санаи “15” январӣ соли 2024, соати 14⁰⁰ дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D.KOA-041 назди Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад.М.С. Осимӣ, хиёбони академикҳо Рачабовҳо 10а баргузор мегардад, e-mail: d.s6d.koa.041@yandex.ru

Бо матни пурраи диссертатсия метавонед дар китобхонаи илмӣ ва сомонаи интернетии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад.М.С. Осимӣ <http://ttu.tj> шинос шавед

Автореферат санаи « ____ » _____ соли 2023 ирсол шудааст.

**Котиби илмӣ
шӯрои диссертатсионӣ 6D.KOA-041,
номзади илмҳои техникӣ, дотсент**

Тағоев С.А.

ТАВСИФҲОИ УМУМИИ РИСОЛА

Мубрамияти мавзӯ. Имрӯз дар тамоми дунё таваҷҷӯҳ ба сифати маҳсулоти хӯрокворӣ зиёд аст, ки дар натиҷаи рушди мутаносиби кишварҳо ва давлатҳои ҷаҳон ба миён омадааст. Дар бисёр маврид ҳалли масъалае, ки вобаста ба камбудӣ ё сарфаи захираҳои энергетикӣ ва ҳам иқтисодӣ вобаста аст, асосан аз имкониятҳои ҷуғрофӣ маҳалл вобаста мебошад.

Масъалаи мубрами имрӯза омӯзиши ҳаматарафаи хосиятҳои термодинамикӣ ва физикӣ- химиявӣ маводҳо бо назардошти равандҳои ба амал омада дар сатҳи таъсири мутақобилаи байнизираҳо, бо назардошти таъсири тамоюлҳои, ки инкишофи онҳо дар маҳсулоти хӯрокворӣ дар зерӣ таъсири майдони беруна, ҳарорат ва фишор мебошад. Омӯзиши чуқури ин параметрҳо аҳамияти калони назариявӣ ва амалӣ доранд. Муносибати ҳаматарафа ба ҳалли вазифаҳои ба миён гузошташуда, яъне дар амал татбиқ намудани усулҳои термодинамикии коркарди статистикӣ, химияи координатсионӣ физикӣ, физикаи молекулавӣ, оптика, механикаи муҳитҳои яқлӯхт ва ғайра имкон дод, ки дар ин соҳаҳо доир ба маҳсулоти озуқаворӣ муваффақиятҳои нав ба даст оварда шаванд. Илова бар ин, натиҷаҳои адабии параметрҳои номбаршуда дар ҳисобкуниҳои муҳандисӣ дар лоихакашӣ ва ҳам таҳлили мувофиқ, нигоҳдорӣ ва истифодаи таҷҳизотҳо ва дастгоҳҳои гармимубодилакунанда истифода мешаванд. Ҳамин тариқ, омӯзиши хосиятҳои физикӣ-химиявӣ ва термодинамикӣ ва барои таҷзия шудани маҳсулот, параметрҳои кинетикии реаксия ва намудҳои гуногуни таҷзияи гармии онҳо барои моделсозии минбаъдаи равандҳо дар гармидиҳандаҳо ва дастгоҳҳои истеҳсоли оби ҷав, инчунин таҳлили самаранокии маҳсулоти интиҳобшуда ҳалли конструксионӣ, муайян кардани муҳлати «зиндамонӣ» маҳсулоти оби ҷав қабл аз бад шудани хосиятҳои он ва зарурати пуркунии он масъалаи ниҳоят муҳим ва таъхирнопазир мебошад.

Алоқаи кор бо барномаҳо ва грантҳои илмӣ. Тадқиқоти рисола дар доираи барномаи илмӣ-техникии «Гармофизика ва энергетикаи гармо» дар самти фаъолияти илмӣи Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон «Таҳияи усул ва воситаҳои баланд бардоштани энтимоднокӣ ва самаранокии истифодаи иншооти энергетикӣ дар заводҳои хурди оби ҷав» иҷро карда шудааст. Натиҷаҳои асосии рисола, ки ҳамчун вобастагии аппроксиматсионӣ доир ба хосиятҳои физикӣ-химиявӣ ва термодинамикии маводҳои омӯхташаванда пешниҳод шудаанд, дар ҳисобкуниҳои мувофиқ дар равандҳои лоихакашии корхонаҳои хурди оби ҷавпазӣ истифода мешаванд. Вобастагиҳои аппроксиматсионие, ки аз ҷадвалҳои муфассали хосиятҳои термодинамикӣ ва физикӣ- химиявӣ системаи об ва ҳамираи ҷав дар шароити ҳавоворидкунӣ ва беҳаво ба даст оварда шудаанд, дар ташкилотҳои лоихакашӣ ҳангоми ҳисоб кардани протсессҳои гуногуни технологӣ ва химиявӣ ва таҷҳизоти таҳияшуда барои иҷрои корҳои тадқиқотӣ тавсия карда мешаванд.

Мақсади рисола такмил додани технология ва таҷҳизоти истеҳсоли оби ҷав бо истифодаи ашёи хоми маҳаллии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар асоси тадқиқоти таҷрибавию ҳисобкунии механизмҳои асосии протсессҳои гармиинтиқолдиҳӣ мебошад.

Барои ноил шудан ба ин ҳадафҳои гузошташуда вазифаҳои зерин ҳал карда шудаанд:

1. Муайян намудани ҳолати омузиши қонуниятҳои асосии технологияи истеҳсоли оби ҷав дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон.

2. Тадқиқи хосиятҳои физикию-химиявӣ ва термодинамикӣ, ҳолати мувозинатӣ ва кинетикаи таҷзияи термикии маҳсулоти оби ҷав дар ҳудудҳои интихобии ҳароратҳои (298-379)К, фишорҳои (0,101-9,81)МПа ва таъсири шароитҳои ҳавоворидкунӣ.

3. Муайян намудани механизмҳои таъсири раванди ҳавоворидкунӣ ба ҳамиртурӯш ба хосиятҳои физикию-химиявӣ ва термодинамикии системаҳои тадқиқотии (ҳамираи ҷав+об), инчунин кинетикаи истеъмоли оксиген аз тарафи ҳуҷайраҳои ҳамиртурӯш ва ба консентратсияи маводи хушки ҳамираи ҷав дар арафаи туршшавии асосӣ дар ҳароратҳои гуногун.

4. Такмил додани усулҳои муайян кардани характеристикаҳои физикию-химиявӣ, термодинамикӣ (гармигузаронӣ, ҳароратгузаронӣ, гармиғунҷоиш ва ғайра) ва кинетикаи таҷзияи объектҳои тадқиқотӣ.

5. Гузаронидани асосноккунии техникӣ-иктисодӣ, такмили схемаҳои технологияи истеҳсоли оби ҷав бо истифода аз ашёи хоми маҳаллии Тоҷикистон ва таҳияи тавсияҳо барои татбиқи минбаъдаи онҳо.

Дастгоҳҳо таҳия ва сохта шуданд, барои:

а) ба амал баровардани усулҳои гармкунии монотонӣ ва речаи гармкунии мунтазами навъи якум, ки барои тадқиқи таҷрибавии гармигузаронӣ, ҳароратгузаронӣ ва гармиғунҷоиши объектҳо (ҳамираи ҷав + об) дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун асос мебошанд;

б) ба даст овардани термограммаи маводҳои тадқиқотӣ;

в) ба даст овардани бузургҳои таҷрибавӣ хосиятҳои физика-химиявӣ, термодинамикии маводҳои омӯхташаванда дар ҳароратҳои аз 298 то 379 К ва фишорҳои аз 0, 101 то 9,81 МПа;

г) ошкор намудани вобастагии хосиятҳои физика-химиявӣ ва термодинамикии системаҳои омӯхташаванда (ҳамираи ҷав+об) аз ҳарорат ва фишор;

д) ба даст овардани вобастагиҳои аппроксиматсионӣ дар асоси таҷрибаҳои тадқиқотии гузаронидашуда, ки имкони алоқамандии миёни параметрҳои номбаркарда шудаи ҳолатро медиҳанд;

ж) дар асоси тадқиқотҳои гузаронидашуда ва таҳлилҳои мувофиқ оид ба тадқиқи кинетикаи равандҳои таҷзияи маводҳои омӯхташаванда дар натиҷаи таъсири термохимиявӣ динамика ва доимиҳои кинетикии зоҳирии реаксияи мазкур ошкор карда шуд.

Навгониҳои илмӣ рисола чунин мебошанд:

1. Усули танзими параметрҳои гармофизикӣ моеъҳо ва маҳлулҳо (λ , C_p , a) тавассути ҳавоворидкунӣ ба маҳсулоти ҳамираи ҷав ва оби ҷав таҳия ва асоснок карда шудааст.

2. Маълумоти нави таҷрибавӣ оид ба параметрҳои физикӣ-кимиёвӣ ва термодинамикии маҳсулоти оби ҷав дар асоси «ҳамираи ҷав + об» ва кинетикаи реаксияи термикии таҷзияи ин маҳсулот бо ҳавоворидкунӣ ва бе ҳаво ба даст оварда шудааст.

3. Таҳлили ададии таъсири мавҷудияти ҳавоворидкунӣ (набудани ҳаво) дар маҳсулоти интихобшуда дар натиҷаи омӯзиши давраи таҷзияи термикии онҳо ва тағирёбии параметрҳои асосии физикӣ-химиявӣ ва термодинамикии онҳо гузаронида шуд.

4. Барои ба даст овардани термограммаҳо (кинетикаи химиявӣ) дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои чен кардани ҳароратгузаронӣ (бо усули гармкунии мунтазам), гармигунҷоиш (усули монотони гармкунӣ) такмил дода шуданд, ки дар асоси онҳо дар ҳудуди ҳароратҳои (298-379) К ва фишорҳои (0,101-9,81) МПа маълумотҳои нави таҷрибавӣ оид ба хосиятҳои физика-химиявӣ, термодинамикӣ ба даст оварда шуданд.

5. Формулаҳои эмпирикӣ ҳосил карда шуданд, ки алоқамандии гармигузаронӣ, гармигунҷоиш, ҳароратгузаронӣ ва зичии намунаҳоро дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун муқаррар мекунанд, P - λ - T P - a - T , P - C_p - T , P - C_p - ρ - T , P - C_p - ρ - T ;

6. Ифодаҳои мувофиқ барои тавсифи кинетикаи ҷараёни равандҳои химиявӣ ҳангоми туршкунӣ ҳамираи ҷав бо роҳи воридкунии ҳаво дар шароитҳои гуногун, ки натиҷаҳои онҳо метавонанд ба ҷоришавии равандҳо вобаста ба вақт ва маънои физикии онҳо баҳои дирандешона диҳад.

Аҳамияти амалии кор:

1. Усули таҳияшуда ва таҷҳизотҳои азнавсозӣ карда шуда имкон медиҳанд, ки хосиятҳои физика-химиявии системаи ҳамираи ҷав + об ва суръати вайроншавӣ бо сарфи зиёди вақт ва захираҳо муайян карда шаванд.

2. Параметрҳои хосиятҳои физика-химиявии муайян карда шуда бонки бузургӣ оид ба характеристикаҳои термодинамикии системаҳои ҳамираи ҷав+об бо маълумотҳои нав пурра гардонида шуд, ки ҳангоми ҳисобкунӣ амалии таҷҳизотҳои технологияи гуногуни тадқиқоти истифода бурдан мкин аст.

3. Параметрҳои кинетикии реаксияи таҷзияи бо маълумотҳои таҷрибавӣ муайян карда шуда имкони баҳодиҳии давраи истифодаи самараноки гармибарандаро то таҷзияшавӣ ва гум кардани хосиятҳои онҳоро медиҳад.

4. Модели математикие, ки дар раванди тадқиқот сохта шуда буд имкон медиҳад ҷараёни равандҳои технологияи мувофиқ ҳангоми турушшавӣ пешгӯи карда шавад.

Натиҷаҳои тадқиқот тадбиқ шудаанд:

Таҷҳизотҳои таҳияшуда барои чен кардани гармиғунҷоиш, ҳароратгузаронӣ, гармигузаронӣ ва термограммаи системаҳои (ҳамираи ҷав+об) дар озмоишгоҳҳои илмӣ ва таълимии кафедраи “Мошинҳо ва таҷҳизотҳои маҳсулоти хурокворӣ”-и Донишгоҳи технологии Тоҷикистон омӯзгорон, аспирантон, магистрҳо ҳангоми иҷро намудани корҳои хатми ихтисосӣ ва илмӣ истифода мебаранд. Дар корхонаи ЧДММ “Санет” ба таҷҳизотҳо наовари воридкардашуд (Санади тадбиқ замима карда шудааст).

Ба ҳимоя пешниҳод карда мешавад:

1. Вариантҳои нави дастгоҳҳои таҷрибавии мувофиқ ва истифодаи асоснок кардашуда ҳангоми омӯзиши таҷрибавии ҳароратгузарони (бо усули речаи гармкунии мунтазам) гармиғунҷоиш (бо усули гармкунии монотонӣ коркунанда) системаҳои ҳамираи ҷав ва об дар шароити ҳарорати хона ва тағйирёбии фишори таҷриба.

2. Дастигоҳи таҷрибавӣ барои тадқиқи гармиғунҷоиш ва роҳҳои ба даст овардани термограмма барои электролитҳо, яъне муқаррар намудани тағйирёбии адиабатии ҳарорат бо назардошти вақти таҷзияшавӣ.

3. Вобастагиҳои аппроксиматсионӣ, ки бо ёрии онҳо ҳисобкунии дурусти параметрҳоро мувофиқан физикӣ-химиявӣ ва термодинамикии моддаҳоро бо тағйирёбии параметрҳои ҳолат (ҳарорат ва фишор) анҷом дода, инчунин вобастагии байни ҳарорати таҷзия ва вақтро ҳангоми ҳавоворидкунӣ ва бе ҳавоворидкунии намунаҳоро муқаррар кардан мумкин аст.

4. Бузургиҳои тартибавӣ оид ба ҳароратгузаронӣ, гармигузаронӣ, гармиғунҷоиш ва зичӣ дар ҳароратҳои $T=(298-379)$ К ва фишорҳои $p = (0,101-9,81)$ МПа, инчунин ҳарорати таҷзияи маҳлӯлҳои тадқиқотӣ (тағйирёбии адиабатии ҳарорат).

5. Қонуниятҳои тағйирёбии ҳароратии суръати реаксияи химиявии таҷзияи ҳароратӣ. Бузургии доимиҳои кинетикии реаксияҳои химиявӣ (пеш аз густариши энергияи фаъолкунӣ).

6. Натиҷаҳои тадқиқи кинетикаи ҷоришавии равандҳои химиявӣ дар марҳилаи турушшавии асосӣ ва модели математикии таҳияшудаи кинетикаи турушшавии ҳамираи ҷав.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳои тадқиқоти ададӣ бо натиҷаҳои ченкунииҳои санҷишӣ дар таҷҳизотҳои таҷрибавие, ки барои тадқиқ истифода мешаванд; натиҷаҳои санҷиши усулҳо ва алгоритмҳои тадбиқшуда, ки барои ҳалли масъалаҳои асосии омӯзиши равандҳои гармиинтиқолдиҳӣ дар масъалаҳои ғайристатсионари нисбатан мураккаби ғайрихаттии гармиғунҷоиш, ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронӣ тартиб дода шудаанд; як қатор тадқиқотҳои таҷрибавӣ, ки натиҷаҳои онҳо бо тадқиқотҳои ҳисобкардашуда бо ёрии

муодилаҳои эмпирикӣ ба даст овардашуда комилан мувофиқанд, тасдиқ карда мешавад.

Саҳми шахсии муаллиф дар таҳия ва татбиқи вазифаҳои тадқиқотӣ, дар интихоби усулҳо ва муайян кардани роҳҳои марҳила ба марҳила ҳал намудани ин вазифа, дар муайян намудани қонуниятҳои асосии равандҳои тайёр кардани обичав ва тағйиротҳои физикию-химиявии бо онҳо алоқаманд, дар гузарондани таҷрибаҳо барои омӯختани тавсифҳои мувофиқ дар шароити истеҳсолот, дар гирифтани маълумот дар бораи энергияи ғаёлшавӣ, дараҷа ва кинетикаи таҷзияшавӣ, инчунин ҳангоми коркарди мустақилона ва таҳлили натиҷаҳои дар рафти таҷрибаҳо оид ба хосиятҳои физикию-химиявӣ ва термодинамикӣ ба даст овардашуда (гармигузаронӣ, гармиғунҷоиш, зичӣ, ҳароратгузаронӣ, фарқи энталпия, фарқи энтропия, энергияи Гиббс, энергияи Гелмголтс, энергияи дохилӣ, коэффисиенти фишурдашавии изотермӣ, коэффисиенти васеъшавии ҳаҷмӣ, фарқи гармиғунҷоиш ва коэффисиентҳои муодилаҳои намуди Тейта) ва ба даст овардани хулосаҳои асосӣ дар бораи ҳаҷми кори иҷрошуда мебошад.

Баррасии кор. Натиҷаҳои асосии рисола дар конференсия ва симпозиумҳои зерин гузориш ва муҳокима карда шудаанд: 23th National and International Meeting on Inverse Problems. Michigan, USA, (2010); 2^m Конференсияи байналмилалӣ илмӣ-техникии “Навгониҳо дар технология ва техникаи истеҳсоли хурокворӣ” Воронеж, (2010); Конференсияи илмӣи Ҷумҳуриявии “Масъалаҳои муосири химияи координатсионӣ”, бахшида ба 60-солагии аъзо-корреспонденти АМИТ, доктори илмҳои химия, профессор Аминҷонов А.А., Душанбе, (2011); 13^{ym} Конференсияи Россия оид ба хосиятҳои гармофизикии маводҳо (бо иштироки байналмиллалӣ), Новосибирск (2011); 4^{ym} конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалии “Технологияи ҳарорати барктаъминкунии муосир, СЭТТ”, Москва, (2011); 19 European Conference on Thermo physical Properties, Thessaloniki, Greece, (2011); конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии “Республиканской научно-практической конференции «Перспективаҳои инкишофи тадқиқот дар соҳаи химияи пайвастагиҳои координационӣ», бахшида ба 70-солагии профессор О. Азизкулова, Душанбе, (2011); 18th Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, Colorado, USA, (2012); Ҳаштумин мактаби байналмиллалӣ гармофизикон, бахшида ба 60-солагии профессор Сафаров М.М., Душанбе-Тамбов, (2012); 4^{ym} Конференсияи Евро+Азия, Москва, (2014); Нухумин мактаби байналмилалӣ гармофизикон “Тадқиқи гармофизикӣ ва ченкунӣ дар санчиши сифати мавод, масолеҳ ва маҳсулот”, Душанбе-Москва-Тамбов, (2014); VII^{ym} конференсияи байналмиллалӣ илмӣ-амалии «Шарҳи илмӣи илмҳои физикаю математика ва техникӣ дар асри XII», Москва, (2014); 10^{ym} конференсияи байналмиллалӣ илмӣ-амалии «Маориф ва илм» Руснаука, Прага, (2014); конференсияи байналмиллалӣ илмӣ-техникии “Нанотехнологияи маводҳои функционалӣ” (НФМ-2114), Санкт-Петербург, (2014); Даҳумин мактаби байналмиллалӣ гармофизикон “Тадқиқи гармофизикӣ ва ченкунӣ дар санчиши сифати маводҳо, масолеҳ ва маҳсулотҳо”, Душанбе-Москва-Тамбов, (2016); Конференсияи ДМТ, Душанбе, (2016).

Интишорот. Натиҷаҳои асосии кори рисола дар 20 мақола дар маводҳои конференсияҳои байналмиллалӣ ва ҷумҳуриявӣ, инчунин дар маҷаллаҳои бонуфузи илмӣ пешниҳод шудаанд, ки 5-тои онҳо дар маҷаллаҳои тавсиянамудаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия кардааст, ба таъби расидаанд.

Соҳтор ва ҳаҷми кор. Кори тадқиқотии мазкур аз муқаддима, 4 боб, хулоса, рӯйхати адабиётҳои истифодашуда, ки аз 212 номгӯй иборат аст. Рисола инчунин аз 41 расм, 34 ҷадвал, 16 саҳифаи замима иборат буда, умуман дар 170 саҳифаи ҷопи компютерӣ оварда шудааст.

Мувофиқати рисола ба шиносномаи ихтисос.

Дар мавзӯ, усулҳои тадқиқоти аз тарафи муқаррароти илмӣ пешниҳод шудаи рисола ба шиносномаи ихтисоси кормандони илмии 01.04.14-“физикаи ҳарорати ва назарияи техникаи гармо” мувофиқ мебошад, дар қисми банди 5 “Тадқиқи таҷрибавӣ ва назариявии конвексияи якфаза, озод ва мачбури дар ҳудудҳои васеи гармибарандаҳо, параметрҳои речави ва геометрии сатҳҳои гармиинтиқолдиҳандаҳо” дар пункти 7 “тадқиқи таҷрибавӣ ва назариявии равандҳои интиқоли якҷояи гармӣ ва масса дар маҳлулҳои бинари ва бисеркампонента бо иловаи нанозарчаҳои саҳт аз ҷумла наномоеъҳои аз ҷиҳати химиявӣ таъсиркунанда”, дар қисми банди 9 “Таҳияи асосии илми ва ташкили усулҳои ташаққули равандҳои гармӣ ва массаивазкунӣ дар маҳлулҳои оби ҷав”

МАЗМУНИ МУХТАСАРИ РИСОЛА

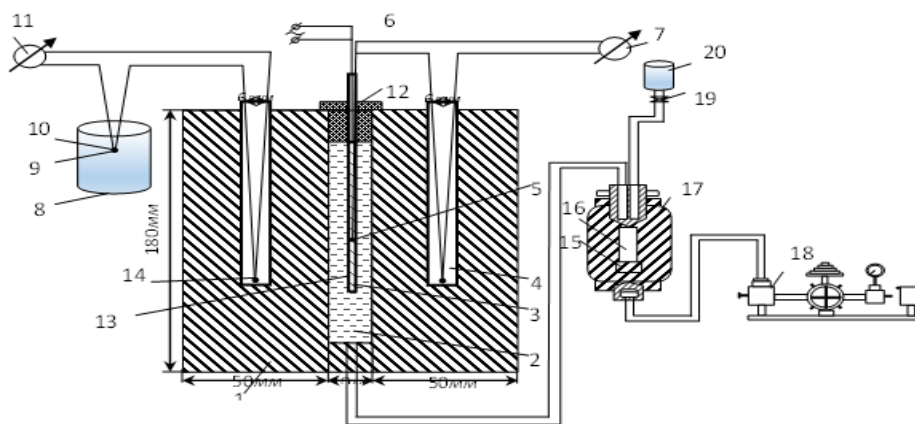
Дар муқаддима аҳамият, мақсад ва вазифаҳои тадқиқот, навоариҳои илмӣ, аҳамияти амалии кор, инчунин шарҳи маълумоти омӯхташудаи корҳои аллакай анҷомёфта дар ин самт оварда шудааст. Мубрамият ва зарурати гузаронидани омӯзиши ҳамаҷонибаи таҷрибавии гармиғунҷоиши хос, гармиғузaronӣ, ҳароратгузаронӣ, муайян кардани функсияҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс, энергияи Гелмголтс ва ғайра) ва омӯзиши раванди тағйир додани ҷенкунии адиабатии ҳарорати аз он иборат аст, нишон дода шудааст.

Дар боби якум маълумот оид ба шарҳи адабиёт дар бораи ҳолати тадқиқоти равандҳои истеҳсоли оби ҷав ва хусусиятҳои асосии ҷузъҳои он пешниҳод карда шудааст. Тавсифи усулҳои омӯзиши таҷрибавии маҳлулҳо оварда шудаанд, ки вобаста ба онҳо аҳамияти омӯзиши хосиятҳои системаи оби ҷав + об, аз ҷумла, ташаққули соҳтори анизотропӣ ва хусусиятҳои физикӣ-химиявӣ ва термодинамикии ҷунин системаҳо алоқаманд, оварда шудаанд. Ҷунин тадқиқотҳо метавонанд дар тавсифи назариявии васоити бисёрфазагии моеъҳо муфид бошанд.

Дар боби дуюм дастгоҳҳои таҷрибавии истифодашуда ва тавсифи муфассали онҳо, тартиби иҷрои кор дар онҳо ва усули мувофиқи ҳисоб кардани ҳатогии ҷенкунӣ оварда шудааст. Барои муайян кардани хосиятҳои гармофизикӣ ва термодинамикии системаҳои ҳамираи ҷав ва маҳлулҳои он усули машҳури гармкунии монотонӣ, ки аз тарафи профессорон Е.С. Платунов ва Сафаров М.М. пешниҳод шудаанд, оварда шудааст.

**Дастгоҳи таҷрибавӣ барои муайян кардани маҷмӯи хосиятҳои гармифизикӣ
дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун
(Патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон №ТJ 100, 2007, 5с)**

Қисмҳои асосие, ки дастгоҳро ташкил медиҳанд, инҳо мебошанд (расми 1): бикалориметр, зарфи фишороварандаи фишорбаланд (13), манометри борупоршендор МП-2500 (16) ва таҷҳизотҳои электроченкунанда. Барои ба ҳисоб гирифтани тағйирёбии ҳарорат термопара (хромел-алюмел ($\varnothing=0,15\text{мм}$)) бо потенциометри (Р 37-1 саҳеҳии ченкунии 0,001) истифода шудааст.



Расми 1. Схемаи дастгоҳ барои муайян кардани маҷмӯи хосиятҳои гармофизикии маҳлӯлҳо: 1-а-калориметр, 2-силиндри ченкунанда, 3-найчаи металии девортунук, 4, 14-термопарайи дифференциалӣ, 5-гиреҳи тасфони термопара, 6,13-гармкунаки камтавоной, 7,11-галванометр, 8- зарфи Дюар, 9-омехтаи обуях, 10-гиреҳи хунуки термопара, 12-пробкаи металий, 15-глитсерин, 16-халтачаи полиэтиленӣ, 17-зарфи фишороваранда, 18-манометри борупоршендор, 19-вентил, 20- истакани метали барои пур кардани маводҳои тадқиқотӣ.

Барои ҳосил кардани фарқияти зарурӣ барои ҷойгир кардани гиреҳи хунуки термопара зарфи Дюар бо ях истифода шудааст. Тағйирёбии ҳарорати таҷриба инчунин ба воситаи термопарайи хромел-алюмелӣ (на камтар 0,02К) ва галванометри тамғаи М 17/4 чен карда шудааст. Барои чен кардани фарқи ҳароратҳо дар сарҳадҳои қабати омӯхташаванда инчунин термопарайи хромел-алюмелӣ, ки охириро ба галванометри тамғаи М 17/2 пайваст аст, чен карда мешавад. Барои ин гиреҳи гарми термопара ро дар силиндри ченкунанда (2) ҷойгир карда шуда, ва гиреҳи хунук бошад дар силиндри берунаи (7) ҷойгир карда мешавад. Гармкунаки дохилии аз нихром ($\varnothing=0,15\text{ мм}$), ки барои ба вуҷуд овардани фарқи ҳароратҳо (1,31-0,65 К) хизмат мекунад ва гиреҳи гарми термопара аз муҳити тадқиқшаванда бо нахи шишагин ва ширеш (БФ-2) ҷудо карда шудааст, дар ҳолате, ки онҳо дар фишори атмосферӣ мебошад.

Хатогии ченкунии гармигузаронӣ чунин буд: нисбат ба $\alpha = 0,95$ 1,9%, методӣ - 0,2%, асбобӣ-1,1%, хатоги нисбати умумӣ то 3,2% ташкил медиҳад.

Ҳисобкунии хосиятҳои термодинамикии маҳсулотҳои оби ҷав.

Ҳисобкунии энергияи Гиббс

Муқаррароти Гиббс ба принсипи мувозинатӣ асос ёфтааст, ки он бо афзоиши энтропия дар системаҳои ҷудошуда тавсиф мешавад. Моҳияти принсип дар он мебошад, ки вақте система ба ҳадди максимуми энтропия мерасад, он ба мувозинат мерасад. Ба намуди математикӣ ин шарт чунин ифода карда мешавад:

$$(\delta\eta)\varepsilon \leq 0, \quad (1)$$

ин ҷо η — энтропия, ε — энергия.

Қонуни Гесс

Эффекти гармии реаксия энталпия номида мешавад, ва миқдори гармие мебошад, ки дар он 1 мол моддае, ки аз якҷанд моддаи одди иборат аст, ба вучуд меояд. Қонуни Гесса усули ҳисобкунии термохимиявии реаксия мебошад. Онро ҳангоми мавҷуд набудани имкони омӯзиши таҷрибавӣ истифода мебаранд. Мувофиқи тахминҳои Гесс, энталпия аз табиат ва ҳолати физикии моддаҳои дар реаксия иштироккунанда ва маҳсулоти нитиҳой вобаста мебошад.

Энтропия

Энтропия намуди логарифмии эҳтимолияти мавҷуд будани мавод ё ҳолати онҳо мебошад.

$$S = R \ln W, \quad (2)$$

ин ҷо R – доимии газӣ; W – эҳтимолияти ҳолат.

Дар реаксия ҳангоми $T=\text{const}$ ва $P=\text{const}$ асоси ҳаракат энергияи Гиббс (G) мебошад (изобарӣ-изотермӣ ё потенциали изобарӣ), ки инчунин энталпияи озод низ номида мешавад. Имкони гузариши реаксия бо энергияи Гиббс ифода карда мешавад, ки намуди зеринро дорад:

$$G=H - TS. \quad (3)$$

Энталпия. Эффекти гармии реаксия

Ду намуди эффекти гармии реаксия ба нақшаҳои татбиқшаванда тавачҷӯҳи бештар доранд: изотермӣ-изобарӣ (ҳангоми $T=\text{const}$, $P=\text{const}$) ва изотермӣ-изохорӣ (ҳангоми $T=\text{const}$ ва $V=\text{const}$). Эффектҳои гармии дифференсиалӣ ва интегралӣ реаксияҳо мавҷуд мебошанд:

$$u_{T,V} = (\partial U / \partial \xi)_{T,V} = \sum_i v_i u_i, \quad (4)$$

$$h_{T,p} = (\partial H / \partial \xi)_{T,p} = \sum_i v_i h_i, \quad (5)$$

ин ҷо u_i , h_i - мувофиқан энергияи дохилии партсиалӣ ва молии энталпия; v_i - коэффитсиенти стехиометрӣ ($v_i > 0$ барои маводҳо, $v_i < 0$ барои реагентҳо); $\Delta = (n_i - n_{i0})/v_i$, - тағйирёбандаи химиявӣ, ки барои системаҳои гуногун вобаста ба таркиби системаи тадқиқшаванда дар ҳар як фосолаи реаксия гуногун мебошад (n_i ва n_{i0} – адади молҳои i -юм компонент дар вақти омӯختан то табдилёбии химиявӣ).

Дар боби сеюм бузургиҳои таҷрибавии хосиятҳои гармофизикӣ ва термодинамикии маҳсулотҳои оби ҷав (хамираи ҷав + об) оварда шудааст. Дар дастгоҳи таҷрибавии аз тарафи Платунов Е.С. ва шогирдонаш таҳияшуда, гармигунҷоиши хоси изобарӣ, ҳароратгу-заронӣ ва гармигузаронии (таҳияи профессор Сафаров М.М. ва шогирдони вай) маҳсулотҳои оби ҷав вобаста аз фишор бо назардошти майдони ҳавоворидкунӣ ва бе ҳаво воридкунӣ чен карда шудааст. Инчунин дар ин боб натиҷаҳои ҳисобкуниҳои назариявии кинетикаи таҷзияи намунаҳои тадқиқотӣ (назарияи Ленгмюр- Арениусс- Эйринг), ва натиҷаҳои тадқиқи таҷрибавии хосиятҳои физикию-химиявӣ ва термодинамикӣ вобаста аз ҳарорат, фишор ва майдони ҳавоворидкунӣ оварда шудааст.

Тадқиқи хосиятҳои гармофизикии системаи об+хамираи ҷав, зичӣ, коэффитсиенти кашиши сатҳии системаи об+хамираи ҷав вобаста аз ҳарорат дар фишори атмосферӣ

Барои дуруст ба роҳ мондани раванди гармиинтиқолдиҳӣ маълум нмудани характери тағйирёбии хосиятҳои гармофизикӣ ва термодинамикии гармибарандаҳо зарур мебошад. Хусусиятҳои физикию-химиявӣ, термодинамикии маҳсулоти оби ҷави тадқиқотӣ функсияҳои ҳолат мебошанд, ки ба бузургии онҳо шумораи зиёди омилҳо, масалан, таркиб ва сохтори химиявии онҳо таъсир мерасонанд. Хосиятҳои асосии физикии системаи (об+хамираи ҷав) дар ҷадвали 1 оварда шудааст.

Ҷадвали 1.- Хосиятҳои асосии физикии системаи (об+хамираи ҷав)

Намунаҳо	п-нишондиҳандаи шикасти рӯшноӣ	$\rho \cdot 10^3, \text{кг/м}^3$	$\sigma \cdot 10^{-2}, \text{Н/м}$	$\Gamma \cdot 10^{-6}, \text{мол/см}^2$
100% H_2O	1,3325	1,000	7,30	-
90% H_2O +10%хамираи ҷав	1,3335	1,010	7,28	0,79
80% H_2O +20% хамираи ҷав	1,3345	1,015	6,89	1,70
70% H_2O +30% хамираи ҷав	1,3360	1,020	6,55	2,66
60% H_2O +40% хамираи ҷав	1,3380	1,025	6,36	3,43
50% H_2O +50% хамираи ҷав	1,3410	1,028	6,30	3,95
40% H_2O +60% хамираи ҷав	1,3420	1,033	6,23	4,65
30% H_2O +70% хамираи ҷав	1,3435	1,036	6,02	5,35
20% H_2O +80% хамираи ҷав	1,3450	1,040	5,80	5,91
10% H_2O +90% хамираи ҷав	1,3460	1,044	5,62	6,43
100% хамираи ҷав	1,3480	1,048	5,53	7,05

Тадқиқи кинетикаи таҷзия дар системаҳои об+хамираи ҷав

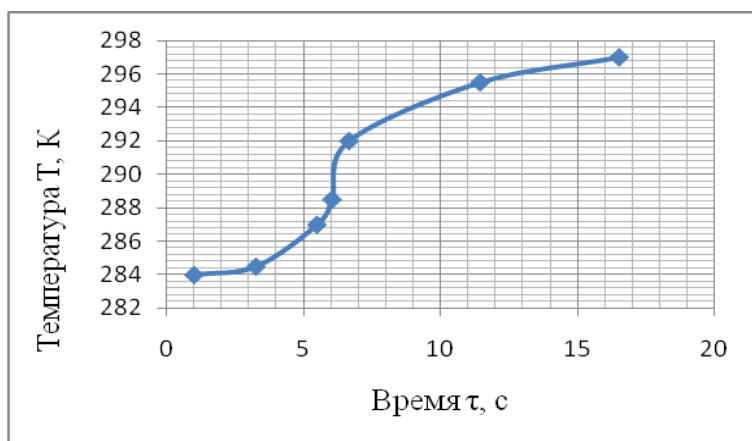
Мувофиқи усули пешниҳодкардаи Аррениус ба ғайр аз тавсифи васеъ паҳншудаи қонуниятҳои ба расмият даровардашудаи кинетикии раванд, ки ба шакли қачи таҷзия вобаста аст, инчунин, усулҳои омӯзиши механизмҳои таҷзия дар протсессҳои элементарии қисми саҳт, ки дар навбати худ ба аз нав батартиб даровардани панҷараҳои кристаллӣ вобаста мебошанд, эътироф карда шудааст. Асосгузори ин тадқиқотҳо Френкел, Вангер, Шоттки мебошанд, ки дар онҳо қонуниятҳои химияи физикии қисмҳои саҳт (назарияҳои интиқол ва вайроншавӣ) истифода мешаванд. Азбаски нуқсонҳои дорой хусусиятҳои гуногун ба марҳилаи

маҳдудкунандаи суръати реаксия таъсири назаррас доранд, мувофиқан усулҳои омӯзиши онҳо ба таъсири вайроншавии панҷараҳо тавассути допинг ва коркарди механикӣ ё радиатсионии моддаҳои реаксия, ки ба хосиятҳои гармигузаронӣ, ҳароратгузаронӣ ва термодинамикӣ, инчунин ба суръати таъзияи он таъсир мерасонанд, асос ёфтааст. Таъзияи гармии моддаҳо ҳам дар ҳолати сахтӣ ва ҳам дар моеъгӣ равандест, ки барои шумораи зиёди ҳодисаҳои физикӣ ва химиявӣ, ки дар табиат ва технологияҳои саноатӣ рух медиҳанд, асос мегузорад.

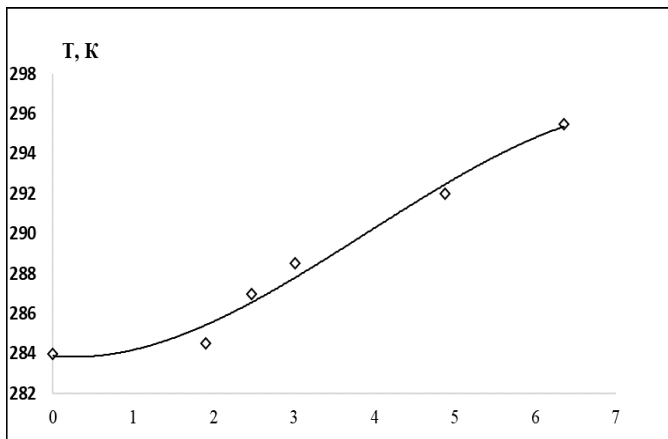
Модели баланси гармӣ

Коэффитсиенти кори фойданоки дастгоҳҳои гармидиҳанда бештар ба интенсивнокии гармигузарони вобаста аст, ки он ба хусусиятҳои физикию химиявӣ ва термодинамикии маводи коркунанда вобаста мебошад. Гармибарандаҳо (моеъҳо), дар баробари нишондиҳандаҳои баланди гармофизикӣ (гармигузаронӣ), ки ба интенсификатсияи селҳои гармӣ дар чараёни интиқоли гармӣ мусоидат мекунанд, дар зери таъсири майдони беруна, онҳо қобилияти тағйир додани хусусиятҳои худро доранд, ки дар равандҳои идоракунии гармӣ аҳамияти камтар надоранд. Бо максими муайян кардани параметрҳои асосии кинетикаи термикии таъзияи маҳлули обӣ бо илова ва бе иловаи маводи хушк як қатор тадқиқотҳои таҷрибавӣ гузаронида шуданд, ки нишондиҳандаҳои асосии ин параметрҳои микондишандаи муҳлати эффективноки татбиқи системаи пешниҳодшудаи маҳсулотҳои оби чавро муқаррар кардан мумкин аст.

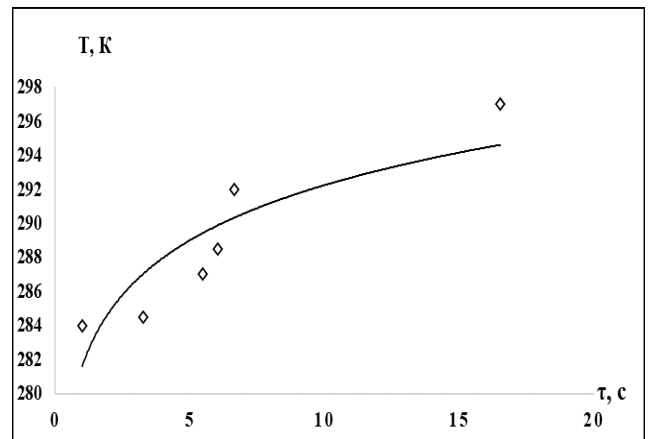
Коркарди натиҷаҳои таҷриба, ҳалли ададӣ ва истифодаи натиҷаҳо барои муайян кардани доимиҳо ба расмиятдароварда шудаи кинетикаи реаксияи тадқиқшаванда ба воситаи MSEXEL 2010 гузаронида шудааст. Дар натиҷаи бо усулҳои ҳисобкунӣ кор карда баромадани маълумотҳои таҷрибавӣ истифодабарии полиномии дараҷаи сеюм хеле наздиктар баромад (расмҳои 2-4). Ҳатогии ифодаи эмпирикӣ на бештар аз $1,8 \div 2,0\%$ -ро ташкил медиҳад. Барои ба даст овардани термограмм аз ҳама бештар функсияи дараҷагӣ мувофиқ мебошад. Ҳатогии аппроксиматсия на камтар аз $6,5 \div 7,0\%$ -ро ташкил дод (расми 2).



Расми 2. Мисоли термограмми таҷрибавӣ



Расми 3. Намунаи қитъаи аввалаи термограммаи таҷрибавии хати трендӣ гузаронидашуда

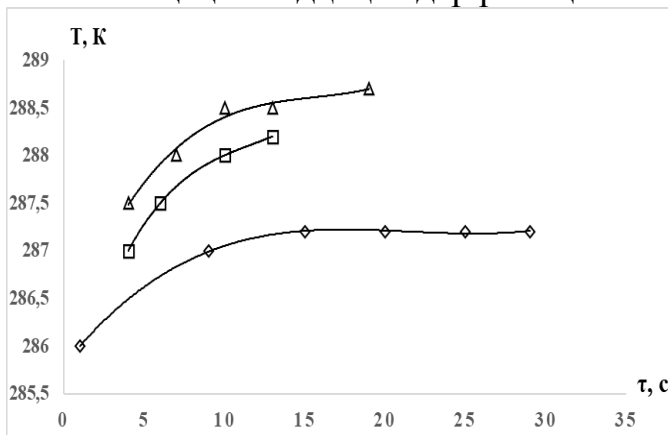


Расми 4. Намунаи термограммаи таҷрибавии хати трендӣ гузаронидашуда

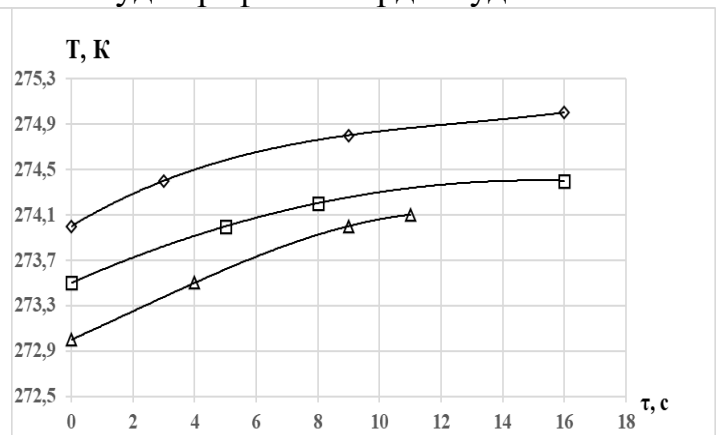
Ҳисобкунии кинетикаи намунаҳои тадқиқотӣ

Барои ба даст овардани натиҷаҳои кинетикаи таҷзия бо дастгоҳи таҷрибавиро, ки дар рисола оварда шудааст истифода бурдем. Ба сифати фазаи дисперсионӣ мо хокаи ҷаавро истифода бурдем (2г, 4г, 8г). Ҳамчун ҳалқунанда об дар ҳароратҳои ($T=280$ К, 287 К и 288 К) истифода шудааст.

Натиҷаҳои тадқиқот дар расмҳои 5-6 ба намуди графикаи оварда шудааст.



Расми 5. Вобастагии ҳароратии тағйирёбии адиабатии ҳарорати таҷзияи маводи хушк ва H_2O аз вақт.



Расми 6. Вобастагии ҳароратии тағйирёбии адиабатии ҳарорати таҷзияи об ва маводи хушк аз вақт.

Муайян намудани кинетикаи таҷзияи H_2O ва ҳиссаи массаи хока аз вақт дар расмиҳои 5 ва 6 оварда шудааст.

Чӣ тавре, ки тадқиқот нишон дод ҳангоми концентратсияҳои хурди маводи хушк раванди таҷзия нисбат ба концентратсияҳои калон тезтар мегузарад. Ин қачиҳое, ки барои маводи хушки тоза тадқиқ карда шудааст муодилаи тартиби якуми Ерофеев – Колмогоровро қаноатбахш тасвиф медиҳад:

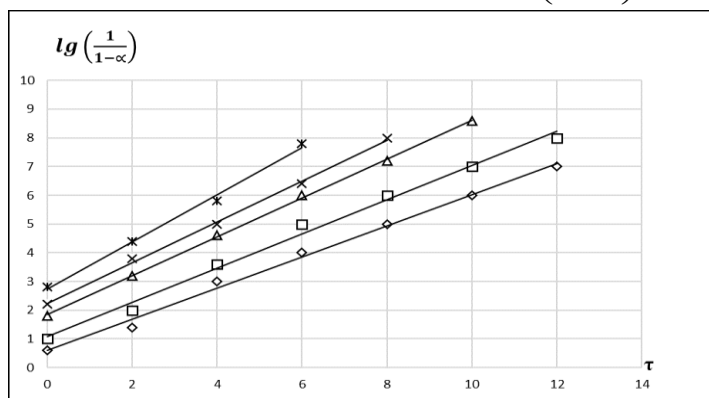
$$\frac{\partial \alpha}{\partial \tau} = k(1 - \alpha) \quad (6)$$

ин ҷо α – дараҷаи таҷзия, τ - вақт, сония, k – доимии суръат.

Пас аз табдилдиҳии математикӣ, ин муодиларо дар намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$\lg(1 - \alpha) = \frac{K_\tau}{2.303} \quad (7)$$

Вобастагии функционалии $\lg\left(\frac{1}{1-\alpha}\right)$ аз τ дар расми 7 оварда шудааст.



Расми 7. Вобастагии $\lg\left(\frac{1}{1-\alpha}\right)$ аз вақт τ .

Аз графики дар расми 7 нишон дода шуда бузургии доимии суръатҳо муайян карда мешавад.

Вобастагии ҳароратии доимӣҳои суръати гузариши реаксияи химиявӣ мувофиқи Аррениус дар намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$\lg K = \lg K_0 - \frac{E}{2.303RT} \quad (8)$$

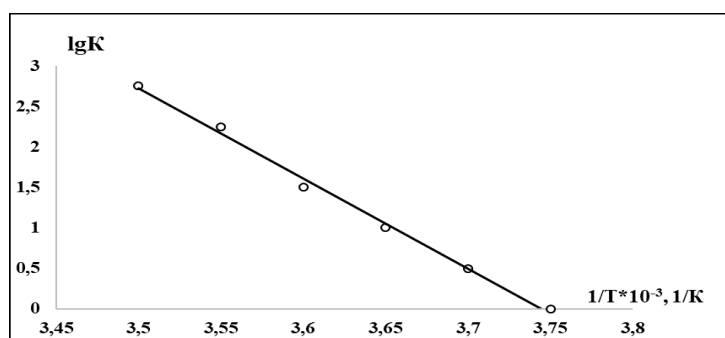
ин ҷо, R – доимии универсалии газӣ, кҶ/(мол·град.), T – ҳарорати мутлақ, K .

Мувофиқи графики бузургҳои таҷрибавии вобастагии ҳароратии доимӣҳои суръат дар координатаҳои мувофиқ $\lg K - 1/T$ (расми 8) дар атрофи хати рости умумӣ меҳобанд.

Бузургии энергияи активатсия мувофиқи тангенсӣ кунҷи тамоили хати рост ва мувофиқи ифодаи зерин муқаррар карда мешавад.

$$E = \frac{2.3RT_2T_1}{T_2 - T_1} \lg \frac{K_2}{K_1} \quad (9)$$

Бузургҳои ҳисоб кардашуда (формулаи 9) энергияи активатсия вобаста аз вақти таҷзияи фазаи дисперсионӣ дар ҷадвали 2 оварда шудааст.



Расми 8. Вобастагии $\lg K$ аз ҳарорати мутлақӣ баръакс.

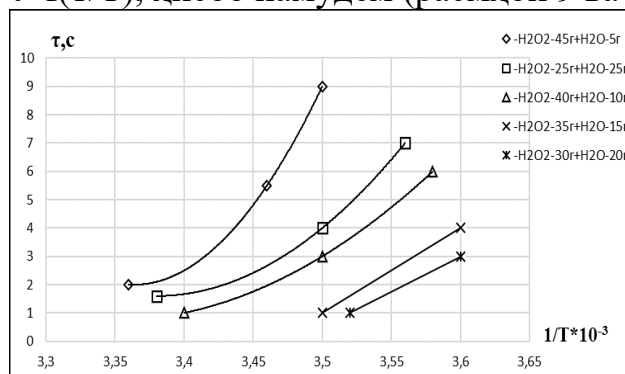
Ҷадвали 2.- Бузургиҳои ҳисобкардашудаи энергияи активатсия аз вақти таҷзияи маводи хушк

τ , с	1	3	5	8	11	14
E , Ҷ/мол	$6.11 \cdot 10^6$	$0.32 \cdot 10^6$	$0.12 \cdot 10^6$	$0.11 \cdot 10^6$	$0.084 \cdot 10^6$	$0.069 \cdot 10^6$
E , кҶ/мол	6110	320	120	110	84	69

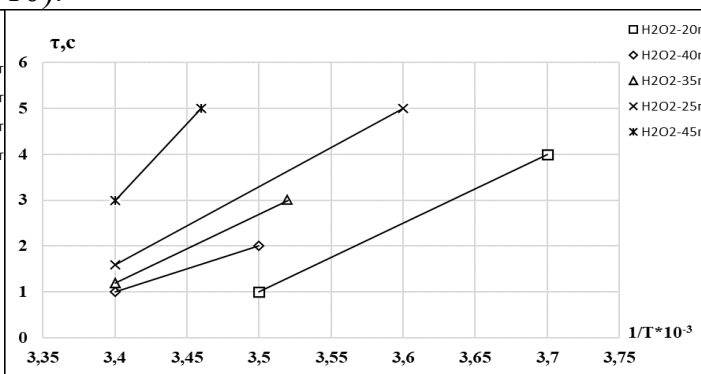
Бо ёрии ифодаҳои (8 ва 9) ҳисобкунии энергияи активатсия E гузаронида шуд, ки бо бузургиҳои бо роҳи графикӣ ба даст омадааст мувофиқ мебошанд. Маълумотҳои ҳисоб кардашуда оид ба энергияи активатсия ва вобастагии ҳароратии суръати таҷзияи таркибҳои хушк маҳлӯл гузаштани онро дар ҳудуди диффузионӣ-кинетикӣ тасдиқ мекунад. Қайд кардан зарур аст, ки назарияи Аррениус ё дигар назарияҳоро истифода бурда, механизми пайдоиши реаксияҳои химиявии системаҳои бисёртаркиба ва маҷмӯи маводҳои омӯхта мумкин аст.

Таъсири ҳарорат ба тағйирёбии суръати реаксияи химиявӣ мувофиқи назарияи Аррениус-Эйринг

Маълумотҳои таҷрибавиро оид ба вобастагии вақти куҳнашавии мавод аз таъсири ҳарорат (электролитҳо ва об) ва назарияи Аррениус-Эйринг истифода бурда мо суръатро бо ин мақсади ҳар ҳамвории (x, y) тасвир намудани графикаи вобастагии $\tau=f(1/T)$, ҳисоб намудем (расмҳои 9 ва 10).



Расми 9. Вобастагии давомнокии вақти куҳнашавии электролит аз ҳарорати баръакс.



Расми 10. Вобастагии давомнокии вақти куҳнашавии электролит (маводи хушк ва об) аз ҳарорати баръакси куҳнашавӣ.

Маълум карда шуд, ки давомнокии раванди куҳнашавӣ бевосита аз ҳарорат дар намуди зерин вобаста мебошад:

$$\ln \tau = \frac{A}{T} + B, \quad (10)$$

ин ҷо A ва B - доимиҳои маводи омӯхташаванда аз шартҳои куҳнашавии ҳароратӣ, ки таҳлили онҳо нишон дод, ки ин бузургиҳо ба ҷуз функцияи массаи таркиби дуюм чизе нестанд (муодилаҳои 11 ва 12):

$$A = -323 \cdot 10^7 m^2 + 902569,1 \cdot m + 2880,01 \quad (11)$$

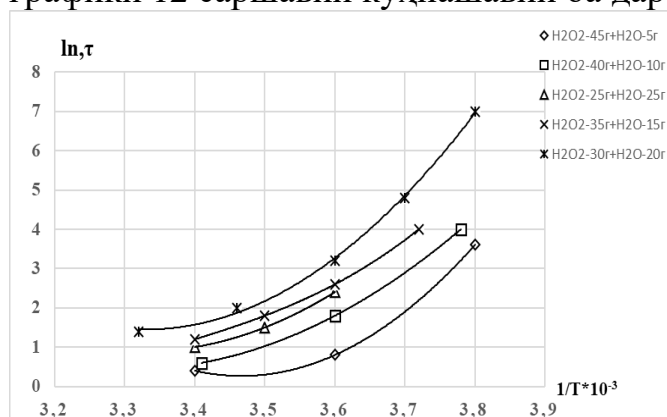
$$B = 80285,4 \cdot m^2 - 2346,6 \cdot m - 11,461 \quad (12)$$

Муодилаи (13) бо назардошти (11) ва (12) намуди зеринро мегирад:

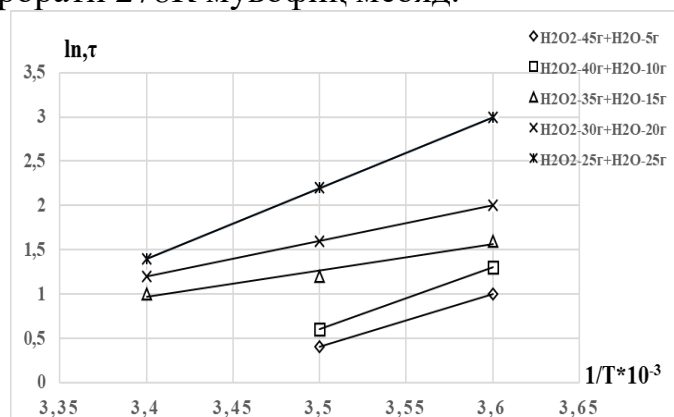
$$\ln \tau = \frac{(-323 \cdot 10^7 m^2 + 9025691 lm + 2880,014)}{T} + (80285,359m^2 - 2346,56m - 11,460) \quad (13)$$

Бо ҳал намудани муодилаи (13) мувофиқи кухнашавии гармибарандаҳоро муайян намудан мумкин аст, ки барои он қиматҳои мувофиқи массаи компоненти дуюм ва ҳароратро доштан лозим аст. Исбот шудааст, ки вобастагии логарифми τ аз бузургии, ки ба ҳарорати кухнашавии мавод ва ҳарорати мутақобилаи кухнашавӣ мебошад, бояд ба қонуни хати рост мувофиқат кунад.

Ин навъ вобастагиҳо барои муайян кардани давомнокии татбиқи изолятсия ва моеъҳо (маҳлӯлҳо) дар конструксияҳои гуногун истифода бурда мешавад. Иҷрошавии (13) ба намуди графикӣ дар расми 11 нишон дода шудааст. Мувофиқи графики 12 саршавии кухнашавии ба дар ҳарорати 278К мувофиқ меояд.



Расми 11. Вобастагии логарифми вақти кухнашавӣ аз баръакси ҳарорати мутлақи кухнашавӣ.



Расми 12. Вобастагии логарифми вақти кухнашавӣ аз ҳарорати баръакси мутлақ

Ҳисобкунии адсорбсияи гиббсӣ аз изотермаи кашиши сатҳӣ бо усули дифференсатсияи графикӣ

Адсорбсияи (Γ) маводи ҳалшаванда ввобаста аз тағйирёбии кашиши сатҳии вай бо муодилаи Гиббс ифода карда мешавад. Барои маҳлӯлҳои ғайриэлектrolитии тунуккардашуда вай намуди зеринро дорад:

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial c} \right), \quad (14)$$

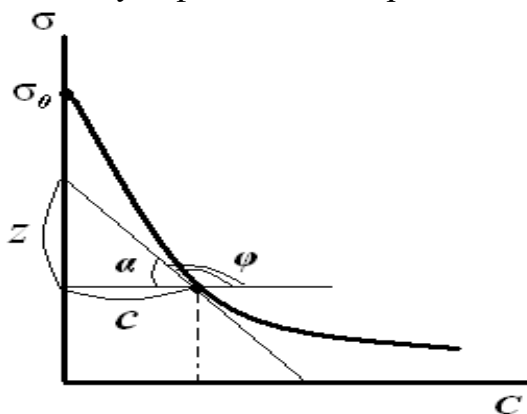
ки мувофиқи он самти ҷараён (концентратсияи мавод дар сатҳ ё дар фаза) бо гузоштани аломати $\frac{d\sigma}{dc}$ муайян карда мешавад:

1. Агар $\frac{d\sigma}{dc} < 0$, он гоҳ $\Gamma > 0$, пас концентратсияи мавод дар сатҳи болои нисбат ба ҳаҷми маводи додашудаи ($C_s > C_v$), (МФС маводи фаъоли сатҳ) зиёдтар мебошад.

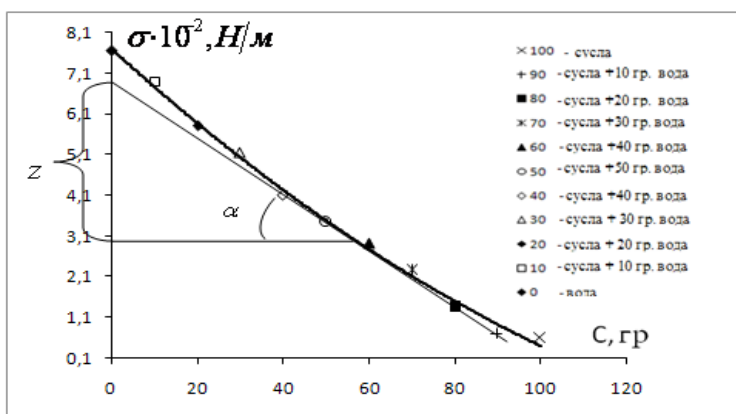
2. Агар $\frac{d\sigma}{dC} > 0$, он гоҳ $\Gamma < 0$, пас концентратсияи мавод дар қабати сатҳӣ нисбат ба ҳаҷми ($C_s < C_v$) маводи фаъоли сатҳ (МФС) камтар мебошад.

3. Агар $\frac{d\sigma}{dC} = 0$, он гоҳ $\Gamma = 0$, аз ин рӯ концентратсияи мавод дар қабати сатҳӣ ба концентратсияи мавод дар ҳаҷми маҳлули ($C_s = C_v$) маводи додашуда.

Агар мо бузургиҳои вобастагии кашиши сатҳии маҳлулро аз концентратсияи маводи дар он ҳалшуда дошта бошем, пас бо роҳи дифференсатсияи графикӣ мо метавонем изотермаи адсорбсияро ҳисоб кунем, яъне $\sigma = f(C)$, ки барои он дар чанд нуқтаи тангенс хати қаси $\sigma = f(C)$ кашида мешаванд ва ба қиматҳои ҳосилаҳои $\frac{\partial \sigma}{\partial C}$ дар ин нуқтаҳо мувофиқ мебошанд (расми 13). Бо донистани қиматҳои онҳо бо истифода аз муодилаи адсорбсияи Гиббс бузургиҳои Γ -ро ҳисоб кардан мумкин аст, ки мувофиқи он изотермаи адсорбсияи $\Gamma = f(C)$ сохта мешавад (расми 14).



Расми 13. Графикӣ муайян намудани бузургиҳои адсорбсия аз рӯи изотермаи кашиши сатҳӣ



Расми 14. Вобастагии коэффитсиенти кашиши сатҳӣ аз концентратсия маводи хушк (ҷав)

Аз расми 14 дида мешавад, ки:

$$\frac{d\sigma}{dC} = \operatorname{tg} \varphi = -\operatorname{tg} \alpha = -\frac{Z}{C}$$

Бузургиҳои ҳосил намудаамонро дар муодилаи Гиббс мегузorem (15)

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial C} \right) = -\frac{C}{RT} \operatorname{tg} \Psi = -\frac{C}{RT} \left(-\frac{z}{C} \right) = \frac{z}{RT} \quad (15)$$

$$\rho = (2,671n - 2,552) 10^{-3}, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3} \quad (16)$$

$$\rho = (-0,0001C + 1,049) 10^{-3}, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3} \quad (17)$$

$$\sigma = (-40,67\rho + 48,12) 10^{-3}, \text{Н} \cdot \text{м} \quad (18)$$

Дар боби чорӯм усулҳои таҳлил ва коркарди маълумотҳои таҷрибавии ба даст омада оварда шудаанд, ки ба қонунҳои монандии термодинамикӣ ва мувофиқоварии ҳолат асос ёфтаанд. Дар боб инчунин тартиби коркарди натиҷаҳои ба даст овардашуда, ки дар асоси онҳо муодилаҳои эмпирикии мувофиқ ба даст оварда шудаанд, пешниҳод карда шудааст.

Зичии хамираи чав ва об вобаста аз ҳарорат дар речаи ҳавоворидкунӣ ва бе ҳаво воридкунӣ

Муодилаи критерия, ки барои тавсифи равандҳои интиқоли гармӣ дар дастгоҳи баррасишавандаи ротори-плёнкаи (ДРП) хизмат мекунад, дар намуди зерин навишта мешавад:

$$Nu = f\left(\text{Pr}; \text{Re}; \text{Re}_{nl}; K_{\varrho}, \frac{\delta}{D_A}, \frac{H}{D_A}, \frac{\omega_0}{\omega_z}\right) \quad (19)$$

Гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши хос, ҳароратгузаронӣ бо роҳи истифодаи усули ду нуқтаи ҳароратӣ муайян карда мешавад.

Дар шароити воқеӣ, ин ифода дар раванди консентратсиякунонии оби чав дар дастгоҳи ротори-плёнкаи метавонад танҳо ба таври эмпирикӣ ва коркарди мувофиқи математикӣ муқаррар карда шавад ва меъёрҳои он аз ҷониби хосиятҳои гармофизикӣ дар шароити гуногуни ҷараёни равандҳо дақиқ карда мешаванд. Барои ин таҷҳизоти таҷрибавӣ таҳия карда шуд, ки бо ёрии онҳо бузургҳои тадқиқшавандаро муайян кардан мумкин аст. Барои чен кардани зичии хамираи ҷави консент-ратсиякунонидашуда усули баркашкунии гидростатикӣ истифода бурда шудааст. Бузургии зичии маҳсулотҳои оби чав, ки дар рафти таҷрибаҳои мувофиқ вобаста ба ҳарорат ва консентратсияи маводҳои хушк (хамираи чав) бо воридкунии ҳаво ва бе воридкунии ҳаво ба даст оварда шудаанд, дар ҷадвалҳои 3 ва 4 нишон дода шудааст.

Мувофиқи ҷадвалҳои 3 ва 4 зичии маҳсулоти оби ҷави консентратсиякунонидашуда бо зиёдшавии ҳарорат (бе речаи ҳавоворидкунӣ ва бо назардошти ҳавоворидкунӣ) кам мешавад, ва бо иловакунии миқдори хамираи чав зичӣ меафзояд. Масалан, барои намунаи 8% хамираи ҷавдошта бо назардошти ҳавоворидкунӣ тағйирёбии ҳарорат дар ҳудудҳои 293-333К, зичӣ ба 12% кам мешавад. Дар ҳарорати $T=313\text{К}$ ва зиёдшавии миқдори маводи хушк $x=5\div 10\%$ зичии намунаҳо бе речаи ҳавоворидкунӣ ба 2,2% меафзояд. Чӣ тавре, ки аз ҷадвалҳои 3 ва 4 дида мешавад зичии намунаҳо бо назардошти ҳавоворидкунӣ нисбат ба зичии намунаҳо бе речаи ҳавоворидкунӣ кам мебошад. Ин аз он сабаб мебошад, ки ҳангоми ҳавоворидкунӣ ба оби чав ҳаҷм зиёд мешавад ва мувофиқан зичии намунаҳо кам мешавад. Масалан, ҳангоми $T=293\text{ К}$ дар намунаи №1 ($95\% \text{H}_2\text{O} + 5\% \text{ хамираи чав}$) зичӣ ба 2,9% кам шуда ва дар ҳарорати $T=333\text{К}$ зичии худӣ ҳамин намуна ба 3,1% кам мешавад. Натиҷаҳои тадқиқотҳои тарибавӣ нишон доданд, ки речаи ҳавоворидкунӣ ба афзоиши ҳаҷми хамираи чав меорад, ки мувофиқан зичӣ ва часпакии маҳсулоти оби чав кам мешавад. Таҷриба нишон дод, ки зичии маводи оби чав бо зиёдшавии ҳарорат ҳам дар речаи ҳавоворидкунӣ ва ҳам дар речаи бе ҳавоворидкунӣ аз рӯи қонуни хати рост кам мешавад ва бо зиёдшавии миқдори хамираи чав зичии объектҳо ҳам аз рӯи қонуни хати рост меафзояд (ҷадвалҳои 3 ва 4).

Ҷадвали 3.- Зичии (ρ , кг/м³) хамираи ҷави ва об консентратсиякунонидашуда дар ҳароратҳои гуногун ва фишори атмосферӣ дар ҳатти сершавӣ бе речаи ҳавоворидкунӣ.

$T, \text{ К}$ $x, \%$	293	303	313	323	333
5	1017,2	1014,3	1011,4	1008,5	1005,6
6	1021,7	1018,8	1015,9	1012,9	1010,1
7	1025,9	1022,9	1020,0	1017,1	1014,1

8	1030,8	1027,8	1024,9	1021,9	1019,0
9	1035,4	1032,5	1029,5	1026,5	1023,6
10	1039,9	1036,9	1034,0	1031,0	1028,0

Ҷадвали 4.- Зичии (ρ , кг/м³) хамираи чави оби консентратсияшуда вобаста аз ҳарорат дар ҳатти сершавӣ бо назардошти речаи ҳавоворидкунӣ.

T, K \ x, %	293	303	313	323	333
5	988,7	984,5	981,6	978,0	975,4
6	991,1	987,6	985,0	982,1	979,8
7	995,2	992,0	988,0	985,0	983,7
8	999,9	996,7	993,5	995,4	992,9
9	1004,7	105,8	1002,4	995,4	992,9
10	1008,7	1005,8	1002,4	999,3	997,2

Барои таҳлил ва коркарди натиҷаҳои таҷрибавӣ оид ба зичии намунаҳо мо қонуни мувофиқоварии ҳолатро дар намуди зерин истифода бурдем:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (20)$$

ин ҷо ρ ва ρ_1 – зичии намунаҳо дар речаи ҳавоворидкунӣ дар ҳароратҳои гуногуни T ва дар T_1 ($T_1 = 313\text{K}$).

Иҷрошавии вобастагии функционалии (20) дар расми 15 ва 16 нишон додашудааст.

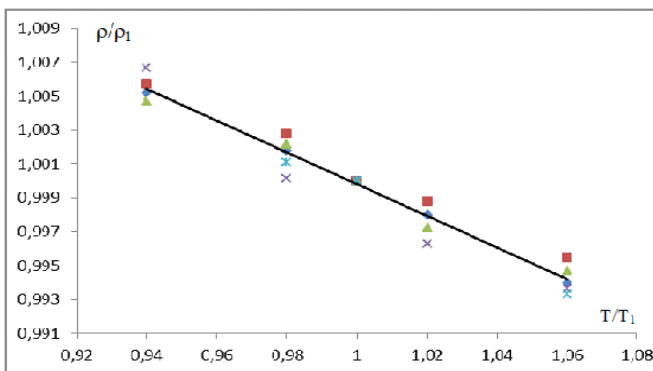
Тавре, ки аз расмҳои 15 ва 16 дида мешавад, нисбии зичии намунаҳо аз ҳароратҳои нисби дар шароите, ки ҳавоворидкунӣ пешбинӣ нашудааст ва бо назардошти речаи ҳаво воридкунӣ мувофиқан ба қонуниятҳои хаттӣ ва квадратӣ итоат мекунад, ва муодилаҳои намуди зеринро доранд:

-барои намунаҳои бе шароити ҳавоворидкунӣ:

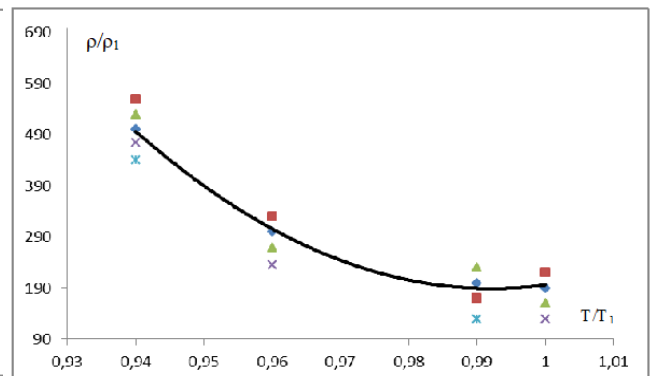
$$\frac{\rho}{\rho_1} = 1,09 - 0,09\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (21)$$

-барои намунаҳои бо назардошти бе ҳавоворидкунӣ:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = \left[-0,233\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 0,36\left(\frac{T}{T_1}\right) + 0,873 \right], \quad (22)$$



Расми 15. Вобастагии нисби зичии (ρ/ρ_1) аз ҳароратҳои нисби (T/T_1) дар речаи бе ҳавоворидкунӣ дар ҳароратҳои гуногун ва консентратсияҳои хамираи чав.



Расми 16. Вобастагии зичии нисбӣ (ρ/ρ_1) аз ҳароратҳои (T/T_1) дар речаи ҳавоворидкунӣ дар ҳароратҳои гуногун ва консентратсияҳои хамираи чав.

Мо намунаҳои зеринро тадқиқ намудем: намунаи №1–(H₂O + 5 % хамираи чав); намунаи №2–(H₂O + 6 % хамираи чав); намунаи №3–(H₂O + 7 % хамираи чав); намунаи №4 – (H₂O+ 8 % хамираи чав); намунаи №5 – (H₂O + 9 % хамираи чав); намунаи №6– (H₂O +10 % хамираи чав).

Ҷадвали 5.- Зичии (ρ , кг/м³) маҳсулоти концентратсикунонида шудаи оби чав дар концентратсияҳои гуногуни маводи хушк дар T = 293 K бе речаи ҳавоворидкунӣ.

x, %	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
ρ , кг/м ³	1017,2	1021,7	1025,9	1030,8	1035,4	1039,9

Ҷадвали 6. – Маълумотҳои таҷрибавии гармигузаронии хамираи чави оби чав ($\lambda \cdot 10^3$, Вт/(мК)) дар ҳарорат ва концентратсияҳои гуногуни маводи хушк бе речаи ҳавоворидкунӣ.

Концентратсия, %	Ҳарорат T, K				
	293	303	313	323	333
5,0	461,1	473,3	485,0	496,7	508,5
6,0	458,1	470,1	481,7	493,4	505,0
7,0	454,5	466,4	477,9	489,5	501,0
8,0	450,9	462,8	474,2	485,8	497,1
9,0	446,9	458,7	470,0	481,4	492,7
10,0	443,5	455,2	466,1	477,7	488,9

Мувофиқи ҷадвалҳои 5 ва 6 афзоиши концентратсияи маводи хушк ба зиёдшавии зичии хамираи оби чав аз рӯи қонуни хати рост мусоидат намояд. Тағйирёбии концентратсияи маводи хушк аз 5-10%, зичии намунаҳоро тақрибан ба 2,23% зиёд мекунад.

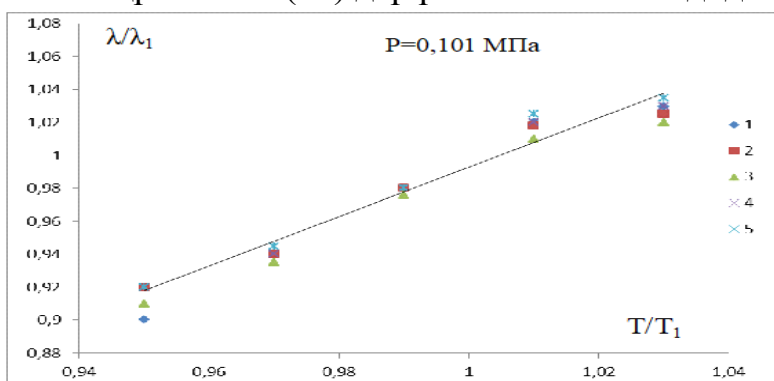
Тавре, ки аз ҷадвали 6 дида мешавад, ҳангоми зиёдшавии ҳарорат аз 293-333K гармигузаронии намунаи №1 ба ~10,3 % зиёд шуда, ва барои намунаи №6 зиёдшавии гармигузаронӣ ~ 10,2 %-ро ташкил дод. Дар ҳарорати T = 293 K зиёдшавии концентратсияи маводи хушк аз 5-10% камшавии гармигузаронӣ ба 3,97% ба амал омада ва дар T=333 ин фарқият ба 4,0% баробар мешавад.

Қорқард ва таҳлилҳои натиҷаи таҷрибаҳоро мо мувофиқи қонуни мувофиқоварии ҳолат гузаронидем:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (27)$$

ин ҷо: λ и λ_1 – гармигузаронии намунаҳо дар фишори атмосферӣ бе речаи ҳавоворидкунӣ дар ҳароратҳои T ва T₁; T₁ = 313 K.

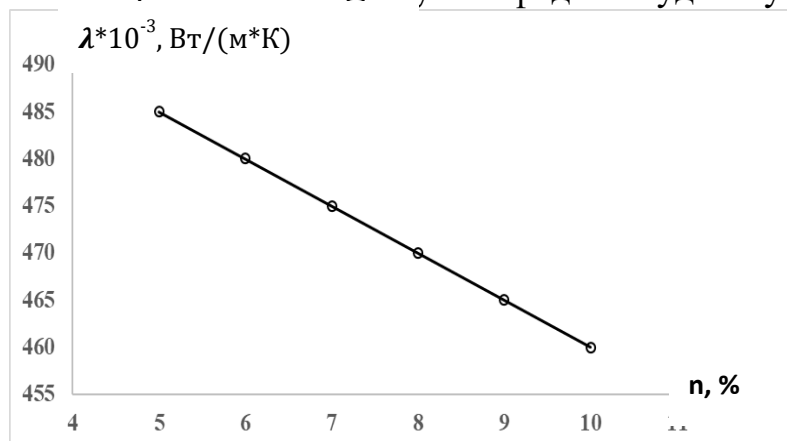
Иҷрошавии (27) дар расми 18 нишон дода шудааст.



Мувофиқи расми 18 ҳамаи бузургиҳои нуктаҳои таҷрибавӣ дар графикбуда ба хати рост мувофиқ меояд, ки чунин ифода кардан мумкин аст:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = \left[0.754 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 0.286 \right] \quad (28)$$

Таҳлили бузургии λ_1 нишон дод, ки он ба намуди вобастагии функционалии концентратсияи маводи хушк ифода намудан мумкин аст (расми 19).



Расми 19. Вобастагии λ_1 аз концентратсияи маводи хушк дар ҳарорати 313К бе речаи ҳавоворидкунӣ

Хати дар расми 19 тасвирёфта ба намуди зерин ифода карда мешавад:

$$\lambda_1 = 0,508 - 0,00376 x, \frac{Вт}{(м \cdot К)} \quad (29)$$

Муодилаи (28) бо назардошти (29) чунин намудро мегирад:

$$\lambda = \left[0,714 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 0,286 \right] (0,5038 - 0,00376x), \frac{Вт}{(м \cdot К)} \quad (30)$$

Муодилаи (30)-ро истифода карда гармигузаронии маҳсулоти оби чави тадқиқнашударо бо назардошти раванди ҳавоворидкунӣ бо ҳатогии то 2,5% ҳисоб намудан мумкин аст, ки барои ин донишҷӯи бузургии концентратсияи маводи хушк дар ҳамираи чав кифоя мебошад.

Алоқамандӣ миёни гармиғунҷоиши ва хос кинетикаи маҳсулоти оби чав дар концентратсияҳои гуногуни ҳамираи чав, бе речаи ҳавоворидкунӣ

Барои муайян кардани гармиғунҷоиши хоси объектҳо одатан ду ё се дастгоҳи таҷрибавӣ барои чен кардани гармиғунҷоиши хос, гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронӣ дар параметрҳои гуногуни ҳолат таҳия карда мешавад, ва баъд гармиғунҷоиш C_p -и намунаҳо бо ифодаи зерин ҳисоб карда мешаванд:

$$C_p = \frac{\lambda}{a\rho}, \frac{Дж}{(кг \cdot К)} \quad (31)$$

ин ҷо: λ – гармигузаронӣ, Вт/ (м.К); a – ҳароратгузаронӣ, м²/с; ρ – зичӣ, кг/м³ дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун.

Наиҷаҳои ченкуниҳои таҷрибавӣ бо маълумоти адабиёт дар доираи ҳудуди ҳатогиҳои таҷрибавӣ мувофиқат мекунанд. Натиҷаҳои тадқиқи таҷрибавӣ дар ҷадвали 7 оварда шудааст.

Тавре, ки аз ҷадвали 7 дида мешавад, бо зиёдшавии ҳарорат гарми-ғунҷоиш меафзояд, ва бо афзоиши консентратсияи хамираи ҷав кам мешавад. Масалан, дар ҳарорати $T = 298,3$ К гармиғунҷоиш ҳангоми илова намудани 10% оби хамираи ҷав ба $\sim 22,6$ % кам шуда ва дар ҳарорати $T = 378,5$ К ин тағйирот то $\sim 16,0\%$ мерасад. Бояд қайд кард, ки корҳои таҷрибавӣ дар шароити мувозинатӣ гузаронида шудааст, яъне мувозинатии ҳарорати, механикӣ дар назар дошта шудааст. тағйирёбии қадами ҳарорат дар таҷрибаҳо ба $\sim (8-10$ К) баробар буд.

Ҷадвали 7.- Гармиғунҷоиши хоси (C_p , $Ч/(кг \cdot K)$) маҳсулоти оби ҷав (об+ хамираи ҷав) вобаста аз ҳарорат, консентратсияи хамираи ҷав дар фишори атмосферӣ, бе речаи ҳавоворидкунӣ

T, K	Намунаҳо						
	H ₂ O	H ₂ O+5 % хамираи ҷав	H ₂ O+6% хамираи ҷав	H ₂ O+7% хамираи ҷав	H ₂ O+8% хамираи ҷав	H ₂ O+9% Хамираи ҷав	H ₂ O+10% Хамираи ҷав
298,3	3993	3554	3450	3340	3290	3160	3090
308,6	3961	3740	3610	3500	3406	3263	3200
318,9	4130	3934	3800	3682	3584	3334	3270
328,4	4370	4192	4050	3900	3800	3650	3443
337,6	4630	4440	4300	4132	4040	3860	3690
348,0	4960	4820	4630	4410	4300	4150	3948
358,4	5350	5200	5030	4840	4680	4510	4330
368,2	5780	5600	5460	5244	5080	4936	4760
378,5	6240	6030	5875	5700	5558	5360	5240

Коркарди натиҷаҳои таҷрибаҳо оид ба гармиғунҷоишро мо бо ёрии вобастагии зерин иҷро намудем:

$$\frac{C_p}{C_p^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (32)$$

ин ҷо C_p ва C_p^* - гармиғунҷоиши хоси маҳлӯлҳо бе речаи ҳавоворидкунӣ дар ҳароратҳои T ва T_1 : $T_1 = 337$ К.

Ин тағйирёбиҳо дар намуди графикӣ дар расми 20 нишон дода шудааст. Мувофиқи график (расми 20) ҳамаи маълумотҳои таҷрибавӣ хати қавро хуб тақрир мекунанд, ки муодилаи дараҷаи дуҷумро дорад:

$$\frac{C_p}{C_p^*} = 8,7\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 - 15,1\left(\frac{T}{T_1}\right) + 7,38 \quad (33)$$

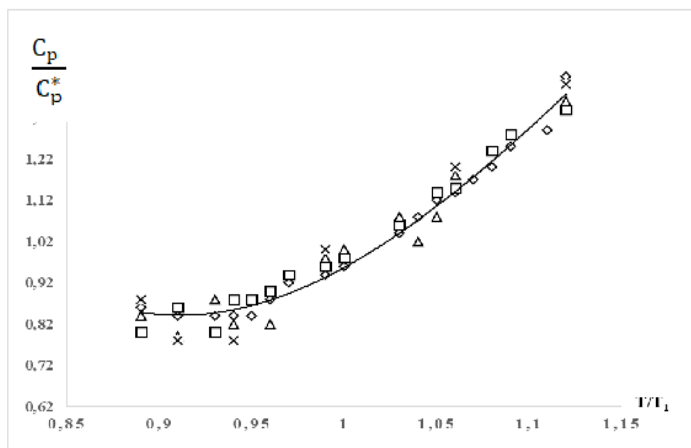
Таҳлили бузургии C_p^* имкон дод, ки он консентратсияи хамираи ҷав ($n_{\text{хам.ҷав}}$) - ро ифода намояд (расми 21).

Хати рости дар расми 21 оварда шуда бо муодилаи зерин ифода карда мешавад:

$$C_p^* = 5400 - 172 n_{\text{хам.ҷав}}. \quad (34)$$

Аз муодилаҳои (33) ва (34) ҳосил мекунем:

$$C_p = \left[8,7\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 - 15,1\left(\frac{T}{T_1}\right) + 7,38\right] (5400 - 172 n_{\text{хам.ҷав}}), \quad \frac{Ч}{(кг \cdot K)}, \quad (35)$$



Расми 20. Вобастагии нисбати гармиғунҷоиши хамираиҷави оби ҷав (C_p / C_p^*) аз нисбати ҳароратҳо T/T_1 : 1 – H_2O ; 2 – $H_2O+5\%$ хамираи ҷав; 3 – $H_2O+6\%$ хамираи ҷав; 4 – $H_2O+7\%$ хамираи ҷав; 5 – $H_2O+8\%$ хамираи ҷав; 6 – $H_2O+9\%$ хамираи ҷав; 7 – $H_2O+10\%$ хамираи ҷав.

Ифодаи эмпирикии (35)-ро барои ҳисобкунии вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси маҳсулотҳои оби ҷави тадқиқнашуда бо ҳатогии то 3% истифода бурдан мумкин аст. Барои ин дониستاني бузургҳои концентратсияи хамираи ҷав ($n_{\text{хам.ҷав}}$) ва ҳарорат кифоя мебошад.

Гармиғунҷоиш ва энталпияи системаи маҳсулотҳои оби ҷав вобаста аз ҳарорат ва фишор бе речаи ҳавоворидкунӣ

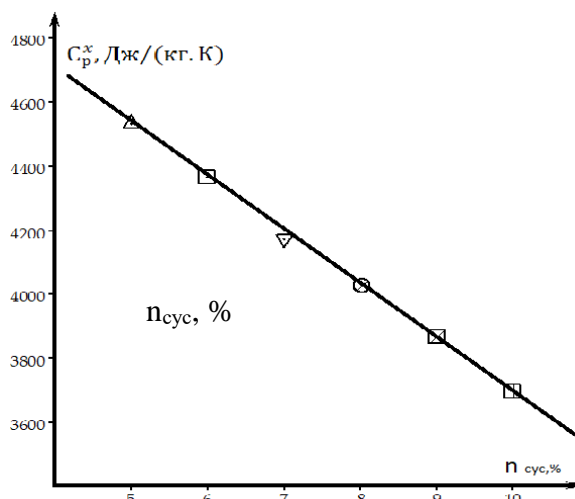
Мувофиқи гуфтаҳо гармиғунҷоиши компонентҳои оби ҷав (H_2O +хамираи ҷав) таҷрибавӣ бо усули α -калориметр ҳангоми мувозинатии ҳароратӣ ва механикӣ татқиқ карда шудааст (ҷадвали 8). Қадами ҳарорати таҷриба 8 – 10°C, ва фишор бошад 10 – 50 МПа-ро ташкил дод, ки намунаҳо ба ҳавоворидкуни тобовар нестанд.

Мувофиқи он маълумотҳое, ки дар ҷадвали 8 оварда шудаанд, гармиғунҷоиши компонентҳои оби ҷав бо зиёдшавии ҳарорат мефзояд, ва афзоиши фишор ва концентратсияи хамираи ҷав дар намунаҳо, баръакс, сабаби камшавии он мегардад.

Ҷадвали 8.- Гармиғунҷоиши хоси ($C_p, \frac{J}{kg \cdot K}$) маҳсулотҳои оби ҷав вобаста аз ҳарорат ва фишор бе речаи ҳавоворидкунӣ.

Намунаи №1- ($H_2O+5\%$ хамираи ғав).

T, K	p, МПа						
	0,101	1,96	2,94	3,92	4,91	5,88	9,81
298,3	3554	3490	3380	3300	3220	3140	3060
308,6	3740	3610	3506	3402	3300	3240	3103
318,9	3934	3750	3708	3624	3509	3410	3300
328,4	4192	4075	3970	3880	3760	3680	3530
338,6	4440	4342	4254	4164	4032	3912	3832



Расми 21. Вобастагии C_p^* аз концентратсияи хамираи ҷав ($n_{\text{хам.ҷав}}$). Қиматҳои $n_{\text{хам.ҷав}}$ бо % ифода карда мешавад.

348,0	4820	4700	4582	4500	4403	4300	4180
358,4	5200	5100	5000	4900	4800	4660	4550
368,2	5600	5500	5400	5300	5200	5100	4940
378,5	6030	5930	5800	5700	5560	5500	5350

Масалан, иловаи 10% хамираи чав ба об дар ҳарорати $T = 298,3$ К ва $p = 0,101$ МПа ба 24,9% камшавии гармиғунҷоиш, ва дар ҳамин фишор ($p = 0,101$ МПа) дар ҳарорати $T = 378,5$ К ин фарқият ба ~16,0 % баробар мешавад. Тавре дар боло зикр шуд гармиғунҷоиш бо зиёдшавии фишор кам мешавад. Масалан, барои намунаи №4 ($H_2O + 8\%$ хамираи чав) дар $T = 298,2$ К будан гармиғунҷоиш ба ~22,5% кам шуда ва ҳангоми $T = 378,6$ К будан ин тағйирёбӣ то ~13,6 % мерасад.

Бузургҳои гармиғунҷоиши намунаҳоро ҷо ба ҷо гузошта дар асоси формулаи дар поён оварда шуда фарқи энталпияи онҳоро ҳисоб намудем:

$$\Delta H = \Delta H_0 + \int_{T_0}^T C_p \cdot dT, \text{ Ҷ/кг}, \quad (36)$$

ё ин, ки

$$\Delta H = \int_{T_0}^T C_p \cdot dT, \text{ Ҷ/кг}, \quad (37)$$

ин ҷо, C_p – гармиғунҷоиши хоси изобарӣ, Ҷ/(кг·К). Натиҷаи ҳисобкуниҳо барои намунаи №1- ($H_2O+5\%$ хамираи чав) дар ҷадвали 9 оварда шудааст.

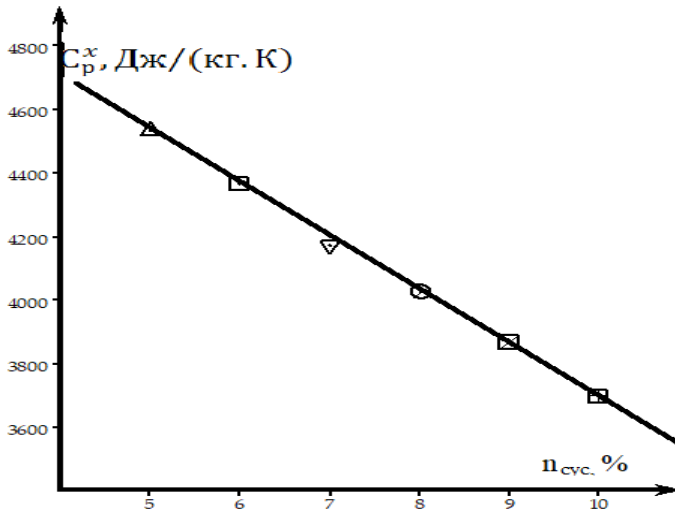
Бо маълумотҳои дар ҷадвали 9 нишондода шуда гуфтан мумкин аст, ки фарқи энталпияи намунаҳо ҳангоми афзоиши ҳарорат ҳамчунин зиёд мешавад, ва баръакс бо зиёдшавии фишор кам мешавад. Илова намудани то 10% хамираи чав ба об ба камшавии энталпияи компонентҳои оби чав меорад. Масалан, барои намунаи №5 ($H_2O+9\%$ сусла) дар ҳарорати $T_1=308,7$ К энталпия то 19,7% кам шуда ва дар $T_2=378,7$ К, ин тағйирёбӣ то 15,9% мерасад. Вақте, ки $p=0,101$ МПа (намунаи №1 $H_2O+5\%$ хамираи чав), ҳангоми зиёдшавии ҳарорат то 378,5К энталпия то ~49,8 % меафзояд, дар ҳамин фишор ва ҳарорати додашуда (намунаи №6 $H_2O+10\%$ хамираи чав) фарқи энталпия ба ~51,0 % меафзояд.

Ҷадвали 9.- Фарқи энталпияи маҳсулоти оби чав вобаста аз ҳарорат ва фишор.

Намунаи №1- ($H_2O+5\%$ хамираи чав)

T, K	p, МПа						
	0,101	1,96	2,94	3,92	4,91	5,88	9,81
308,6	38,52	37,18	36,11	35,04	33,99	33,37	31,96
318,9	38,52	38,63	38,19	37,33	36,14	35,12	33,99
328,4	37,33	35,63	35,23	34,43	33,34	32,39	31,35
338,6	43,59	42,38	41,29	40,35	39,10	38,27	36,71
348,0	41,74	40,81	40,41	39,14	37,90	36,77	36,02
358,4	50,13	48,88	47,65	46,80	45,79	44,72	43,47
368,2	50,96	49,98	49,00	48,02	47,04	45,67	44,59
378,5	57,68	56,65	55,62	-	-	-	-

Қорқарди маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармиғунҷоиш ва энталпияи компонентҳои оби чавро бо ёрии вобастагии зерин иҷро намудем:



Расми 23. Вобастагии гармигунчоиш C_p^{**} аз консентратсияи хамираи чав, намунаҳо барои тайёр намудани оби чав бе речаи хавоворидкунӣ.

Татбиқи муодилаи намуди Тейта барои ҳисобкунии зичии маҳсулотҳои оби чав

Зичии ташкунандаҳои таркиби оби чав дар намуди зерин муайян карда мешавад:

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho} = C \ln \left[\frac{B + P}{B + P_0} \right] \quad (43)$$

ин ҷо ρ_0 – зичии намунаҳо дар $p_0 = 4,91$ МПа; ρ – зичии намунаҳо дар фишори P ; C ва B – коэффитсиентҳо.

Аз таҳлили коэффитсиентҳои B ва C аз (43) ошкор карда шуд, ки онҳо функсияи ҳарорат (ҷадвали 10), яъне $B = f_1(T)$; $C = f_2(T)$ мебошанд.

Мувофиқи (43) ҳосил мекунем:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - C \ln \left[\frac{B + P}{B + P_0} \right]} \quad (44)$$

Бо ифодаи (44) бо ёрии ҷадвали 10 зичии намунаҳоро дар параметрҳои гуногуни ҳолат ҳисоб намудем.

Ҷадвали 10.- Қиматҳои коэффитсиентҳои C ва B дар муодилаи (44)

T, К	C	B 10⁶, Па
293,7	0,0069	1,039
315,5	0,0056	1,0467
333,8	0,0061	1,906
353,5	0,0060	2.212
363,4	0,0059	2,52

Натиҷаҳои истифодаи муодилаи намуди Тейта ифодаи (44) дар параметрҳои гуногуни ҳолат дар ҷадвали 11 нишон шудааст.

Чадвали 11.- Муқоисаи қиматҳои ҳисобкардашуда ва оварда таҷрибавии зичии ($\rho_{\text{ҳисоб.}}$, кг/м³) маҳсулоти оби ҷав аз рӯи муодилаи Тейта дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун

Т,К	p = 9,81 МПа			p = 29,43 МПа		
	$\rho_{\text{таҷ.}}$	$\rho_{\text{ҳисоб.}}$	$\Delta, \%$	$\rho_{\text{таҷ.}}$	$\rho_{\text{ҳисоб.}}$	$\Delta, \%$
293,7	1043,7	1040,1	0,28	1049,5	1049,3	0,06
315,5	1033,1	1029,7	0,33	1039,7	1037,9	0,17
333,8	1023,4	1021,6	0,18	1029,5	1028,3	0,12
353,5	1013,0	1012,6	0,04	1019,2	1018,4	0,08
363,4	1008,5	1006,8	0,12	1014,5	1012,9	0,16
Хатогии миёнаи квадратии зичӣ аз рӯи муодилаи (44)			0,19			0,12

Муодилаҳои таҳияшуда барои ҳисоб намудани зичии намунаҳои натиҷаҳои таҷрибаро дар ҳудуди хатогии то 0,16% ва дар ҳудуди ҷеншудаи ҳарорат ва фишор, мувофиқан $T=293,7-363,4\text{К}$ ва $P=9,81-29,43\text{ МПа}$ тақрор мекунад.

Дар замима варианти чадвалҳои натиҷаҳои муқоисаи таҷрибаҳо ва ҳисобҳои, ки бо истифода аз муодилаҳои эмпирикии, ки дар асоси таҳлил ва коркарди маълумоти таҷрибавӣ аз рӯи усул ва роҳҳои дар боби чоруми рисолаи мазкур тавсифшуда ба даст оварда шудаанд, оварда шудааст. Инчунин дар замимаи рисола санадҳои татбиқи имкони истифодабарии амалии хосиятҳои гармофизикии ва термодинамикии маводҳои татқиқоти дар ҳудудҳои васеи тағйирёбии параметрҳои ҳолат оварда шудааст.

ХУЛОСАҲО

1. Хосиятҳои физикию-химиявӣ, термодинамикӣ ва термограммаи системаҳои (маводи хушк+об+ҳамираи ҷав) дар ҳудуди ҳароратҳои (298-379) К ва фишорҳои ($p=0,101-9,81$) МПа вобаста аз вақт омӯхта шудаанд [1-М,2-М,5-М,6-М,8-М,9-М,10-М].

2. Дастгоҳи таҷрибавӣ барои ҷен кардани гармиғунҷоиши хос ва тағйирёбии ҳарорати таҷзияи маҳлӯлҳо (бо усули гармкунии монотонӣ) вобаста аз ҳарорат ва фишор таҳия карда шудааст [1-М,2-М,3-М,5-М,8-М,9-М,10-М].

3. Аввалин маротиба маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба хосиятҳои физикию-химиявӣ, термодинамикӣ ва тағйирёбии ҳарорати адиабатии намунаҳои тадқиқотӣ системаҳои (маҳсулоти об+ҳамираи ҷав) ба даст оварда шуд [1-М,2-М,3-М,5-М,6-М,8-М,9-М].

4. Муқаррар карда шуд, ки илова намудани ҳамираи ҷав ва маводи хушк ба тағйир ёфтани хосиятҳои физикию-химиявӣ ва термодинамикии об таъсири калон мерасонад [1-М,3-М,6-М,7-М,8-М,9-М,10-М,11-М,18-М,19-М].

5. Таъсири концентратсияи маводи хушк ва ҳамираи ҷав ба тағйирёбии хосиятҳои физикию-химиявӣ ва термодинамикии об нишон дода шуд [1-М,2-М,3-М,7-М,8-М,9-М,10-М,11-М,13-М,14-М,15-М,16-М,19-М].

6. Шарҳи сифатӣ ва миқдории тағйирёбии гармиғунҷоиши хос, гармигу-заронӣ, зичӣ, коэффитсиенти кашиши сатҳӣ, коэффитсиенти адсорбсияи объектҳои тадқиқотӣ оварда шудааст [1-М,2-М,3-М,6-М,8-М,9-М,10-М,14-М,15-М,16-М,18-М,19-М].

7. Барои ба даст овардани қиматҳои ададии зичӣ ва тавсифҳои калорикии маводҳои тадқиқотӣ аввали маротиба мо муодилаи модификатсияшудаи намуди Тейта ва муодилаи Мамедов-Ахундов и усулҳои ҳисобкунии (усули Гаус и Крамер)-ро истифода бурдем [1-М,2-М,3-М,5-М,6-М,7-М,8-М,9-М,10-М,11-М,12-М].

8. Ҳангоми коркард ва таҳлили маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба хосиятҳои физикию-химиявӣ, термодинамикӣ як қатор муодилаҳои эмпирикӣ ба даст оварда шуд, ки имкони ҳисоб кардани тавсифҳои қаблан дар боло зикр шударо вобаста аз ҳарорат, фишор ва консен-тратсияи ҳамираи ҷав медиҳад [1-М,3-М,5-М,6-М,8-М,9-М,10-М,11-М,12-М,13-М,14-М,15-М,16-М,17-М,18-М,19-М,20-М].

9. Аввалин маротиба барои намунаҳои тадқиқотӣ доимииҳои реаксияҳои термохимиявӣ таҷзия бо истифодабарии муодилаи Ленгмюр-Арениус муайян карда шуд [3-М,5-М,6-М,7-М,8-М,10-М,11-М,13-М,14-М,16-М,17-М, 19-М, 20-М].

10. Истифодаи амалии натиҷаҳои бадастомада дар технологияи истеҳсоли оби ҷав барои ҳисобкунии муҳандисии равандҳо ва дастгоҳҳои истеҳсоли хӯрокворӣ, моделсозии динамикаи равандҳои нобаробар, ки дар асоси он коэффисиенти гармидиҳии байни системаҳо ва муҳити атроф ба даст оварда шудааст, пешниҳод карда шуд.

Тавсияҳо оиди рушди дурнамои минбаъдаи мавзӯи тадқиқотии рисола

1. Ҷадвалҳои муфассали гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши хос ва зичии маҳсулоти оби ҷав дар доираи васеи ҳарорат (293-673) К, фишор (0,101-9,81) МПа, инчунин консентратсияи массавӣ пурқунандаҳо (ҳамираи ҷав) тартиб дода шудаанд, ки дар таҷҳизотҳои технологӣ, гармимубодилакунанда ва ғайра истифода бурдан мумкин аст.

2. Вобастагиҳои аппроксиматсиониро бо эффективнокии кофӣ донишҷӯён, магистрантҳо ва аспирантони кафедраи “Мошинҳо ва таҷҳизотҳои маҳсулоти хӯрокворӣ”-и Донишгоҳи технологии Тоҷикистон омӯзгорон, аспирантон, магистрҳо ҳангоми иҷро намудани корҳои хатми ихтисосӣ ва илмӣ истифода мебаранд. Дар корхонаи ЧДММ “Санет” ба таҷҳизотҳо наовари воридкардашуд (Санади татбиқ замима карда шудааст).

3. Натиҷаҳои тадқиқотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши хос, зичӣ, ҳароратгузаронӣ ва часпакии объектҳои тадқиқотиро дар муайянкунии адабии коэффитсиенти фаъолнокии ҳар як компоненти намунаҳои омӯхташаванда истифода бурдан мумкин аст.

4. Вобастагиҳои аппроксиматсионии ба даст омадаро барои ҳисобкунӣ ва пешгӯиҳои тавсифҳои термодинамикӣ ва гармофизики маҳлӯлҳои дар амал наомӯхта дар ҳудудҳои калони тағйирёбии ҳарорат, фишор ва консентратсияи ҳамираи ҷав истифода бурдан мумкин аст, ки имкони лоиҳакашии системаи маводҳоро барои истеҳсоли оби ҷав медиҳад.

5. Маълумоти таҷрибавӣ, ки дар рафти тадқиқот ба даст омада, инчунин модели математикии ҳисоб кардани тағйирёбии параметрҳои гармофизикӣ

арзиши таҷрибаҳои гаронбаҳоро кам карда ва ба даст овардани таҷҳизоти мувофиқи гаронбаҳо мусоидат мекунад.

РУЙҲАТИ КОРҲОИ НАШРШУДА ДАР МАВЗУИ РИСОЛА.

Мақолаҳо дар мачалаҳои илмие, ки аз ҷониби ҚОА- и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия шудаанд:

[1-М]. Курбонов, М.Ф. Теплоемкость и энтальпия системы продуктов пива в зависимости от температуры и давления, без режима аэрации/М.М.Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ф.Б. Курбонов.// Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/1 (192),- С.207-215.

[2-М]. Курбонов, М.Ф. Влияние условий аэрации на кинетику сбраживания и термодинамические свойства пивного сусла/М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ф.Б. Курбонов, Ш. Т.Юсупов.//Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/4 (216), -С.49-52.

[3-М]. Курбонов, М.Ф. Компьютерное моделирование химических и фазовых равновесий в системах с неидеальными растворами/М.М.Сафаров, Х.Х.Назаров, М.А.Зарипова, Н.Б. Давлатов, А.С.Назруллоев, М.М. Гуломов, Г.Н. Неъматов, М.Ф. Курбонов. // Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/4 (216), -С.166-169.

[4-М]. Курбонов, М.Ф. Влияние температуры, количество сухого вещества на изменение теплопроводности продуктов пива, без режима аэрации/М.М. Сафаров, М.Ф.Курбонов, Ф. Б.Курбонов. //Материалы 7 МНПК-2014, “Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке”, Россия, г. Москва, 29. 07. 2014г, Ежемесячный научный журнал “Prospero”, №2. 2014.-С.133-135.

[5-М]. Курбонов, М.Ф. Теплофизические свойства сусла в зависимости от давления и температуры. /М.Ф. Курбонов// Вестник технологического университет Таджикистана, 2 (53), 2023, Душанбе, -С. 47-55.(танҳо)

Нашрияҳо дар конференцияҳои байналмиллали ва ҷумҳуриявӣ.

[6-М].Курбонов, М.Ф. Влияние температуры и наноразмерных порошков на изменение теплоемкости системы сусло+сухие вещества. /М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Х.А. Зоиров, Ф.Б. Курбонов. //Тезисы докладов 13 Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ (с международным участием), Новосибирск-28 июня-1 июля 2011. -С. 173-174.

[7-М]. Курбонов, М.Ф. Влияние влажности на изменение переносных свойств нанопористых материалов. /М.М. Сафаров, М.Д.Пирмадов, М.А. Зарипова, Х.А. Зоиров, Дж.А. Зарипов, М.Ф. Курбонов, М.М. Анакулов. //Материалы 4-й Международной научно-практической конференции “Современные энергосберегающие тепловые технологии, СЭТТ-2011”, Т.2, М.:-2011.- С.383-389

[8-М]. Kurbonov, M.F. Thermal conductivity of jam(plum) and products beer in dependence temperature and pressures./М.М. Safarov, M.F. Kurbonov, F.B.Kurbonov, H.A. Zoirov. //Book of abstracts,19 European Conference on Thermophysical Properties, August 28-September1, 2011, Thessaloniki, Greece,- P.334

[9-М]. Курбонов, М.Ф. Влияние нано-микropорошков на изменение теплоемкости воды и продуктов пива/М.М.Сафаров, М.Ф. Курбонов, Х.А. Зоиров, Ф.Б. Курбонов, Ш.Т. Юсупов. //Республиканская научно-практическая конференция «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений», посвященная 70-летию О. Азизкуловой. 24 декабря 2011, Душанбе. -С.180-182.

[10-М]. Kurbonov, M.F. Influence of volatile oils on the exchange specific heat capacity of aviation kerosene./M.M. Safarov, F.B. Kurbonov, M.F. Kurbonov, M.Abdulloeva, S.A. Tagoev.// 18th Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, Colorado USA, June 24-29, 2012, Paper ID 1021

[11-М]. Курбонов М.Ф. Термодинамические свойства некоторых конденсированных веществ. /М.М. Сафаров, М.А. Абдуллаева, М.Ф. Курбонов, Ш.Т. Юсупов, Ф.Б. Курбонов. // Материалы 8-й Международной теплофизической школы, посвящённой 60-летию профессора Сафарова М.М. Душанбе-Тамбов, 8-13 октября 2012,- С.73-74.

[12-М]. Курбонов, М.Ф. Уравнение состояния систем подсолнечного масла+ н-гексан./ М.М. Сафаров, М.А. Абдуллаева, М.Ф. Курбонов, Ш.Т. Юсупов, Ф.Б. Курбонов. // Материалы 8-й Международной тепло-физической школы, посвящённой 60-летию профессора Сафарова М.М., 8-13 октября 2012, Душанбе-Тамбов,- С.77-80.

[13-М]. Курбонов, М.Ф. Влияние условий аэрации на кинетику сбраживания и теплоемкости пивного суслу и воды./М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ф.Б. Курбонов. //Материалы 10-й Международной научно-практической конференции, 7-15 января 2014, Образование и наука. Руснаука, Прага, Вып. 26,- С.48-50

[14-М]. Курбонов, М.Ф. Влияние условий аэрации на кинетику и теплопроводность сбраживания пивного суслу./М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ф.Б. Курбонов, Ю.Ш. Юсупов, Х.А. Зоиров. //Труды международной научно-технической конференции "Нанотехнология функциональных материалов (НФМ -2114)" 24-28 июня 2014, Санкт Петербург.- С.416-417.

[15-М]. Курбонов, М.Ф. Расчет коэффициента активности двухкомпонентных водных растворов. /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев, М.Ф. Курбонов, Н.Б. Давлатов, Д.С. Джураев. //Материалы Девятой Международной теплофизической школы, Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий, 6-11 октября 2014 г., Душанбе, МТФШ-9.- С.461-465.

[16-М]. Курбонов, М.Ф. Моделирование процесса сушки и увлажнения наноультрадисперсных материалов./М.М. Сафаров, Д.А. Шарифов, М.Ф. Курбонов, Д.С. Джураев // Материалы Девятой Международной теплофизической школы, Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий, 6-11 октября 2014 г. Душанбе, МТФШ-9. -С.310-313.

[17-М]. Курбонов, М.Ф. Уравнение состояния типа Тейта для жидких растворов. Теплопроводность./М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ф.Б. Курбонов, Ш.Т. Юсупов, Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, Д.А. Шарифов, Г.Н. Ньматов. //Материалы Девятой Международной теплофизической школы, Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий, 6-11 октября 2014 г. Душанбе, МТФШ-9. -С.447-452.

[18-М]. Курбонов, М.Ф. Термический анализ и калориметрия пивного сула. Эксперимент и моделирование./М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ш.Т. Юсупов, Ф. Б. Курбонов, Ф.Х. Насруллоев. //Материалы Девятой Международной теплофизической школы. Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий. 6-11 октября 2014 г. Душанбе, МТФШ-9.- С.457-460.

[19-М]. Курбонов, М.Ф. Температуропроводность сула в зависимости от давления/ М.М.Сафаров, М.Ф. Курбонов, Х.А. Зоиров, Ф.Б.Курбонов.// Материалы 10-й Международной теплофизической школы, 3-8 октября 2016 г. “Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий”. Душанбе-Тамбов, 2016.- С.222-226.

[20-М]. Курбанов, М.Ф. Комплексная переработка соевых семян./М.М. Сафаров, Ф.Б. Курбонов, Ш.Т. Юсупов, Н.К. Зарипов, М.Ф. Курбонов.//Материалы 10-й Международной теплофизической школы, 3-8 октября 2016 г. “Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий”. Душанбе-Тамбов, 2016.-С.591-594.

АННОТАЦИЯ

к диссертации Курбонова Мухамадали Файзалиевича на тему «Исследование теплофизических, термодинамических, адсорбционных и массообменных процессов производства пива из местного сырья», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Ключевые слова: теплоемкость, теплопроводность, плотность, температуропроводность, сусла, пиво, температура, давления, концентрация.

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

Научная новизна: получены новые экспериментальные данные по физико-химическим и термодинамическим параметрам продуктов пива на основе «сусло + вода» и кинетике реакции термического разложения данного продукта с учётом и без учёта аэрации; проведен численный анализ влияния наличия аэрации (отсутствие аэрации) в выбранных продуктах на результат исследования периода их термического разложения и изменения их основных физико-химических и термодинамических параметров; усовершенствованы экспериментальные установки для измерения температуропроводности (по методу регулярного разогрева), теплоемкости (метод монотонного разогрева) для получения термограмм (химической кинетики), на основе которых получены новые экспериментальные данные физико-химических, термодинамических свойств в интервале температур (298-379)К, давления (0,101-9,81) МПа; сформированы эмпирические формулы, устанавливающие связь теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности и плотности образцов при различных температурах и давлениях, $P-C_p-T$, $P-C_p-\rho-T$, $P-C_p-\rho-T$, $P-\lambda-T$; установлены константы для реакции термохимического разложения согласно выражению Ленгмюра-Арениуса; получены соответствующие выражения для характеризования кинетики протекания химических процессов при выполнении брожения сусла путем аэрирования в различных условиях, результаты которых способны дать дальновидную оценку течения этих процессов во времени и их физический смысл.

Практическая ценность работы: разработанная методика и модернизированный аппарат позволяют определить физико-химические свойства системы сусло + вода и скорость разложения с существенной экономией времени и ресурсов; 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 различных технологических аппаратов; кинетические параметры реакций термического разложения, определенные по экспериментальным данным, позволяют оценить период эффективности использования теплоносителя до его разложения и потери свойств; математические модели, которые были созданы в процессе исследования, позволяют выполнить прогноз течения соответствующих технологических процессов во время брожения.

Результаты исследования внедрены: созданная аппаратура для измерения теплоемкости, температуропроводности, теплопроводности и термограммы системы (сусло + вода и их продукты) используется в научных и учебных лабораториях кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Технологического университета Таджикистана и кафедры «Общей физики» ТГПУ им. С. Айни преподавателями, аспирантами, магистрантами при выполнении своих выпускных, квалификационных и научных работ. Были учтены результаты диссертационной работы при проектировании, конструировании, создании линии для производства пива для ООО «Неруи Шарк». Реконструированы теплообменник и варочное оборудование на предприятии ООО «Санет» района Рудаки (акты о внедрении результатов прилагаются).

ШАРҲИ МУХТАСАР

ба рисолаи Курбонов Муҳамадали Файзалиевич др мавзӯи “Тадқиқи равандҳои гармофизикӣ, термодинамикӣ, адсорбсионӣ ва массамубодилакунии истеҳсоли оби ҷав аз маҳсулотҳои маҳаллӣ” барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 01.04-14– Физикаи ҳарорат ва назарияи техникаи гармо

Вожакалимаҳо: гармиғунҷоиш, гармигузаронӣ, зичӣ, ҳароратгузаронӣ, хамираи ҷав, оби ҷав, ҳарорат, фишор, концентратсия.

Мақсади рисола тақдир додани технология ва таҷҳизоти истеҳсоли оби ҷав бо истифодаи ашёи хоми маҳаллии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар асоси тадқиқотҳои таҷрибавию ҳисобкунии механизмҳои асосии процесҳои гармиинтиқолдиҳӣ мебошад.

Навгониҳои илмии рисола чунин мебошанд: маълумоти нави таҷрибавӣ оид ба параметрҳои физикӣ-химиявӣ ва термодинамикии маҳсулоти оби ҷав дар асоси «хамираи ҷав + об» ва кинетикаи реаксияи термикии таҷзияи ин маҳсулот бо ҳавоворидкунӣ ва бе ҳаво ба даст оварда шудааст; таҳлили адабии таъсири мавҷудияти ҳавоворидкунӣ (набудани ҳаво) дар маҳсулоти интиқобшуда дар натиҷаи омӯзиши давраи таҷзияи термикии онҳо ва тағирёбии параметрҳои асосии физикӣ-химиявӣ ва термодинамикии онҳо гузаронида шуд; барои ба даст овардани термограммаҳо (кинетикаи химиявӣ) дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои ҷен кардани ҳароратгузаронӣ (бо усули гармкунии мунтазам), гармиғунҷоиш (усули гармкунӣ монотонӣ) тақдир дода шуданд, ки дар асоси онҳо дар ҳудуди ҳароратҳои (298-379) К ва фишорҳои (0,101-9,81) МПа маълумотҳои нави таҷрибавӣ оид ба хосиятҳои физика-химиявӣ, термодинамикӣ ба даст оварда шуданд; формулаҳои эмпирикӣ ҳосил карда шуданд, ки алоқамандии гармигузаронӣ, гармиғунҷоиш, ҳароратгузаронӣ ва зичии намунаҳоро дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун муқаррар мекунанд, $P-C_p-T$, $P-C_p-p-T$, $P-C_p-p-T$, $P-\lambda-T$; доимӣҳои барои реаксияи таҷзияи термохимиявӣ мувофиқи ифодаи Лангмюр-Арениусс муқаррар карда шуданд; ифодаҳои мувофиқ барои тавсифи кинетикаи ҷараёни равандҳои химиявӣ ҳангоми туршкунии хамираи ҷав бо роҳи воридкунии ҳаво дар шароитҳои гуногун, ки натиҷаҳои онҳо метавонанд ба ҷоришавии равандҳо вобаста ба вақт ва маънои физикии онҳо баҳои дирандешона диҳад.

Аҳамияти амалии кор: усули таҳияшуда ва таҷҳизотҳои азнавсозӣ карда шуда имкон медиҳанд, ки хосиятҳои физика-химиявии системаи хамираи ҷав + об ва суръати вайроншавӣ бо сарфи зиёди вақт ва захираҳо муайян карда шаванд; параметрҳои хосиятҳои физика-химиявии муайян карда шуда бонки бузургӣ оид ба характеристикаҳои термодинамикии системаҳои хамираи ҷав+об бо маълумотҳои нав пурра гардонида шуд, ки ҳангоми ҳисобкунии амалии таҷҳизотҳои технологияи гуногуни тадқиқоти истифода бурдан мумкин аст; параметрҳои кинетикии реаксияи таҷзияи бо маълумотҳои таҷрибавӣ муайян карда шуда имкони баҳодихии давраи истифодаи самараноки гармибарандаро то таҷзияшавӣ ва гум кардани хосиятҳои онҳоро медиҳад; модели математикӣ, ки дар раванди тадқиқот сохта шуда буд имкон медиҳад ҷараёни равандҳои технологияи мувофиқ ҳангоми турушшавӣ пешгӯӣ карда шавад.

Татбиқи натиҷаҳои кор: Таҷҳизотҳои таҳияшуда барои ҷен кардани гармиғунҷоиш, ҳароратгузаронӣ, гармигузаронӣ ва термограмаи системаҳои (хамираи ҷав+об ва маҳсулотҳои онҳо) дар озмоишгоҳҳои илмӣ ва таълимии кафедраи “Мошинҳо ва таҷҳизотҳои маҳсулот хурокворӣ”-и Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон ва кафедраи “Физикаи умумӣ”-и Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни омӯзгорон, аспирантон, магистрҳо ҳангоми иҷро намудани корҳои хатми ихтисосӣ ва илмӣ истифода мебаранд ва ҳамчунин дар ЧДММ “Санет”

ABSTRACT

to the dissertation of Kurbonov Mukhamadali Fayzalievich on the topic "Research of thermophysical, thermodynamic, adsorption and mass transfer processes of beer production from local raw materials", submitted for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 01.04.14 - Thermal physics and theoretical heat engineering

Key words: heat capacity, thermal conductivity, density, thermal diffusivity, wort, beer, temperature, pressure, concentration.

Purpose of the work: improvement of technology and equipment for the production of beer using local raw materials of the Republic of Tajikistan on the basis of experimental and computational studies of the main mechanisms of heat exchange processes.

Scientific novelty: new experimental data were obtained on the physicochemical and thermodynamic parameters of beer products based on "wort + water" and the kinetics of the thermal decomposition reaction of this product with and without aeration; a numerical analysis of the influence of the presence of aeration (lack of aeration) in the selected products on the result of studying the period of their thermal decomposition and changes in their basic physicochemical and thermodynamic parameters was carried out; experimental setups for measuring thermal diffusivity (using the laser flash method), heat capacity (monotonous heating method) were improved to obtain thermograms (chemical kinetics), on the basis of which new experimental data on physicochemical, thermodynamic properties were obtained in the temperature range (298-379) K, pressure (0.101-9.81) MPa; empirical formulas were formed that establish the relationship between thermal conductivity, heat capacity, thermal diffusivity and density of samples at various temperatures and pressures, P - C_p - T , P - C_p - ρ - T , P - C_p - ρ - T , P - λ - T ; the constants for the thermochemical decomposition reaction were established according to the Langmuir-Areniuss expression; appropriate expressions were obtained to characterize the kinetics of the course of chemical processes during the fermentation of wort by aeration under various conditions, the results of which are able to give a far-sighted assessment of the course of these processes in time and their physical meaning.

The practical value of the work: the developed methodology and the modernized apparatus make it possible to determine the physicochemical properties of the wort + water system and the rate of decomposition with significant savings in time and resources; the parameters of physical and chemical properties were determined and the bank of values for the thermodynamic characteristics of the wort + water system was supplemented with new data that can be used in practical calculations of the various technological devices under study; kinetic parameters of thermal decomposition reactions, determined from experimental data, make it possible to estimate the period of effective use of the coolant before its decomposition and loss of properties; mathematical models that were created in the course of the study make it possible to predict the course of the relevant technological processes during fermentation.

The results of the study are implemented: the created equipment for measuring the heat capacity, thermal diffusivity, thermal conductivity and thermograms of the system (wort + water and their products) is used in scientific and educational laboratories of the Department of Machinery and Apparatus for Food Production of the Technological University of Tajikistan and the Department of General Physics " TSPU im. S. Aini as teachers, graduate students, undergraduates in the performance of their graduation, qualifying and scientific work and LLC "Sanet".

Подписано в печать _____ г. Бумага офсетная.
Формат 60*84/16 Гарнитура Times New Roman.
Печать офсетная. Тираж 100 экз.

734042, г. Душанбе, просп. ак. Ражабовых, 10
Типография «ТТУ» имени академика М.С. Осими