

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**  
**Таджикский государственный педагогический университет**  
**имени Садриддина Айни**

*На правах рукописи*  
*УДК 536.12.(575.3)*

**ИСМОНОВ Фируз Довудович**

**ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА НА**  
**ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И ВЯЗКОСТИ ВОДЫ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

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

**Душанбе – 2023**

**Работа выполнена в лаборатории «Теплофизика и молекулярная физика»  
кафедры общей физики Таджикского государственного педагогического  
университета имени Садриддина Айни**

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Маджидов Хамид</b> , заслуженный деятель науки и техники Таджикистана, доктор технических наук, профессор
<b>Официальные опоненты:</b>	<b>Мингалеева Гузель Рашидовна</b> , доктор технических наук, доцент Казанского государственного энергетического университета, г. Казань <b>Умаров Анварджон Нуралиевич</b> , кандидат технических наук, и.о. доцента Дангаринского государственного университета, г. Дангара
<b>Ведущая организация:</b>	<b>Технологический университет Таджикистана, г. Душанбе</b>

Защита диссертации состоится «15» января 2024 года в «11<sup>00</sup>» часов на заседании диссертационного совета 6Д.КОА-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](mailto:d.s6d.koa.041@yandex.ru)

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

Автореферат разослан «\_\_\_» декабря 2023 года

**Ученый секретарь  
диссертационного совета 6Д.КОА-041,  
кандидат технических наук, доцент**

**Тагоев С.А.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы** заключается в том, что водные растворы наночастиц, в том числе диоксид титана являются компонентами ракетных топлив. Исследование теплофизических и реологических свойств воды как в чистом виде, так и содержащих различное количество наночастиц диоксид титана, дает возможность определить их рациональное использование в качестве рабочего тела. Для составления уравнения состояния и подробных таблиц по свойствам исследуемых растворов системы (вода+TiO<sub>2</sub>) с различной концентрацией TiO<sub>2</sub> необходимы данные по их плотности и вязкости. Данная работа посвящена определению плотности, вязкости исследуемых систем при различных температурах, давлениях и концентрации наночастиц TiO<sub>2</sub>.

**Цель диссертационной работы:** исследование влияние наночастиц TiO<sub>2</sub> на изменение плотности и вязкости воды в зависимости от температуры, давления и концентрации наночастиц TiO<sub>2</sub>.

Для достижения данной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Модернизировать экспериментальные стенды для измерения плотности и вязкости наножидкостей, работающих методом гидростатического взвешивания и капиллярных вискозиметра с выносным капилляром.

2. Получить экспериментальные значения по плотности и коэффициент динамической вязкости исследуемых веществ в зависимости от температуры и давления.

3. Установить зависимости плотности и динамической вязкости воды + наночастиц TiO<sub>2</sub> (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%) при различных температурах (283 – 433 К) и давлениях (0,101 - 49,01 МПа).

4. Получить аппроксимационные зависимости, устанавливающие взаимосвязь плотности, динамической вязкости с температурой, давлением, концентрацией нанонаполнителей и особенностями структуры исследуемых образцов.

5. Произвести расчет термодинамических, калорических и изотермических характеристик системы вода+наночастицы TiO<sub>2</sub>.

**Научная новизна работы заключается в следующем:**

1. На созданных и модернизированных аппаратах впервые получены экспериментальные данные по плотности и вязкости системы наножидкостей (вода + наночастицы TiO<sub>2</sub> (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%) в интервале температур 283 - 433К и давлений 0,101 - 49,01 МПа.

2. На основе экспериментальных данных по плотности, вязкости исследуемых образцов впервые произведена оценка термодинамических, калориметрических и изотермических характеристик наножидкостей системы (вода + наночастицы TiO<sub>2</sub> (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%).

3. Интерпретация экспериментальных данных по плотности и вязкости системы (вода + наночастицы TiO<sub>2</sub>) в зависимости от температуры, давления и массовой концентрации наночастиц TiO<sub>2</sub>.

4. Впервые для расчета значения плотности и вязкости некоторых наножидкостей системы (вода + наночастицы TiO<sub>2</sub> (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) в зависимости от температуры и давления использовано уравнение типа Тейта.

5. Получены аппроксимационные зависимости, описывающие плотность и вязкость наножидкостей системы (вода + наночастицы  $\text{TiO}_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) в зависимости от температуры и давления.

***На защиту выносятся:***

1. Модернизированные экспериментальные стенды для исследования плотности и вязкости наножидкостей, позволяющие измерять вышеназванные характеристики в широком интервале параметров состояния.

2. Экспериментальные данные по вязкости и плотности исследуемых образцов при  $T=(283-433)$  К,  $p = (0,101- 49,01)$  МПа и различных концентрациях наночастиц  $\text{TiO}_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%).

3. Интерпретация экспериментальных данных по плотности и вязкости системы (вода + наночастицы  $\text{TiO}_2$ ) в зависимости от температуры, давления и массовой концентрации наночастиц  $\text{TiO}_2$ .

4. Расчетные данные по калориметрическим и изотермическим свойствам некоторых наножидкостей системы (вода + наночастицы  $\text{TiO}_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) в зависимости от температуры и давления.

5. Аппроксимационные зависимости и уравнения состояний для расчета плотности и вязкости исследуемых растворов в широком интервале температур (283 – 433) К и давлений (0,101 - 49,01) МПа.

6. Методы расчета калориметрических и изотермических свойств наножидкостей и механизмов переноса импульса в исследуемых наножидкостях.

***Практическая ценность работы:***

1. Результаты диссертационной работы являются новыми, базируются на строгих физико-химических утверждениях и экспериментальных исследованиях, которые можно использовать в качестве расчетного и справочного материала при решении общих задач тепло- и массообмена, а также при разработке принципиально новых и более эффективных технологий создания теплотехнического оборудования. Они могут быть также использованы в образовательном процессе.

2. Дополнен и расширен банк данных теплофизических и термодинамических характеристик системы (вода + наночастицы  $\text{TiO}_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) в зависимости от температуры и давления новыми данными.

3. Разработанные экспериментальные стенды могут быть использованы для экспресс определения плотности и вязкости технологических материалов в научных лабораториях.

***Внедрение результатов исследования:***

-полученные результаты экспериментальных исследований, эмпирических уравнений и уравнение состояния по плотности и термодинамическим свойствам воды и  $\text{TiO}_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%) в зависимости от температуры, давления и содержания  $\text{TiO}_2$  используются в Институте промышленности Министерства промышленности и новой технологии Республики Таджикистан при расчетах технологических процессов, а экспериментальные данные используются как справочные;

- полученные эмпирические уравнения и уравнение состояния могут использоваться для инженерных расчетов аспирантами для выполнения диссертационных работ и студентами, магистрантами и докторантами при выполнении курсовых и дипломных работ и диссертаций.

*Диссертационная работа выполнена по плану координации научно-исследовательских работ в области естественных и общественных наук НАНТ на*

2015 - 2020 годы по теме «Теплофизические свойства веществ» (госрегистрация №81081175 и №01.86.0103274) по проблеме 1.9.7 - Теплофизика.

***Достоверность результатов исследования:***

- для экспериментальных работ результаты получены с помощью сертифицированного лабораторного оборудования с привлечением современных физико-химических методов анализа;
- предложенная идея базируется на анализе практики и обобщения проведенных исследований как автора, так и других исследователей;
- использовано сравнение авторских данных и данных, полученных другими исследователями по рассматриваемой тематике;
- установлена идентичность теоретических результатов и обширных экспериментальных данных, представленных в различных источниках;
- использованы современные методики сбора и обработки данных с привлечением компьютерных программ.

***Личный вклад автора*** состоит в выборе методов и разработке алгоритмов решения поставленных задач при выполнении работы, установлении основных закономерностей, протекающих в теплофизических и термодинамических процессах при получении водных растворов, получении данных по теплофизическим (плотность и вязкость) и калориметрическим, изотермическим свойствам, обработке и анализе полученных результатов, формулировке основных выводов диссертационной работы. Все результаты диссертационной работы получены автором под руководством научного руководителя.

***Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на:***

1. Республиканской научно-методической конференции на тему «Проблемахои истифодаи технологияи иноватсионӣ дар таълими фанҳои табиӣ-риёзи». ТГПУ, Душанбе, (2018);
2. Республиканской научно-методической конференции на тему «Основные проблемы использования инновационной технологии» Бахшида ба татбиқи муносибати босалоҳият дар таълими фанҳои табиӣ ва технологияи информатсионӣ. ТГПУ, Душанбе, (2018).
3. Республиканской научно-методической конференции на тему «Мушкилоти муосири рушди илмҳои табиӣ – риёзӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон». ТГПУ, Душанбе, (2019);
4. Международной научно-практической конференции “Дурнамои рушди илм ва маориф”, Душанбе, (2019);
5. Международной научно-практической конференции “Энергетика Таджикистана: актуальные проблемы и пути их решения”, посвященной 80-летию профессора кафедры электроэнергетики ДФ МЭИ в г. Душанбе Иноятова М.Б. и 70-летию Шамсиева М.В., и приурочена ко Дню энергетика. МЭИ, Душанбе, (2019).
6. Республиканской научно-практической конференции «Фундаментальная наука-основа совершенствования технологий и материалов». Национальная академия наук Таджикистана, Душанбе, (2021).
7. Конференсияи ҷумҳуриявӣ илмию амалӣ дар мавзӯи «Энергетикаи гармо ва ҳосиятҳои гармофизикии моддаҳо». Душанбе, ДТТ, (2021).
8. Симпозиуми физикони Тоҷикистон бахшида ба 85-солагии академик Р.Марупов. Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умаров. Душанбе, (2021).
9. Республиканской научно-практической конференции (с международным участием) «Теплоэнергетика и теплофизические свойств веществ». Душанбе, 2021г.

10. В МТФШ «Теплофизика и информационная технология». Душанбе, Тамбов, 2022г.

***По результатам работы опубликовано 17 статей (из них 7 - рекомендуемые ВАК при Президенте РТ) и 10 тезисов докладов.***

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 01.04.14. «Теплофизика и теоретическая теплотехника» в части п5 «Экспериментальные и теоретические исследования однофазной, свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров теплопередающих поверхностей», в части п7 «Экспериментальные и теоретические исследования процессов совместного переноса тепла и массы в бинарных и многокомпонентных растворах с добавкой наноразмерного титана, включая химически реагирующие наножидкости», в части п9 «Разработка научных основ и создание методов интенсификации процессов тепло- и массообмена».

***Структура и объем диссертации.*** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 172 страницах машинописного (компьютерного) текста. Она содержит 45 рисунков, 41 таблицу, 190 наименований источников литературы и 28 страниц приложения.

#### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ:**

***Во введении*** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, отражена научная новизна и перечислены основные положения, выносимые на защиту.

***В первой главе*** приводится литературный обзор и анализ проблемы по теме диссертации.

На основе обзора и анализа научно-технической и патенто-лицензионной литературы была поставлена цель и сформулированы задачи исследования.

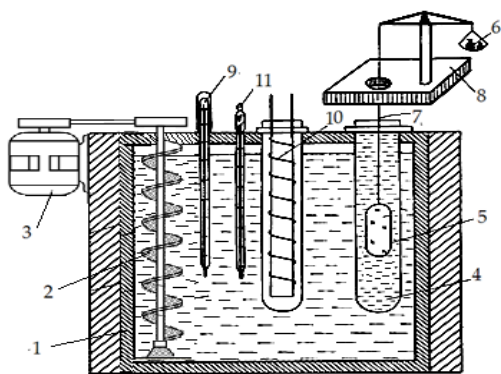
***Во второй главе*** приводятся описания и схемы экспериментальных стендов, использованных в работе для измерения плотности и вязкости наножидкостей при изменении температуры и давления; методика проведения соответствующих опытов; методика вычисления погрешностей, допущенных во время проведения опытов.

#### **Экспериментальные установки и методики измерения плотности и вязкости наножидкостей**

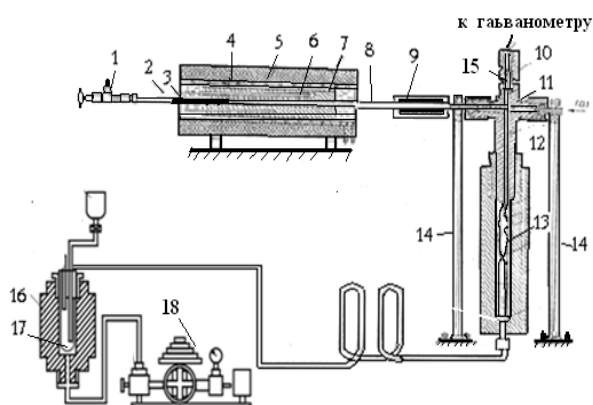
Плотность наножидкостей исследована на экспериментальной установке по методу гидростатистического взвешивания, которая является совместной разработкой профессора Гусейнова К.Д. и профессора Голубева И.Ф.

На рисунке 1 показана схема экспериментальной установки для измерения плотности жидких веществ при атмосферном давлении.

На рисунке 2 показана схема вискозиметрической части установки для измерения вязкости системы (вода+наночастицы  $TiO_2$ ) в зависимости от температуры и давления.



**Рисунок 1** - Схема экспериментальной установки для измерения плотности жидких веществ при атмосферном давлении: 1 - термостат; 2 - мешалка; 3 - электродвигатель; 4 - камера с опытным веществом из химически нейтрального материала (НС - 2); 5 - поплавок из химически нейтрального материала (НС - 2); 6 - уравнивающие разновесы; 7 - манганиновая проволока; 8 - аналитические весы; 9 - ртутный термометр; 10 - нагреватель; 11 - контактный термометр.



**Рисунок 2** - Схема вискозиметрической части установки для определения вязкости жидкостей и растворов при высоких давлениях и температурах: 1 - медный цилиндрический блок; 2 - термометр; 3 - термопары; 4 - конусное уплотнение; 5 - нижний штуцер; 6 - уплотнительный патрон; 7 - соединительные трубки; 8, 12 - нажимная гайка; 9 - уплотняющий конус; 10 - электроввод высокого давления; 11 - крестовина; 13 - стеклянный вискозиметр; 14 - стойка; 15 - крючок; 16 - пережимной сосуд; 17 - полиэтиленовый мешочек; 18 - грузопоршневый манометр типа МП - 2500.

**В третьей главе** приводятся результаты соответствующих измерений плотности, вязкости и calorических свойств системы вода и  $\text{TiO}_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%) в зависимости от температуры (283–433)К, давления (0,101-49,01)МПа и содержания  $\text{TiO}_2$ , а также представлены полученные эмпирические уравнения.

#### **Экспериментальное значение плотности наножидкостей при различных температурах и давлениях**

Для экспериментального определения плотности растворов системы вода + наночастицы  $\text{TiO}_2$  использован метод гидростатического взвешивания. Общая относительная погрешность измерения плотности исследуемых растворов при доверительной вероятности  $\alpha = 0,95\%$  равна 0,1%.

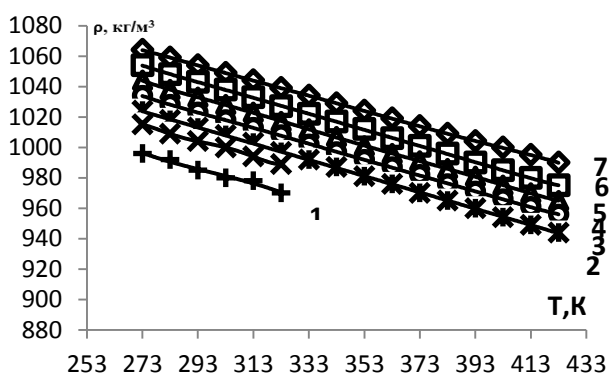
Экспериментальные данные по плотности растворов системы вода + наночастицы  $\text{TiO}_2$  представлены на рисунках 3.1-3.7 и в таблицах 3.1-3.7 диссертации.

На рисунке 3 отражены экспериментально полученные данные по плотности воды как в чистом виде, так и с добавлением 0,5%  $\text{TiO}_2$  при высоких параметрах состояния.

Согласно рис. 1 таблиц 3.1 – 3.7 и рисунков 3.1–3.7 диссертации с повышением температуры плотность исследуемых объектов уменьшается по линейному закону, а с ростом давления растет. С увеличением массовой концентрации диоксида титана  $\text{TiO}_2$  в составе раствора их плотность увеличивается. С ростом температуры зависимость плотности исследуемых растворов от массовой концентрации  $\text{TiO}_2$  принимает линейный характер. С увеличением температуры при расширении растворов их объем увеличивается, что приводит к уменьшению плотности

растворов. С ростом давления в опыте расстояния между молекулами исследуемых растворов их объем уменьшается, что приводит к увеличению их плотности.

Надо отметить, что с ростом массовой концентрации диоксида титана в составе исследуемых растворов их плотность увеличивается, и влияние температуры на изменение их плотности растет. Например, при повышении температуры от 283К до 333К плотность воды уменьшается на 1,43%, а эти изменения для растворов  $\text{H}_2\text{O} + 0,5\% \text{TiO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O} + 2,0\% \text{TiO}_2$  соответственно составляют 2,34% и 3,64%. Увеличение массовой концентрации наполнителя (диоксида титана  $\text{TiO}_2$ ) приводит к росту массы исследуемых растворов в единицу их объема, что приводит к росту плотности. Изменения роста плотности растворов с повышением температуры связаны с уменьшением межмолекулярных расстояний.



**Рисунок 3.** Плотность водных растворов диоксида титана ( $\text{H}_2\text{O} + 0,5\% \text{TiO}_2$ ) при высоких параметрах состояния: 1- $\text{H}_2\text{O}$  (0,101 МПа), 2-0,101МПа, 3-9,81МПа, 4-19,61МПа, 5-29,42МПа, 6-39,24МПа, 7-49,01МПа.

Исследование показало, что с ростом давления влияние температуры на изменение плотности исследуемых растворов уменьшается. Например, при изменении температуры от 283К до 333К при давлении 0,101МПа плотность раствора, содержащего 0,5%  $\text{TiO}_2$ , уменьшается на 2,34%, а это уменьшение при давлении 19,61МПа и 49,01МПа соответственно составляет 2,02% и 1,8%.

Рост давления приводит к хорошему уплотнению молекул исследуемых растворов. Хорошее уплотнение молекул растворов уменьшает изменение их плотности с повышением температуры.

Надо отметить, что с ростом массовой концентрации диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ) в составе водных растворов влияние температуры на изменение плотности растворов при различных давлениях увеличивается. Например, при давлении 49,01МПа увеличение температуры от 283К до 333К уменьшает плотность раствора, содержащего 0,5%  $\text{TiO}_2$  на 1,8%, а для растворов, содержащих 1,0%  $\text{TiO}_2$  и 2,0%  $\text{TiO}_2$ , это уменьшение соответственно составляет 2,44% и 3,35%.

С ростом массовой концентрации  $\text{TiO}_2$  в составе воды межмолекулярное взаимодействие ослабляется. В результате повышения температуры молекулы воды слегка удаляются друг от друга, и расстояние между ними растет, что приводит к увеличению объема раствора, и это определяет причину увеличения влияния температуры на уменьшение плотности растворов.

Установлено, что с ростом температуры влияние давления на изменение плотности растворов, содержащих различные массовые концентрации  $\text{TiO}_2$ , увеличивается. Например, при температуре 283К увеличение давления от 0,101МПа до 49,01МПа, плотность раствора, содержащего 0,5%  $\text{TiO}_2$ , увеличивается на 3,22%, а при температуре 333К это увеличение составляет 3,8%. Для раствора, содержащего 1,5%  $\text{TiO}_2$ , такое изменение составляет при температуре  $T=283\text{K}$  3,11%, а для температуры  $T=333\text{K}$  – 3,91%.



С ростом температуры расстояние между молекулами увеличивается, и чем больше будет температура, тем больше становится расстояние между молекулами в растворе. Под действием внешнего давления при повышенных температурах молекулы сильнее приближаются друг к другу, а это приводит к уменьшению объема раствора и увеличению их плотности. Поэтому с ростом температуры влияние давления на изменение плотности растворов увеличивается.

Надо отметить, что при температуре  $T=433\text{K}$  при изменении давления от  $9,81\text{МПа}$  до  $49,01\text{МПа}$  плотность растворов, содержащих различные массовые концентрации  $\text{TiO}_2$ , увеличивается почти одинаково и примерно составляет  $3,0\%$ . Это свидетельствует о том, что при повышенных температурах взаимодействие молекул растворов, содержащих различные массовые концентрации  $\text{TiO}_2$ , не очень сильно отличаются.

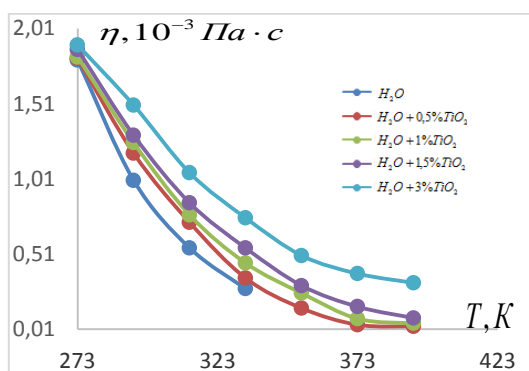
С ростом диапазона температуры уменьшение плотности водных растворов увеличивается. Например, если изменение температуры происходит от  $283\text{K}$  до  $333\text{K}$  при давлении  $19,61\text{МПа}$  уменьшается плотность раствора, содержащего  $0,5\%$   $\text{TiO}_2$ , на  $2,02\%$ , а это изменение при давлении  $19,61\text{МПа}$  при увеличении температуры от  $283\text{K}$  до  $433\text{K}$  составляет  $8,19\%$ , при давлении  $49,01\text{МПа}$  –  $7,57\%$ . Это связано с увеличением расстояния между молекулами водных растворов с повышением диапазона температуры.

#### Экспериментальное значение коэффициента динамической вязкости наножидкостей при различных температурах и давлениях

Для измерения вязкости коллоидных растворов системы ( $\text{H}_2\text{O}+\text{TiO}_2$ ) при различных температурах и давлениях нами использована экспериментальная установка, разработанная профессором Голубевым И.Ф. и модернизированная профессором Назыевым Я.М. и его учениками.

Полученные результаты по динамической вязкости исследуемых объектов приведены в табл. 3.10-3.15 диссертации и на рисунке 3.

Согласно таблице 3.10-3.15 и рисунку 4. коэффициент динамической вязкости ( $\eta, 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$ ) растворов, содержащих различную массовую концентрацию  $\text{TiO}_2$ , с ростом температуры уменьшается по закону гиперболы. Увеличение концентрации наночастиц диоксида титана также приводит к увеличению коэффициента динамической вязкости водных растворов диоксида титана, а также чистой воды.



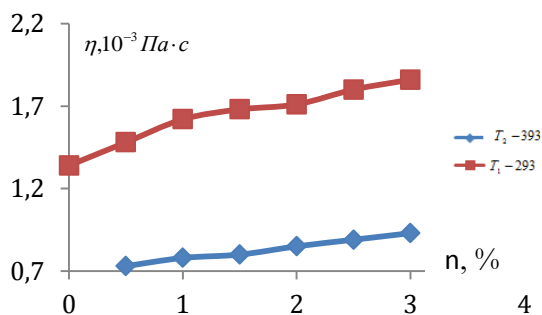
**Рисунок 4.** Влияние температуры и массовой концентрации наночастиц ( $\text{TiO}_2$ ) на изменение коэффициента динамической вязкости воды

На рисунках 5 и 6 показана зависимость коэффициента динамической вязкости от массовой концентрации наночастиц диоксида титана при различных температурах и давлениях  $29,34\text{МПа}$  и  $49,01\text{МПа}$ .

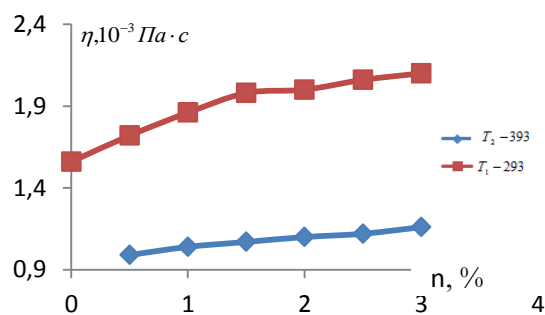
Как видно из рисунков 5 и 6, с ростом массовой концентрации наночастиц диоксида титана коэффициент динамической вязкости водных растворов

увеличивается. При низких температурах ( $T_1=293\text{K}$ ) с увеличением массовой концентрации  $\text{TiO}_2$  коэффициент динамической вязкости водных растворов растет нелинейно, а с повышением температуры ( $T_2=393\text{K}$ ) увеличение коэффициента динамической вязкости происходит по линейному закону.

Надо отметить, что в различных изобарах разность коэффициента динамической вязкости водных растворов, содержащих различные массовые концентрации  $\text{TiO}_2$ , почти одинакова. На рисунках 5 и 6 на изобарах 29,34 МПа и 49,01 МПа разность коэффициента динамической вязкости между изотермами  $T_1=293\text{K}$  и  $T_2=393\text{K}$  при массовой концентрации 0,5%  $\text{TiO}_2$  и 3,0%  $\text{TiO}_2$  соответственно составляет  $\Delta\eta = \eta_{293} - \eta_{393} = 0,742 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$  и  $\Delta\eta = 0,951 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$ .



**Рисунок 5.** Зависимость коэффициента динамической вязкости водных растворов в зависимости от массовой концентрации наночастиц  $\text{TiO}_2$  при давлении  $P=29,34$  МПа и температурах  $T_1=293\text{K}$  и  $T_2=393\text{K}$



**Рисунок 6.** Зависимость коэффициента динамической вязкости водных растворов в зависимости от массовой концентрации наночастиц  $\text{TiO}_2$  при давлении  $P=49,01$  МПа и температурах  $T_1=293\text{K}$  и  $T_2=393\text{K}$

Таким образом, с увеличением массовой концентрации наночастиц диоксида титана в водных растворах на изобарах разность коэффициента динамической вязкости растет.

С ростом температуры расстояния между молекулами водных растворов, содержащих различные массовые концентрации  $\text{TiO}_2$ , увеличиваются.

Увеличение расстояния между молекулами водных растворов ухудшает передачу импульса молекулы от одной изотермической поверхности к другой изотермической поверхности, что приводит к уменьшению коэффициента динамической вязкости водных растворов, содержащих различное количество наночастиц диоксида титана с повышением температуры.

Увеличение коэффициента динамической вязкости водных растворов с ростом массовой концентрации наночастиц диоксида титана связано с большим вкладом наночастиц в передачу импульса из одного изотермического слоя к другому в водных растворах, содержащих различное количество  $\text{TiO}_2$ .

Поэтому, чем больше будет массовая концентрация наночастиц диоксида титана в составе водных растворов, тем больше становится их коэффициент динамической вязкости.

Установили, что с ростом давления влияние температуры на изменение коэффициента динамической вязкости водных растворов, содержащих различные массовые концентрации наночастиц диоксида титана уменьшается.

Например, при изменении температуры от 273K до 333K коэффициент динамической вязкости воды при давлении  $P=0,101\text{МПа}$  уменьшается на 73,83%, а

для водных растворов, содержащих 0,5%  $\text{TiO}_2$  при давлении  $P=0,101\text{МПа}$  уменьшается на 72,11%, при давлении  $P=19,61\text{МПа}$  на 63,47%, при давлении  $P=49,01\text{МПа}$  на 54,1%, а такое уменьшение в растворе, содержащего 1,0%  $\text{TiO}_2$ , составляет при давлении  $P=0,101\text{МПа}$  – 69,87%, при  $P=19,61\text{МПа}$  – 61,37%, при  $P=49,01\text{МПа}$  – 52,48% и для раствора, содержащего 3,0%  $\text{TiO}_2$ , это изменение составляет при давлении  $P=0,101\text{МПа}$  – 55,48%, при  $P=9,81\text{МПа}$  – 50,78%, при  $P=19,61\text{МПа}$  – 43,46%, при  $P=49,01\text{МПа}$  – 40,07%.

Рост давления приводит к хорошему уплотнению молекул исследуемых объектов. Хорошо уплотненные молекулы растворов уменьшают изменение коэффициента динамической вязкости. Чем больше будет давление, тем больше происходит хорошее уплотнение молекул растворов, содержащих различные массовые концентрации наночастиц диоксида титана. При хорошем уплотнении молекул водных растворов влияние температуры на изменение коэффициента динамической вязкости уменьшается, что подтверждается проведенным нами исследованием. Хорошее уплотнение молекул обеспечивает лучшую передачу импульса молекулы от одного изотермического слоя к другому, что уменьшает влияние температуры на изменение коэффициента динамической вязкости исследуемых водных растворов.

Исследование показало, что, чем больше будет диапазон изменения температуры, тем больше будет влияние давления на изменение коэффициента динамической вязкости водных растворов, содержащих различные массовые концентрации наночастиц диоксида титана. Например, в диапазоне изменения температуры (273 - 333)К при давлении  $P=0,101\text{МПа}$  коэффициент динамической вязкости водных растворов, содержащих 1,0%  $\text{TiO}_2$ , уменьшается на 69,78%, при давлении  $P=19,61\text{МПа}$  – 61,37%, при давлении  $P=49,01\text{МПа}$  – 52,48%, а в диапазоне температур  $T=(273 - 443)\text{К}$  это уменьшение соответственно составляет при  $P=9,81\text{МПа}$  – 73,61%, при  $P=29,34\text{МПа}$  – 65,46%, при  $P=49,01\text{МПа}$  – 59,23%.

Чем больше будет диапазон изменения температуры, тем больше становится расстояние между молекулами водных растворов, содержащих различные массовые концентрации наночастиц диоксида титана, и это является причиной большого уменьшения коэффициента динамической вязкости водных растворов, содержащих различные массовые концентрации наночастиц  $\text{TiO}_2$  в большом диапазоне температур.

Установлено, что с ростом массовой концентрации наночастиц диоксида титана в состав водных растворов влияние давления на их коэффициент динамической вязкости при различных температурах уменьшается. Например, при изменении давления от 0,101МПа до 49,01МПа коэффициент динамической вязкости водных растворов, содержащих 0,5%  $\text{TiO}_2$ , при температуре  $T=333\text{К}$  увеличивается на 118,65%, при температуре  $T=393\text{К}$  на 161,52%, а для водных растворов, содержащих 1,5%  $\text{TiO}_2$ , увеличение коэффициента динамической вязкости при изменении давления от 0,101МПа до 49,01МПа при температурах 333К и 393К соответственно составляет 100,3% и 127,88%, а такие изменения для водных растворов, содержащих 3,0%  $\text{TiO}_2$  соответственно составляет 87,17% и 109,78%.

С ростом массовой концентрации наночастиц диоксида титана в составе водных растворов взаимодействие между их молекулами увеличивается, и это затрудняет приближение молекул друг к другу под действием внешнего давления, и перенос импульса молекулы от одного изотермического слоя к другому

уменьшается, что приводит к уменьшению влияния внешнего давления на коэффициент динамической вязкости объектов при различных температурах.

**Четвертая глава** посвящена анализу, обработке и обобщению данных, полученных в ходе соответствующих измерений плотности и вязкости исследуемых растворов в зависимости от температуры и давления методом приведенных координат.

### Аппроксимационные зависимости для расчета плотности и вязкости исследуемых растворов при атмосферном давлении и различных температурах

Для получения аппроксимационных зависимостей, позволяющих определить плотность исследуемых растворов при различных температурах и атмосферном давлении, нами получен следующий график (рисунок 7).

Прямая, показанная на рисунке 7, для растворов системы ( $H_2O + TiO_2$ ) при давлении атмосферного воздуха описывается выражением:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = 1,45 - 0,245 \left( \frac{T}{T_1} \right), \quad (1)$$

где  $T_1 = 353K$ .

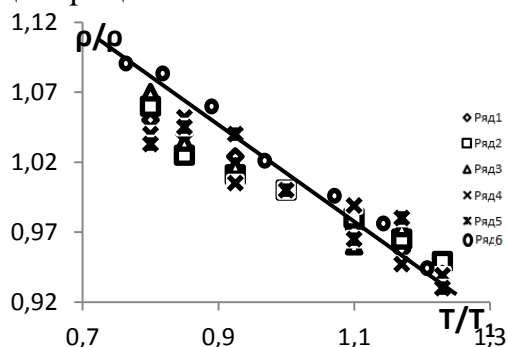
С помощью выражения (1) можно рассчитать относительную плотность от относительной температуры в пределах погрешности опыта. Для расчета относительной плотности необходимо иметь эмпирические данные плотности изучаемых жидких веществ (всех наножидкостей при температуре  $T_1 = 353K$ ). Значение  $\rho_1$  можно подбирать по таблицам 3.1 - 3.7 диссертации.

В выражении (2) значения принимаются из таблицы (3.2-3.15) диссертации и  $T_1 = 333K$ . Выпуклость функциональной зависимости (3.2) приведена в таблице 3.16 диссертации и описывается уравнением:

$$\frac{\eta}{\eta_1} = a_i \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 + b_i \left( \frac{T}{T_1} \right) + c_i. \quad (2)$$

Используя вычисленные значения таблицы 3.16 диссертации и метод наименьших квадратов или программу Excel, рассчитали коэффициенты уравнения в виде параболы, которые для всех исследуемых растворов системы ( $H_2O + TiO_2$ ) как в чистом виде, так и с добавлением до 3,0% диоксида титана при различных температурах и атмосферном давлении. Значения коэффициентов  $a_i, b_i, c_i$  представлены в виде таблицы 3.17 диссертации.

Анализ значений коэффициента динамической вязкости ( $\eta_1$ ) исследуемых водных растворов диоксида титана показал, что они являются функциями концентрации нано-наполнителя:



**Рисунок 7.** Зависимость относительной плотности от относительной температуры: *обр.№1* – ( $H_2O + 0,5\%TiO_2$ ), *обр.№2* – ( $H_2O + 1,0\%TiO_2$ ), *обр.№3* – ( $H_2O + 1,5\%TiO_2$ ), *обр.№4* – ( $H_2O + 2,0\%TiO_2$ ), *обр.№5* – ( $H_2O + 2,5\%TiO_2$ ), *обр.№6* – ( $H_2O + 3,0\%TiO_2$ )

С целью получения аппроксимационных зависимостей по коэффициенту динамической вязкости исследуемых водных растворов диоксида титана нами была использована следующая функциональная зависимость:

$$\frac{\eta}{\eta_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right) . \quad (3)$$

$$\eta_1 = [A \cdot (n_{TiO_2})^2 + B \cdot n_{TiO_2} + C], \text{Па} \cdot \text{с} \quad (4)$$

Значение коэффициентов А, В, С приведены таблице 3.18 диссертации.

### **Расчет разности теплоемкостей системы ( $H_2O + TiO_2$ ) при различных температурах и атмосферном давлении**

Для расчёта разности теплоемкостей газов, жидкостей и растворов при различных температурах, давлениях можно использовать следующее выражение:

$$C_p - C_v = \frac{\alpha_p^2 T}{\beta_T \rho}, \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}\right) \quad (5)$$

где  $\alpha_p$  – коэффициент изобарического расширения, (1/К);  $\beta_T$  – изотермический коэффициент сжимаемости (1/Па);  $\rho$  – плотность (кг/м<sup>3</sup>) при различных температурах (293-353) К и давлениях (9,81-49,01) МПа.

Для расчета разности теплоемкостей ( $C_p - C_v$ ) исследуемых водных растворов ( $H_2O + TiO_2$ ) нами были использованы экспериментальные данные по плотности и расчетные данные по  $\alpha_p$ ,  $\beta_T$ , (табл.3.1-3.7 и рисунки 3.1-3.7 диссертации).

### **Расчет разности теплоемкостей исследуемых растворов при различных температурах и давлениях**

Впервые нами была определена разность теплоемкостей растворов системы ( $H_2O + TiO_2$ ) в зависимости от температуры и давления согласно формуле:

$$C_p - C_v = \frac{\alpha_p^2 T}{\beta_T \rho}, \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}\right). \quad (6)$$

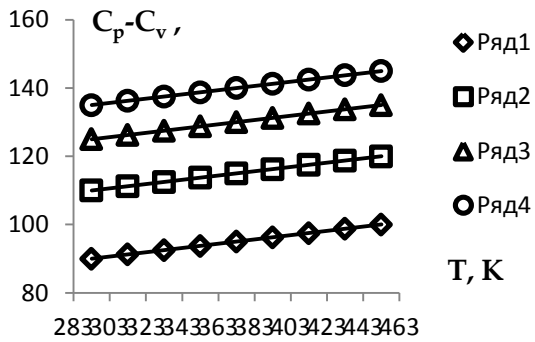
где ( $C_p - C_v$ ) – разность теплоемкостей (Дж/кг·К);  $\alpha_p$  – коэффициент изобарического расширения (1/К);  $\beta_T$  – изотермический коэффициент сжимаемости (1/Па); Т- температура К;  $\rho$  – плотность (кг/м<sup>3</sup>).

Результаты расчета  $C_p - C_v$  приведены в таблицах 4.1-4.9, и характер их изменения в зависимости от давления и температуры показан на рис. 4.1 – 4.8 диссертации.

На рис. 8. показана зависимость разности теплоемкостей ( $C_p - C_v$ ) для раствора, содержащего 1,5%  $TiO_2$ , от температуры при различных давлениях.

Расчеты показали, что разность теплоемкостей образцов ( $C_p - C_v$ ) с повышением давления уменьшается, а с повышением концентрации наночастиц  $TiO_2$ , наоборот, увеличивается. Согласно рисунку 9 с ростом массовой концентрации  $TiO_2$  при различных температурах в отдельных изобарах ( $C_p - C_v$ ), увеличивается нелинейно.

Увеличение разности теплоемкости исследуемых растворов с увеличением массовой концентрации наночастиц диоксида титана, видимо, связано с большим значением его теплоемкости по сравнению с теплоемкостью чистой воды. Поэтому увеличение массовой концентрации наночастиц диоксида титана в составе водных растворов приводит к увеличению их разности теплоемкости во всем интервале температур.



**Рисунок 8.** Разность теплоёмкостей ( $C_p - C_v$ ), *обр.№4*( $H_2O + 1,5\%TiO_2$ ) при различных температурах (293– 453) К и давлениях (9,81–39,24) МПа: 1-9,81МПа; 2-19,62МПа; 3-29,43МПа; 4-39,24МПа.

С ростом давления плотность водных растворов, содержащих различные массовые концентрации наночастиц диоксида титана, увеличивается и согласно расчетной формуле (6) приводит к уменьшению разности теплоемкости исследуемых растворов.

#### Расчет внутреннего давления исследуемых растворов системы ( $H_2O + TiO_2$ ) при различных параметрах состояния и концентрации наночастиц

На основе теории жидкостей и растворов ученые, занимающиеся молекулярным состоянием, предложили, что внутреннее давление жидкостей, которые взаимосвязаны с коэффициентом объемного расширения ( $\alpha_p$ ); изотермическим коэффициентом сжимаемости ( $\beta_T$ ); температурой (Т) и внешним давлением, выдавливает раствор или жидкость. Таким образом, внутреннее давление исследуемых жидкостей, других жидкостей и растворов определяется следующим выражением:

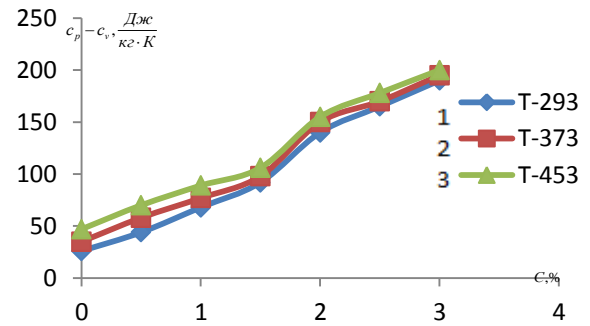
$$P_i = \frac{\alpha_p}{\beta_T} T - P_0, \text{ Па.} \quad (7)$$

При расчетах внутреннего давления наножидкостей, растворов или ньютоновских жидкостей обычно принимают  $P_0 = 0.101$  МПа или  $10^6$  Па.

Результаты расчета внутреннего давления графически показаны на рисунках 4.3.1 - 4.3.2 и в таблице 4.3.1 диссертации. Внутреннее давление растворов системы ( $H_2O + TiO_2$ ) с ростом температуры и концентрации наночастиц повышается.

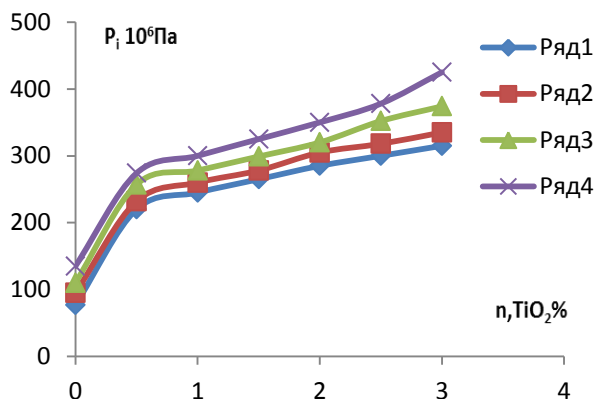
Внутреннее давление жидкости образуется в результате взаимодействия их молекул. С ростом температуры скорость теплового движения молекул увеличивается, и это приводит к росту взаимодействия молекул исследуемых растворов, поэтому с ростом температуры внутреннее давление водных растворов, содержащих различные массовые концентрации наночастиц диоксида титана ( $TiO_2$ ), увеличивается, что подтверждается результатами нашего исследования.

Согласно расчетной формуле (7) внутреннее давление прямо пропорционально коэффициенту объемного расширения и температуре и обратно пропорционально изотермическому коэффициенту сжимаемости (рис.10). Рост внутреннего давления исследуемых водных растворов, содержащих различные массовые концентрации  $TiO_2$ , с повышением температуры показывает, что рост коэффициента объемного расширения водных растворов с повышением температуры больше, чем рост их изотермического коэффициента сжимаемости.



**Рисунок 9.** Зависимость ( $C_p - C_v$ ) водных растворов от массовой концентрации наночастиц диоксида титана  $TiO_2$  при давлении  $P=39,24$ МПа и различных температурах: 1-293К, 2-373К, 3-453К

Увеличение внутреннего давления исследуемых водных растворов с ростом массовой концентрации наночастиц диоксида титана связано с ростом взаимодействия молекул воды с молекулами диоксида титана.



**Рисунок 10.** Зависимость внутреннего давления растворов системы ( $\text{H}_2\text{O} + \text{TiO}_2$ ) от концентрации наночастиц  $\text{TiO}_2$  при атмосферном давлении и температур: 1-283К; 2-293К; 3-313К; 4-323К.

### Расчет изотермического коэффициента сжимаемости водных растворов диоксида титана

Для расчета изотермического коэффициента сжимаемости исследуемых водных растворов диоксида титана при комнатной температуре ( $T=293\text{K}$ ) и давлении (0,101-49,01) МПа нами использовано следующее выражение:

$$\beta_T = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_T, \quad \left( \frac{1}{\text{Па}} \right) \quad (8)$$

где  $\rho$ ,  $\partial \rho$  – плотность,  $\text{кг/м}^3$  и разность плотности,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\partial P$  – разность давления, Па соответственно.

Расчёт изотермического коэффициента сжимаемости растворов системы ( $\text{H}_2\text{O} + \text{TiO}_2$ ) при различной концентрации диоксида титана (0-3,0 %) проведен по формуле (8) с использованием данных по плотности исследуемых объектов. Погрешность расчёта изотермического коэффициента сжимаемости зависит от погрешности исходных данных, входящих в уравнение 8.

Согласно расчетам изотермического коэффициента сжимаемости исследуемых растворов системы ( $\text{H}_2\text{O} + \text{TiO}_2$ ) с ростом температуры и концентрации  $\text{TiO}_2$  увеличивается.

### Расчет изотермического коэффициента сжимаемости водных растворов диоксида титана в зависимости от давления при комнатной температуре

Для расчёта изотермического коэффициента сжимаемости растворов в системе ( $\text{H}_2\text{O} + \text{TiO}_2$ ) при давлении (9,81-49,01) МПа и температуре  $T=293\text{K}$  нами была использована следующая функциональная зависимость:

$$\beta_T = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_T = [2\rho^2 A(T) + 8\rho^8 B(T)], \quad (9)$$

где  $\rho$  – плотность растворов ( $\text{кг/м}^3$ ),  $A(T)$  и  $B(T)$  – эмпирические коэффициенты уравнения, которые определяются при составлении расчётных уравнений. Результаты расчета значения изотермического коэффициента сжимаемости приведены в таблице 4.5.1 и рисунке 4.5.1 диссертации.

Для их определения необходимо иметь данные о температурно-концентрационной зависимости плотности исследуемых растворов.

Согласно расчетам изотермический коэффициент сжимаемости исследуемых образцов с ростом давления увеличивается.

Надо отметить, что с помощью уравнения (4.5.1) можно определить значение температурной и концентрационной зависимости изотермического коэффициента сжимаемости исследуемых растворов при различных давлениях.

Расчеты показали, что изотермический коэффициент сжимаемости исследуемых образцов системы ( $H_2O+TiO_2$ ) с повышением давления имеет сложный характер.

### **Обработка и обобщение плотности растворов системы ( $H_2O + TiO_2$ ) при различных температурах и давлениях**

С учетом экспериментальных данных по плотности изученных растворов системы ( $H_2O + TiO_2$ ), полученных в условиях различных температур (293-453)К и давлений (0,101-49,01) МПа, нами впервые была проведена их обработка на основании нижеприведенной функциональной зависимости:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (10)$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_{1*}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right), \quad (11)$$

где  $\rho$  - плотность исследуемых растворов при различных температурах и давлениях и  $\rho_1$ -плотность исследуемых растворов при  $T_1 = 353$  К;  $P_1 = 19,61$  МПа;

Для обобщения экспериментальных данных по выражениям (10) и (11) нами использованы данные, приведенные в таблицах 3.1 – 3.7 диссертации.

При обработки экспериментальных данных на основе зависимости (4.6.1) и (4.6.2) получили следующее уравнение:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = [1,45 - 0,245\left(\frac{T}{T_1}\right)], \quad (12)$$

Анализ значений  $\rho_1$  и  $\rho_{1*}$  показал, что они являются функциями давления и концентрации нанонаполнителя диоксида титана ( $TiO_2$ ) (n):

$$\rho_1 = \left[0,28\left(\frac{P}{P_1}\right) + 0,9717\right] \cdot \rho_{1*}, \quad (13)$$

$$\rho_{1*} = A + Bn \quad (\text{рисунок 4.6.3}). \quad (14)$$

Из уравнения (12) с учетом выражения (13) и (14) получим:

$$\rho = \left[1,45 - 0,245\left(\frac{T}{T_1}\right)\right] \left[0,28\left(\frac{P}{P_1}\right) + 0,9717\right] \cdot (A + Bn), \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (15)$$

$$\text{где } A = 989 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; B = 27 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \%}.$$

С помощью выражения (15) можно численно определить плотность растворов системы ( $H_2O + TiO_2$ ) при различных температурах и давлениях с погрешностью (0,2-1,3)%. Надо отметить, что для такого численного расчета необходимо знать концентрацию наночастиц (n), в том числе диоксида титана ( $TiO_2$ ), температуру (283-443)К и давление (0,101-49,01)МПа (Таблица 4.6.1 диссертации).

### **Получение уравнения состояния (УС) типа Мамедова–Ахундова для растворов системы ( $H_2O+TiO_2$ ) при различных температурах и давлениях**

Для составления уравнения состояния (УС) типа Мамедова – Ахундова нами впервые использованы экспериментальные данные по плотности исследованных растворов системы ( $H_2O+TiO_2$ ), т.е. вода и наночастицы диоксида титана при высоких параметрах состояния ( $T=(293-433)$ К и давлениях  $P=(0,101-49,01)$ МПа) и концентрации наночастиц (0-3% $TiO_2$ ).



Для расчета плотности исследуемых растворов также нами было использовано уравнение состояния типа Тейта.

Авторы для составления УС растворов, наножидкостей на основе гидразина, фенилгидразина, метилгидразина и др. использовали уравнение типа Тейта, Мамедова, Григорьева, Ахундова и др. Исследователи также успешно использовали уравнение типа Тейта для определения плотности и вязкости жидкостей:

$$\rho = \frac{\rho_0}{A + C \ln \left[ \frac{B + P}{B_0 + P_0} \right]}, \quad (16)$$

где  $\rho_0$  – плотность жидкостей при заданной температуре и давлении;  $A, C, B_0$  и  $B$  – коэффициент уравнения, который определяется на основе экспериментальных данных путем выбора;  $P$ - обычно принимают  $P = 4,9 \text{ МПа}$  или  $9,81 \text{ МПа}$ ,  $P$ - изменяется от  $9,81 \text{ МПа}$  до  $100 \text{ МПа}$ .

Для определения коэффициента динамической вязкости уравнение типа Тейта используется в таком виде:

$$\eta = \eta_0 \left( 1 - c \ln \left[ \frac{B + P}{B_0 + P_0} \right] \right), \quad (17)$$

$\eta_0$  - коэффициент динамической вязкости при заданной температуре и давлении.

Кроме того, для составления УС (уравнение состояния) исследуемых растворов нами использовано следующее выражение  $P=f(\rho)^6$ . На плоскости  $\frac{p}{\rho^2} - \rho^6$  нами построены их графики:

На рисунках 4.7.1 - 4.7.7 диссертации представлены графики зависимостей  $\frac{p}{\rho^2} = f(\rho)^6$  для всех растворов как в чистом виде, так и содержащих от 0 до 3% диоксида титана.

Согласно рисункам 4.7.1-4.7.7 и таблицам 4.7.3-4.7.9 диссертации зависимость  $\frac{p}{\rho^2} = f(\rho)^6$  для всех исследуемых растворов ( $\text{H}_2\text{O} + 3,0 \text{ \%TiO}_2$ ) имеет линейный характер. Для удобства и расчета коэффициентов этих прямых линий нами и другими авторами, в том числе Мамедовым – Ахундовым были осуществлены поиски легких путей получения коэффициентов уравнения прямых линий.

Надо отметить, что в 60-ые и 70-ые годы прошлого века получение и расчет коэффициентов кривых линий было сложным, потому что тогда не было возможным использовать ЭВМ или персональные компьютеры. Коэффициенты уравнений кривых или прямых линий определялись только на микрокалькуляторе МК-61 (до 90-х годов прошлого века). При подготовке кандидатских и докторских работ профессорами Сафаровым М.М. и Маджидовым Х.М. был использован метод наименьших квадратов с помощью специальной программы, подготовленной на МК-61. В худшем случае авторы использовали уравнение прямых линий, проходящих через 2 точки (Аналитическая геометрия).

В настоящее время существует более 100 программ на ЭВМ, микрокалькуляторах, Excel, Matlab и другие, которые можно использовать для расчета коэффициентов кривых, прямых или степенных линий с достаточно малой погрешностью или достоверными данными. Профессор Сафаров М.М. и его ученики для подготовки диссертационных работ как кандидатских, так и докторских (свыше 45 работ) успешно использовали МК-61 и в последние годы используют программы Excel и Matlab и другие.

Нами в настоящей работе, используя значение плотности исследуемых растворов при различных температурах и давлениях и метод Мамедова – Ахундова, получено уравнение состояния (УС) для растворов системы (H<sub>2</sub>O+TiO<sub>2</sub>). Нанообъекты TiO<sub>2</sub> получены из Казанского государственного технологического университета. Эти коллоидные наножидкости были получены к.т.н., доцентом Хубатхузиным А.А. в 2017 году в КГХТУ.

Результаты обработки для получения уравнения состояния для водных растворов, содержащих 1,0% диоксида титана, показаны на рис 11.

Уравнения состояния согласно графикам, приведенным на рис. 11, имеют вид:

$$T=283 \text{ К}; \frac{P}{\rho^2} = 285,4 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 347,1, \quad (18)$$

$$T=293 \text{ К}; \frac{P}{\rho^2} = 250 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 252,5, \quad (19)$$

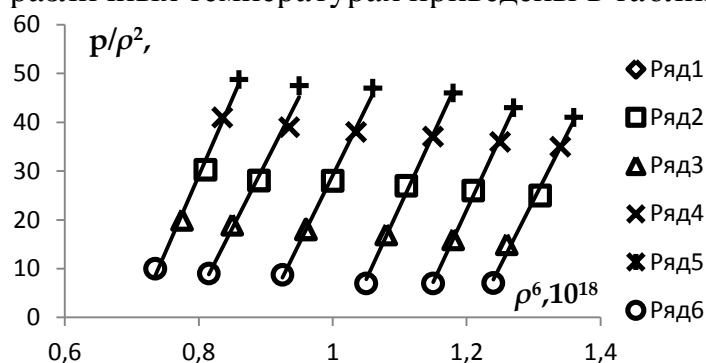
$$T=323 \text{ К}; \frac{P}{\rho^2} = 285,7 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 289,9, \quad (20)$$

$$T=353 \text{ К}; \frac{P}{\rho^2} = 166,7 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 144,9, \quad (21)$$

$$T=393 \text{ К}; \frac{P}{\rho^2} = 222,2 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 169,9, \quad (22)$$

$$T=433 \text{ К}; \frac{P}{\rho^2} = 333,3 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 236,7 \quad (23)$$

Значение коэффициентов уравнения состояния Мамедова-Ахундова при различных температурах приведены в таблице 4.7.1.



**Рисунок 11.** Зависимость  $\frac{P}{\rho^2}$  от  $\rho^6$  для образца (H<sub>2</sub>O + 1,0%TiO<sub>2</sub>) при различных температурах и давлениях: 1-433; 2-393; 3-353; 4-323; 5-293; 6-283 К.

**Таблица 1.** Значение коэффициентов уравнения состояния (УС) Мамедова – Ахундова при различных температурах

T, К	$B \cdot 10^{-18}, \frac{\text{Па} \cdot \text{кг}^4}{\text{м}^3}$	$- A, \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^4}{\text{кг}^2}$
283	285,4	347,1
293	250,0	252,5
323	285,7	289,9
353	166,7	144,9
393	222,2	169,9
433	333,3	236,7

### Применение уравнения типа Тейта для расчета вязкости и плотности электролитов и растворов с эффектами памяти

В данном параграфе приводятся результаты обобщения и получение уравнения состояния типа Тейта для электролитов системы H<sub>2</sub>O + TiO<sub>2</sub> в условиях изменения как температуры, так и давления с общей относительной погрешностью использованного метода с учетом  $\alpha = 0,95, 0,1\%$ . Уравнение состояния электролитов и наножидкостей даст возможность рассчитать calorиметрические и термодинами-

ческие их свойства при относительно разных условиях изменения температуры и давления.

Для составления физико-химических моделей и расчета процессов тепломассообмена необходимы данные по теплофизическим и реологическим свойствам в широком интервале температур и давления. Но так как экспериментальная установка не позволяет провести измерения вязкости в этом диапазоне параметров состояния, мы перед собой поставили задачу использовать уравнение типа Тейта в следующем виде:

$$\eta = \eta_0 \left( 1 - A \ln \left| \frac{B+P}{B_0+P_0} \right| \right), \quad (24)$$

$$\nu = \nu_0 \left( 1 - A \ln \left| \frac{B+P}{B_0+P_0} \right| \right), \quad (25)$$

где  $\eta, \eta_0$  - коэффициент динамической вязкости растворов при изменяемых температурах и давлениях,  $\nu, \nu_0$  - кинематическая вязкость при заданных параметрах состояния  $T, P$  и  $T_0, P_0$ ;  $A$  и  $B$  - соответственно коэффициенты уравнения Тейта.

С другой стороны, выражения (24) и (25) представляют собой уравнения состояния жидкостей. Составление, отвечающее требованиям, уравнений состояния считается одной из главных проблем молекулярной физики. Если для газовых и твердых состояний материала данная проблема частично нашла свое решение, то для жидкостей и в частности для наножидкостей этот вопрос остается открытым. На сегодняшний день не существует универсального уравнения, либо метода, позволяющего составить соответствующее уравнение состояния, отвечающего универсальности и точности для расчетов их ТФС. В связи с этим ученые все чаще прибегают к составлению эмпирических, либо полуэмпирических уравнений, которые пока дают неплохой результат.

С помощью экспериментальных данных по плотности простых эфиров в жидком состоянии при давлении атмосферного воздуха и разных температурах (до температуры кипения,  $T_{кип}$ ) был составлен модифицированный вариант уравнения Тейта в следующем виде:

$$\rho = \frac{\rho_0}{\left\{ 1 - C(T) \ln \left[ \frac{B(T)+P}{B(T)+P_0} \right] \right\}}, \quad (26)$$

$$\text{где } C(T) = \left[ 1,82 - 0,8 \left( \frac{T}{T_1} \right) \right] (1,6\mu^2 - 0,43\mu + 3,14 \cdot 10^{-2}), \quad (27)$$

$$B(T) = \left[ 2,53 - 1,52 \left( \frac{T}{T_1} \right) \right] (5,98 \cdot 10^7 \mu^2 - 1,24 \cdot 10^7 \mu + 1,09 \cdot 10^8), \quad (28)$$

где  $\mu$  - молярная масса.

Полученное уравнение (26) с учетом выражений (27) и (28) хорошо описывает экспериментальные данные по плотности жидких простых эфиров (диэтил-, дибутил-, диамил-, диизопропил-, диалил-, дигексил-, диоктил- и др.) в интервале температур  $T=(290-550)K$  и давлений (4,98-98,1) МПа со средней погрешностью (0,5-3,6) %.

Так, нами было установлено, что коэффициенты в составе предложенного Тейтом уравнения состояния носят переменный характер относительно простых эфиров и имеют температурную зависимость. Изучению уравнения состояния, предложенного Тейтом, посвящено большое количество научных публикаций. Относительно его коэффициентов также возникает немало вопросов.

Надо отметить, что уравнение Тейта как для плотности жидкостей, так и для других веществ (электролитов, наножидкостей и др.) с учетом температурной зависимости при различных давлениях на основе экспериментальных данных, на координаты  $(x, y)$  позволяет график зависимости  $\left( \frac{\Delta P}{\Delta \eta} \right)_T$  от  $(P)$  или  $\left( \frac{\Delta P}{\Delta \rho} \right)_T$  от  $(P)$ , т.е.

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta \eta}\right)_T = f(P), \quad (29)$$

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta \rho}\right)_T = f(P), \quad (30)$$

После чего получаем прямые линии.

Надо отметить, что коэффициенты А и В уравнения прямых линий зависят от температуры.

$$A = f(T) \text{ и } B = f(T), \quad (31)$$

Эти коэффициенты рассчитаны для каждой изотермы при помощи метода наименьших квадратов и путем графоаналитического анализа, затем они с погрешностью 0,15% аппроксимированы номиналами второй степени:

$$A(T) = \sum_{i=0}^2 \alpha_i T^i; \quad B(T) = \sum_{i=0}^2 \beta_i T^i \quad (32)$$

После, рассчитав коэффициенты  $\alpha_i$  и  $\beta_i$ , получаем температурную зависимость А(Т), а В(Т) рассчитывается только для диэтилового эфира, находящегося в состоянии жидкости.

При расчете коэффициентов уравнения прямых линий, которые получены на основе данных по коэффициенту динамической вязкости для растворов системы (Н<sub>2</sub>О+ 2.0% ТiО<sub>2</sub>) в жидком состоянии:

$$C(T) = \sum_{i=0}^2 c_i T^i; \quad D(T) = \sum_{i=0}^2 d_i T^i \quad (33)$$

При использовании уравнения типа Тейта показано, что коэффициенты уравнения непостоянные, они зависят от температуры, давления (для простых эфиров функции молярной массы), а для растворов также зависят от концентрации нанонаполнителей и наночастиц.

В связи с чем для расчета плотности растворов системы (Н<sub>2</sub>О+ ТiО<sub>2</sub>) используются коэффициенты номиналами выражения (32), а для определения коэффициента динамической вязкости используются коэффициенты С(Т) и Д(Т) согласно выражению (33).

***В приложении*** приводится сравнение экспериментальных данных исследуемых веществ, полученных на модернизированных и разработанных установках, с расчетами в широкой области изменения параметров состояния.

## ВЫВОДЫ

На основе обзора и анализа научно - технической и патенто – лицензионной литературы была поставлена цель и сформулированы задачи исследования, по результатам которых были сделаны следующие выводы:

1. ***Собраны*** экспериментальные установки на основе методов гидростатического взвешивания и капиллярного вискозиметра с выносным капилляром, позволяющие проводить измерения плотности и динамической вязкости растворов, как при нормальных условиях, так и при высоких параметрах состояния, погрешность которых после оценочных расчетов составила 1,28 и 3.0% соответственно. [1-А,4-А,5-А,10-А,15-А].

2. ***Установлены*** закономерность изменения плотности и вязкости исследуемых растворов и механизм переноса импульса в этих растворах. А также ***получен ряд*** аппроксимационных зависимостей (программы Matlab и Excele) по плотности и динамической вязкости растворов системы вода и диоксид титана, т.е. показана

корреляция между этими параметрами при различных параметрах состояния [2-А,4-А,5-А,7-А,9-А,10-А,11-А,15-А].

3. **Впервые** для проведения расчета плотности и динамической вязкости исследуемых растворов с эффектами памяти нами использовано уравнение состояния типа Тейта и уравнение состояния Мамедова-Ахундова [2-А,3-А].

4. **Впервые** были использованы значения экспериментальных исследований по плотности образцов для расчета коэффициента изобарического расширения и коэффициента изотермической сжимаемости, а также разность теплоемкостей растворов с добавками нанопорошка с эффектом «памяти» в зависимости от температуры и давления [4-А, 5-А, 10-А, 11-А, 15-А].

5. **Установлено**, что с повышением температуры плотность образцов с различной концентрацией диоксида титана в своем составе уменьшается по линейному закону, а с ростом давления повышается [3-А,5-А,12-А,15-А].

6. **Показано**, что с ростом массовой концентрации наночастиц диоксида титана в составе исследуемых растворов их плотность увеличивается и влияние температуры на изменение их плотности растет, что связано ростом массы исследуемых растворов в их единицу объема и ростом межмолекулярного расстояния [167-А, 174-А, 175-А, 176-А, 182-А, 183-А, 185-А, 186-А, 187-А, 190-А], однако при повышении внешнего давления ее влияние уменьшается в силу уплотнения молекул исследуемых растворов.

7. **Показано**, что плотность растворов с разной концентрацией составного компонента ( $\text{TiO}_2$ ) при температуре  $T=433\text{K}$  и изменении давления от  $9,81\text{МПа}$  до  $49,01\text{МПа}$  увеличивается практически одинаково ( $\approx 3,0\%$ ), что свидетельствует о невыраженном взаимодействии молекул при значительных температурах [3-А,4-А,5-А,6-А,7-А,8-А,9-А,10-А,12-А].

8. **Установлено**, что коэффициент динамической вязкости водных растворов, содержащих различную массовую концентрацию  $\text{TiO}_2$ , с ростом температуры уменьшается по закону параболы, а с повышением давления растет [1-А,2-А,6-А,8-А,9-А,10-А,11-А,12-А].

9. **Установлено**, что увеличение динамической вязкости водных растворов с ростом массовой концентрации наночастиц диоксида титана связано с большим вкладом наночастицы в передачи импульса из одного изотермического слоя к другому в водных растворах, содержащих различное количество  $\text{TiO}_2$  [1-А,2-А,3-А,4-А,5-А,6-А,7-А,8-А,9-А,10-А,11-А,12-А,13-А,14-А,15-А].

10. **Показано**, что с ростом давления влияние температуры на изменение коэффициента динамической вязкости водных растворов, содержащих различную массовую концентрацию наночастиц диоксида титана, уменьшается, что связано с хорошим уплотнением молекулы исследуемых объектов с ростом давления [3-А,4-А,5-А,6-А,7-А,9-А,10-А,11-А,12-А].

11. **Установлено**, что, чем больше будет диапазон изменения температуры, тем больше будет воздействие давления на изменение коэффициента динамической вязкости водных растворов с различным количественным содержанием наночастиц диоксида титана, что непосредственно связано с увеличением межмолекулярного расстояния в них [1-А,2-А,3-А,4-А,5-А,6-А,10-А,11-А];

12. **Показано**, что рост внутреннего давления исследуемых водных растворов, содержащих различное количество  $\text{TiO}_2$ , с повышением температуры связано с большим ростом коэффициента объемного расширения относительно их коэффициента изотермической сжимаемости [2-А,3-А,4-А,5-А,6-А,7-А,8-А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов исследования**

Результаты диссертационной работы являются новыми, базируются на строгих физико-химических утверждениях и экспериментальных исследованиях, которые рекомендуются в качестве расчетного и справочного материала при решении общих задач тепло- и массообмена, а также при разработке принципиально новых и более эффективных технологий создания теплотехнического оборудования. Они могут быть также использованы в образовательном процессе.

Разработанные экспериментальные стенды могут быть использованы для экспресс определения плотности и вязкости технологических материалов в научных лабораториях.

Полученные результаты экспериментальных исследований, эмперических уравнений и уравнения состояния по плотности исследуемых объектов могут использоваться для инженерных расчетов, аспирантами для выполнения диссертационных работ и студентами, магистрами и докторантами при выполнении курсовых и дипломных работ и диссертаций.

**Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:**

#### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**а) Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан:**

- [1-А] **Исмонов, Ф.Д.** Взаимосвязь между динамической и термодинамической характеристиками растворов системы бензола и полистирола при атмосферном давлении,  $T=293\text{K}$ ./А. Неъматов, Ф.Д. Исмонов, Х. Маджидов, Р. Давлатов, А. Раджабов, Д.Ш. Хакимов.// Вестник Таджикского национального университета серия естественных наук.- 2018.-№1.-С. 131-137.
- [2-А] **Исмонов, Ф.Д.** Уравнение состояния Мамедова – Ахундова – Сафарова для электролитов системы  $\text{H}_2\text{O}+\text{TiO}_2$  при различных температурах и давлениях./Ф.Д. Исмонов, Х. Маджидов, М.М. Гуломов, А.А. Хубатхузин, А. Неъматов, С.С. Джумъев. //Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук.- 2020.-№3.-С. 127-135.
- [3-А] **Исмонов, Ф. Д.** Применение уравнения Тейта для расчета вязкости, плотности электролитов и простых эфиров./Ф.Д. Исмонов, М.М. Гуломов, А.А. Хубатхузин, Х. Маджидов // Вестник технологического университета Таджикистана–2019.-№4 (39).-С. 22-27.
- [4-А] **Исмонов, Ф.Д.** Исследование динамической вязкости водных растворов наноматериала диоксида титана  $\text{TiO}_2$  при различных температурах и давлениях. /Ф.Д. Исмонов, Х. Маджидов, М.М. Сафаров, С. Зубайдов. // Политехнический вестник. Душанбе, 2021 №2(54).-С. 8-12.
- [5-А] **Исмонов, Ф.Д.** Исследование плотности водных растворов наночастиц  $\text{TiO}_2$  при различных температурах и давлениях. /Ф.Д. Исмонов, Х. Маджидов, М.М. Сафаров. // Политехнический вестник. Душанбе, 2021 №3(55).-С. 28-33.
- [6-А] **Исмонов, Ф.Д.** Динамическая вязкость плотности водных растворов в зависимости от температуры, давления и массовой концентрации диоксида титана. / Ф.Д. Исмонов // Политехнический вестник. Душанбе, 2022 №2(58).-с. 53-58
- [7-А] **Исмонов, Ф.Д.** Динамическая вязкость плотности водных растворов в зависимости от температуры, давления и массовой концентрации диоксида

титана. / Х. Маджидов, Ф.Д. Исмонов // Научное и периодическое издание «Инженер», ИА КР, 2023 №26, -С. 100-109.

**б) научные статьи, опубликованные в других журналах и изданиях**

- [8-А] **Исмонов, Ф.Д.** Расчет изотермического коэффициента сжимаемости водных растворов диоксида титана./К.Н. Розиков, Х. Маджидов, Т.Р. Тиллоева, А.А. Хубатхузин, Ш.О.Яхьяев //Материалы международной научно-практической конференции ”Электроэнергетика Таджикистана: Актуальные проблемы и пути их решения”, посвященной 80-летию М.Б. Иноятова и 70-летию М.В. Шамсиева, приуроченной ко Дню энергетика. Душанбе-19 декабря 2019, Филиал МЭИ в г. Душанбе. С. 262-266.
- [9-А] **Исмонов, Ф. Д.** Коэффициент изотермический сжимаемости и текучести некоторых органических водных растворов. /М.М. Сафаров, Матлаби Дж., Д.Ш. Раджабова, С.С. Джумъаев, М.М. Гуломов, Ф. Абдужалилзода, Н.Э. Джумаева, Ф.Д. Исмонов, С.С. Рафиев //Мачмӯаи мақолаҳои конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ дар мавзӯи «Заминаҳои рушд ва дурнамои илми химия дар Ҷумҳурии Тоҷикистон», бахшида ба 60-солагии факултети химия ва гиромидошти хотираи д.и.к., профессор, академики АИ ҶТ Нуъмонов И. У. Душанбе, ДМТ, 2020.-С. 47-49.
- [10-А] **Исмонов, Ф.Д.** Влияние диоксида титана на изменение динамической вязкости воды. / Ф.Д. Исмонов, Х. Маджидов, А.А. Хубатхузин //Республиканская научно-практическая конференция (с международным участием) «Теплоэнергетика и теплофизические свойства веществ». Душанбе, ТТУ, 2021.-С. 84-87.
- [11-А] **Исмонов, Ф.Д.** Динамическая вязкость водных растворов диоксида титана  $TiO_2$  в зависимости от температуры и давления. /Х. Маджидов, Ф.Д. Исмонов //Научные труды инженерной академии Республики Таджикистан. Душанбе, Инженерная академия Республики Таджикистан, 2021.-С. 99-104.
- [12-А] **Исмонов, Ф.Д.** Динамическая вязкость водных растворов диоксида титана. / Х. Маджидов, Ф.Д. Исмонов // Материалы симпозиума физиков Таджикистана, посвященного 85-летию академика Р. Марупова. Душанбе, Физико-технический институт им С.У. Умарова, 2021.-С. 81-84.
- [13-А] **Исмонов, Ф.Д.** Исследование плотности водных растворов диоксида титана. / Х. Маджидов, Ф.Д. Исмонов // Материалы симпозиума физиков Таджикистана, посвященного 85-летию академика Р. Марупова. Душанбе, Физико-технический институт им С.У. Умарова, 2021.-С. 84-87.
- [14-А] **Исмонов, Ф.Д.** Интерпретация экспериментальных данных по динамической вязкости водных растворов диоксида титана  $TiO_2$  в зависимости от температуры и давления. / Х. Маджидов, Ф.Д. Исмонов // Маводи конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Проблемаҳои муосири илмҳои табиатшиносию риёзӣ ва методикаи таълими онҳо дар муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ» бахшида ба 20 солаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040). Душанбе, 2021.-С. 443-448.
- [15-А] **Исмонов, Ф.Д.** Интерпретация и обобщение экспериментальных данных по плотности водных растворов диоксида титана  $TiO_2$  в зависимости от температуры и давления. / Х. Маджидов, Ф.Д. Исмонов // Маводи конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Проблемаҳои муосири илмҳои табиатшиносию риёзӣ ва методикаи таълими онҳо дар муассисаҳои

таҳсилоти олии касбӣ» бахшида ба 20 солаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040). Душанбе, 2021.-С. 448-454.

[16-А] **Исмонов, Ф.Д.** Обобщение экспериментальных данных по плотности водных растворов диоксида титана в зависимости от температуры и давления. / Ф.Д. Исмонов // Материалы 13 МТФШ, Душанбе, Тамбов, 2022.-С. 136-140.

[17-А] **Исмонов, Ф.Д.** Интерпретация экспериментальных данных по динамической вязкости водных растворов диоксида титана  $TiO_2$  в зависимости от температуры и давления. / Х. Маджидов, Ф. Исмонов, З. Давлатов // Материалы республиканской научно - практической конференции на тему «Математические труды таджикско – персидских предков Умара Хайёма», Душанбе, Международный университет туризма и предпринимательства Таджикистана -с. 80-85.



**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН**  
Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни

Ба ҳуқуқи дастнавис  
РУД 536.12.(575.3)

**ИСМОНОВ Фирӯз Довудович**

**ТАЪСИРИ НАНОЗАРРАҲОИ ДИОКСИДИ ТИТАН БА  
ТАҒЙИРЁБИИ ЗИЧӢ ВА ЧАСПАКИИ ОБ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И**

рисола барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникаи аз рӯи ихтисоси  
01.04.14 – Физикаи ҳарорат ва назарияи техникаи гармо

Душанбе – 2023

**Рисола дар озмоишгоҳи «Физикаи гармӣ ва физикаи молекулавӣ»-и кафедраи физикаи умумии Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айнӣ иҷро карда шудааст.**

**Роҳбари илмӣ:**

**Мачидов Ҳамид**, Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори илмҳои техникӣ, профессор

**Муқарризони расмӣ:**

**Мингалеева Гузел Рашидовна**, доктори илмҳои техникӣ, дотсенти Донишгоҳи энергетикаи Қазон, (ш. Қазон)

**Умаров Анварҷон Нуралиевич** номзади илмҳои техникӣ, и.в. дотсенти Донишгоҳи давлатии Данғара (ш. Данғара)

**Муассисаи пешбар:**

**Донишгоҳи технологии Тоҷикистон** (ш. Душанбе)

Ҳимояи диссертатсия « 15 » январ соли 2024 соати 11<sup>00</sup> дар чаласаи Шӯрои диссертатсионии 6Д.ҚОА-041 назди ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, суроғай 734042, шаҳри Душанбе, хиёб.акад.Рачабовҳо 10а баргузор мегардад.

Бо диссертатсия дар китобхонаи ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ ва дар сомонаи [www.imoge.tj](http://www.imoge.tj) шинос шудан мумкин аст.

**Автореферат « \_\_\_\_\_ » декабри соли 2023 ирсол шуд.**

**Котиби илмии шӯрои диссертатсионии 6Д.ҚОА-041, номзади илмҳои техникӣ, дотсент:**

**Тағоев С.А.**

## ТАВСИФОТИ УМУМИИ РИСОЛА

**Мубрамияти мавзӯ.** Мубрамияти мавзӯ дар он ифода меёбад, ки маҳлулҳои обии нанозарраҳо, аз он ҷумла диоксиди титан ҷузъи сӯзишвории ракетаи ба шумор меравад. Тадқиқи хосиятҳои гармифизикӣ ва реологии об, ҳам дар ҳолати тозагӣ ва ҳам дар ҳолати дар таркибаш доштани миқдори гуногуни нанозарраҳои диоксиди титан имконият медиҳад, ки истифодаи ратсионалии онҳоро ба сифати ҷисми корӣ ва ҳамчун сӯзишвории ракетаи муайян намоем. Барои тартиб додани муодилаи ҳолат ва ҷадвали пурраи хосиятҳои маҳлулҳои тадқиқшавандаи системаи (об+TiO<sub>2</sub>), барои концентрат-сияҳои гуногуни TiO<sub>2</sub> қиматҳои зичӣ ва ҷаспакии онҳо зарур мебошанд. Рисолаи мазкур ба муайян кардани зичӣ ва ҷаспакии системаи тадқиқотӣ дар фишор, ҳарорат ва концентратсияи гуногуни TiO<sub>2</sub> бахшида шудааст.

**Мақсади тадқиқот:** тадқиқ намудани таъсири нанозарраҳои TiO<sub>2</sub> ба тағйироти зичӣ ва ҷаспакии об вобаста ба ҳарорат, фишор ва концентратсияи массавии нанозарраҳои TiO<sub>2</sub>.

Барои ноил гардидан ба мақсади гузошташуда **вазифаҳои зерин** гузошта шудаанд:

1. Модернизатсияи стендҳои эксперименталӣ барои ҷенкунии зичӣ ва ҷаспакии наномоеъҳо, ки ба методҳои баркашқунии гидростатикӣ ва вискозиметрҳои капиллярӣ бо капилляри бароранда асос карда шудаанд.

2. Ба даст овардани қиматҳои эксперименталӣ доир ба зичӣ ва коэффитсиенти ҷаспакии динамикии моддаҳои тадқиқотӣ вобаста ба ҳарорат ва фишор.

3. Муқаррар намудани вобастагии зичӣ ва ҷаспакии динамикии системаи об+нанозарраҳои TiO<sub>2</sub> (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%) дар ҳароратҳои (283-433)К ва фишорҳои (0,101-49,01)МПа.

4. Ҳосил намудани вобастагии аппроксиматсионие, ки вобастагии зичӣ ва ҷаспакии динамикии объектҳои тадқиқотиро бо ҳарорат, фишор, концентратсияи TiO<sub>2</sub> ва сохту таркиби маҳлулҳо муқаррар менамояд.

5. Ҳисобқунии тавсифҳои термодинамикӣ, калориметрӣ ва изотермикии системаи об+нанозарраҳои TiO<sub>2</sub>.

### **Навгониҳои илмӣ тадқиқот:**

1. Дар дастгоҳҳои сохта ва модернизатсия кардашуда аввалин бор қиматҳои таҷрибавии зичӣ ва ҷаспакии динамикии системаи наномоеъҳо (об+нанозарраҳои TiO<sub>2</sub> (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) дар ҳудуди ҳароратҳои (283-433)К ва фишорҳои (0,101-49,01)МПа ба даст оварда шудаанд.

2. Дар асоси қиматҳои таҷрибавии зичӣ ва ҷаспакии динамикии моддаҳои тадқиқотӣ аввалин бор баҳоидиҳои тавсифҳои термодинамикӣ, калориметрӣ ва изотермикии наномоеъҳои системаи (об+нанозарраҳои TiO<sub>2</sub> (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) гузаронида шудааст.

3. Интерпретатсияи қиматҳои таҷрибавии зичӣ ва ҷаспакии динамикии системаи (об+нанозарраҳои TiO<sub>2</sub>) вобаста ба ҳарорат, фишор ва концентратсияи массавии TiO<sub>2</sub>.

4. Аввалин бор барои ҳисобқунии қиматҳои зичӣ ва ҷаспакии динамикии наномоеъҳои системаи (об+ нанозарраҳои TiO<sub>2</sub> (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) вобаста ба ҳарорат ва фишор муодилаи Тейт истифода бурда шудааст.

5. Вобастагиҳои аппроксиматсионие, ки зичӣ ва ҷаспакии динамикии наномоеъҳоро (об+ нанозарраҳои TiO<sub>2</sub> (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) вобаста ба

харорат, фишор ва консентратсияи массавии  $TiO_2$  муқаррар мекунад, ҳосил карда шудаанд.

***Ба ҳимоя пешниҳод мешаванд:***

1. Стендҳои эксперименталии модернизатсия кардашуда, барои тадқиқи зичӣ ва часпакии динамикии наномоеъҳо дар ҳарорат ва фишорҳои баланд.

2. Қиматҳои таҷрибавии зичӣ ва часпакии динамикии моддаҳои тадқиқотӣ барои  $T=(283-4330K, P=(0,101-49,01)MPa$  ва консентратсияи массавии нанозарраҳои  $TiO_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%).

3. Интерпретатсияи қиматҳои таҷрибавии зичӣ ва часпакии динамикии системаи (об+нанозарраҳои  $TiO_2$ ) вобаста ба ҳарорат, фишор ва консентратсияи массавии нанозарраҳои  $TiO_2$ .

4. Қиматҳои ҳисобии ҳосиятҳои калориметрӣ ва изотермикии наномоеъҳои системаи (об+нанозарраҳои  $TiO_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) вобаста ба ҳарорат ва фишор.

5. Вобастагиҳои аппроксиматсионӣ ва муодилаҳои ҳолат барои ҳисоби зичӣ ва часпакии динамикии маҳлулҳои тадқиқшаванда дар ҳудуди васеи ҳарорат (283-433)K ва фишор (0,101-49,01)MPa.

6. Методи ҳисобкунии ҳосиятҳои калориметрӣ ва изотермикии наномоеъҳо ва механизми интиқоли импульс дар наномоеъҳои тадқиқотӣ.

***Аҳамияти амалии тадқиқот:***

1. Натиҷаҳои кори диссертатсионӣ нав ба шумор мераванд, ба тасдиқоти физико-химиявӣ дақиқ ва қиматҳои эксперименталие, ки ба сифати маводи ҳисобӣ ва маълумотномавӣ ҳангоми ҳалли масъалаҳои умумии гармӣ- ва массаивазкунӣ, инчунин ҳангоми коркарди технологияи асосан нав ва хеле самарабахш барои таъсиси таҷҳизотҳои гармитехникӣ таъя мекунад, тавсия дода мешаванд.

2. Бонки қиматҳои тавсифҳои гармифизикӣ ва термодинамикии системаи (об+нанозарраҳои  $TiO_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) вобаста ба ҳарорат ва фишор пурра ва васеъ гардонида шуд.

3. Стендҳои таҷрибавии коркардшударо барои ба зудӣ муайян кардани зичӣ ва часпакии динамикии маводҳои технологӣ дар лабораторияҳои илмӣ истифода бурдан мумкин аст.

***Татбиқи натиҷаҳои тадқиқот:***

- натиҷаҳои тадқиқоти эксперименталии бадастовардашуда, муодилаҳои эмпирикӣ ва муодилаҳои ҳолат доир ба зичӣ ва ҳосиятҳои термодинамикии об ва  $TiO_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%) вобаста ба ҳарорат, фишор ва консентратсияи массавии  $TiO_2$  барои ҳисобкунии муҳандисӣ ва равандҳои технологӣ ва натиҷаҳои таҷрибавӣ бошад ба сифати бузургҳои маълумотӣ дар Институти саноати Вазорати саноат ва технологияи навини истифода гардидааст;

- аз муодилаҳои эмпирикӣ ва муодилаҳои ҳолати ҳосил карда шуда барои ҳисобкунии муҳандисӣ, аз ҷониби аспирантон барои иҷрои кори диссертатсионӣ ва аз ҷониби бакалаврҳо, магистрҳо ва докторантҳо барои иҷроиши корҳои курсию дипломӣ ва диссертатсияҳо истифода бурдан мумкин аст.

Кори диссертатсионӣ аз рӯи нақшаи координатсионии корҳои илмӣ-тадқиқотӣ дар соҳаи илмҳои табиатшиносӣ ва ҷамъиятшиносии АМИТ дар солҳои 2015-2020 доир ба мавзӯи «Ҳосиятҳои гармифизикии моддаҳо» (бо рақами бақайдгирии давлатӣ №81081175 ва №01.86.0103274) доир ба проблемаи 1.9.7 – физикаи гармӣ иҷро карда шудааст.

### ***Этимоднокии натиҷаҳои тадқиқот:***

- натиҷаҳои тадқиқот бо ёрии таҷҳизоти лаборатории сертификатсия карда шуда бо ҷалби методи замонавии таҳлили физикӣ-химиявӣ ба даст оварда шудааст;
- ғояи пешниҳод карда шуда ба таҳлили амалӣ ва ҷамъбасти тадқиқоти гузаронидашудаи муаллиф ва дигар тадқиқотчиён асос карда шудааст;
- муқоисаи қиматҳои муаллифӣ бо қиматҳои ба дастовардаи дигар тадқиқотчиён аз рӯи мавзӯи додашуда истифода гардидааст;
- мутобиқати комили натиҷаҳои назариявӣ бо қиматҳои васеи таҷрибавие, ки дар адабиёти гуногун дарҷ гардида муқаррар карда шудааст;
- барои ҷамъбаст ва коркарди қиматҳои таҷрибавӣ аз методикаи муосир бо ҷалби барномаи компютерӣ истифода бурда шудааст.

***Саҳми шахсии муаллиф*** аз интихоби методҳо ва коркарди алгоритми масъалаи гузошташуда ҳангоми гузаронидани тадқиқот, муқаррар намудани қонуниятҳои асосие, ки дар протсессҳои гармифизикӣ ва термодинамикӣ ҳангоми ҳосил намудани маҳлулоҳо гузаранда, ба даст овардани қиматҳо доир ба хосиятҳои гармифизикӣ (зичӣ ва часпакии динамикӣ), калориметрӣ ва изотермӣ, коркард ва таҳлили натиҷаҳои бадаст оварда шуда, баровардани хулосаҳои асосии қори диссертатсионӣ иборат мебошад. Ҳамаи натиҷаҳои қори диссертатсиониро муаллиф таҳти роҳбарии роҳбари илмӣ бадаст овардааст.

### ***Баррасии натиҷаҳои кор***

Натиҷаҳои асосии қори диссертатсионӣ дар конференсияҳои зерин маъруза карда шудаанд:

1. Конференсияи илмӣ-методии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Проблемаҳои истифодаи технологияи инноватсионӣ дар таълими фанҳои табиӣ-риёзӣ». ДДОТ, Душанбе, (2018);
2. Конференсияи илмӣ-методии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Проблемаҳои асосии истифодаи технологияи инноватсионӣ» бахшида ба татбиқи муносибати босалоҳият дар таълими фанҳои табиӣ ва технологияи информатсионӣ. ДДОТ, Душанбе, (2018);
3. Конференсияи илмӣ-методии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Мушкилоти муосири рушди илмҳои табиӣ-риёзӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон». ДДОТ, Душанбе, (2019);
4. Конференсияи илмию амалии байналмиллалӣ дар мавзӯи «Дурнамои рушди илм ва маориф», Душанбе, (2019);
5. Конференсияи илмию амалии байналмиллалӣ дар мавзӯи «Энергетикаи Тоҷикистон: проблемаҳои актуалӣ ва роҳҳои ҳалли он» бахшида ба 80-солагии профессори кафедраи электроэнергетикаи филиали Душанбегии Институти энергетикаи Москва дар шаҳри Душанбе Иноятова М.Б. ва 70-солагии Шамсиева М.В. ва «Рӯзи энергетика». МЭИ, Душанбе, (2019).
6. Республиканской научно-практической конференции «Фундаментальная наука-основа совершенствования технологий и материалов». Национальная академия наук Таджикистана, Душанбе, (2021).
7. Конференсияи ҷумҳуриявии илмию амалӣ дар мавзӯи «Энергетикаи гармо ва хосиятҳои гармофизикии моддаҳо». Душанбе, ДТТ, (2021).
8. Симпозиуми физикони Тоҷикистон бахшида ба 85-солагии академик Р.Марупов. Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умаров. Душанбе, (2021).

***Мувофиқати рисола ба шиносномаи ихтисос.*** Дар мавзӯи, усулҳои тадқиқотӣ аз тарафи муқаррароти илмӣ пешниҳодшудаи рисолаба шиносномаи ихтисоси қорамандони илмии 01.04.14-“Физикаи ҳароратӣ ва назарияи техникаи гармо”

мувофиқ мебошад, дар қисми банди 5 “Тадқиқи таҷрибавӣ ва назариявии конвексияи якфаза, озод ва маҷбурӣ дар ҳудудҳои васеи гармибарандаҳо, параметрҳои речавӣ ва геометрии самтҳои гармиинтиқолдиҳандаҳо”, дар пункти 7 “Тадқиқи таҷрибавӣ ва назариявии равандҳои интиқоли якҷояи гармӣ ва масса дар маҳлулҳои бинарӣ ва бисёркомпонента бо иловаи нанозаррачаҳои титан, аз ҷумла наномоеъҳои аз ҷиҳати химиявӣ таъсиркунанда” дар қисми банди 9 “Таҳияи асосии илмӣ ва усулҳои ташаккулёбии равандҳои гармӣ ва массаивазкунӣ”.

**Интишорот.** Доир ба натиҷаҳои тадқиқот 17 мақола ба нашр расидааст, аз ҷумла 7 мақола дар маҷаллаҳои тақризшавандаи феҳрасти тавсиянамудаи ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷоп шудааст ва 10-тои боқимондашро мақолаҳои дар дигар нашрияҳо ва маводи конференсияҳои илмии сатҳашон гуногун нашршуда ташкил менамоянд.

**Ҳаҷм ва сохтори диссертатсия.** Тадқиқоти диссертатсионӣ аз муқаддима, ҷаҳор боб, хулосаҳо, 190 номгӯи адабиёт иборат буда, дорои 45 расм, 41 ҷадвал мебошад. Диссертатсия дар 172 саҳифаи ҷопи компютерӣ навишта шудааст.

## МҶҲҶАВОИ АСОСИИ РИСОЛА

**Дар муқаддима** мубрамияти мавзӯи рисола асоснок, мақсад ва вазифаҳои тадқиқот муайян, навгонии илмӣ ва нуктаҳои ҷимояшавандаи диссертатсия баён карда шудаанд. Инчунин дар муқаддима дараҷаи азхудшудаи масъалаҳои илмӣ ва заминаҳои назариявӣ методологии тадқиқот, ҳадаф, объект, мавзӯ, марҳилаҳои тадқиқот, саҳми шахсии довталаб, аҳамияти амалию назариявии тадқиқот, эътимоднокии натиҷаҳои диссертатсия, масъалаҳо ва усулҳои тадқиқот инъикос гардидаанд.

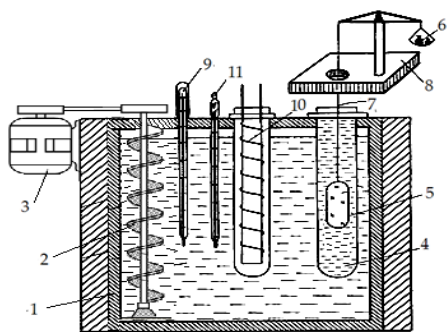
**Дар боби якуми** рисола адабиёт доир ба проблемаҳои мавзӯи диссертатсия таҳлил гардидаанд. Дар асоси таҳлили адабиёти илмӣ-техникӣ ва патентнолуитсензионӣ мақсад ва вазифаи тадқиқот муайян карда шудааст.

**Дар боби дуюм** тавсифот ва схемаи дастгоҳҳои таҷрибавӣ дар қор барои ҷенкардани зичӣ ва ҷаспакии наномоеъҳо ҳангоми тағйирёбии ҳарорат ва фишор истифодабурда шуда; мувофиқан усулҳои гузаронидани ҷенкунӣ; усулҳои ҳисобнамудани ҳатогихо, ки дар рафти таҷрибагузарони роҳ дода шуда оварда шудааст.

### Дастгоҳи эксперименталӣ ва методикаи ҷенкунии зичӣ ва ҷаспакии наномоеъҳо

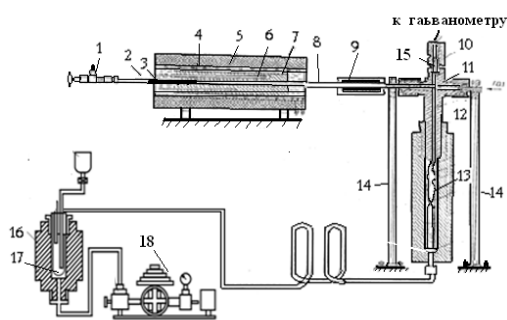
Зичии маҳлулҳои наномоеъҳо дар дастгоҳи эксперименталии ба методи баркашқунии гидростатикӣ, ки аз ҷониби профессорон Гусейнов К.Д. ва Голубев И.Ф. дар якҷоягӣ коркард гардидааст, тадқиқ карда шудааст.

Дар расми 1 нақшаи дастгоҳи таҷрибавӣ барои ҷен намудани зичии моеъҳо дар фишори атмосферӣ вобаста ба ҳарорат нишон дода шудааст.



**Расми 1.** Нақшаи дастгоҳи таҷрибавӣ барои ҷенкунии зичии моеъҳо дар фишори атмосферӣ вобаста ба ҳарорат: 1-термостат; 2-омехтақунанда; 3-электроҳара-катдиҳанда; 4-камера бо моддаи тадқиқотӣ аз маводи аз ҷиҳати химиявӣ нейтрал (НС-2); 5-шиноқунак аз моддаи аз ҷиҳати химиявӣ нейтрал (НС-2); 6-сангҳои ба мувозинат оваранда; 7-ноқили манганинӣ; 8-тарозуи аналитикӣ; 9-термометри симобӣ; 10-гармқунак; 11-термометри контактӣ.

Дар расми 2 нақшаи қисми вискозиметрии дастгоҳи таҷрибавӣ барои чен кардани часпакии динамикии системаи (об+нанозарраҳои  $TiO_2$ ) вобаста ба ҳарорат ва фишор нишон дода шудааст.



**Расми 2.** Нақшаи қисми вискозиметрии дастгоҳи таҷрибавӣ барои муайян кардани часпакии моеъҳо ва маҳлулҳо дар фишор ва ҳароратҳои баланд: 1-блоки цилиндрии мисӣ; 2-термометр; 3-термопараҳо; 4-зичкунандаи конусӣ; 5-штутсери поёнӣ; 6-патрони зичкунанда; 7-лӯлаҳои пайваस्तкунанда; 8,12-гайкаи зеркунанда; 9-конуси зичкунанда; 10-ноқилгузаронандаи фишори баланд; 11-чорчиллик; 13-вискозиметри шишагӣ; 14-поя; 15-чангак; 16-зарфи фишордиханда; 17-халтачаи полиэтиленӣ; 18-манометри поршени бордори намуди МП-2500.

*Дар боби сеюм* оварда шудаанд: натиҷаҳои ченкунии зичӣ, часпакӣ ва хосиятҳои калорикии об ва  $TiO_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%) вобаста ба ҳароратҳои (283–433) К, фишорҳои (0,101–49,01) МПа ва  $TiO_2$ , ва муодилаҳои эмпирикии натиҷавӣ оварда шудааст.

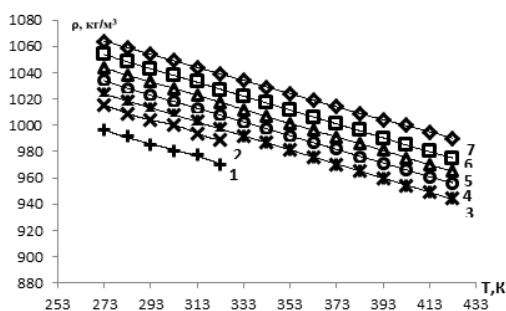
### Қиматҳои таҷрибавии зичии наномоеъҳо дар фишор ва ҳароратҳои гуногун

Барои бо роҳи таҷрибавӣ муайян кардани зичии маҳлулҳои системаи об+нанозарраҳои  $TiO_2$  методи баркашқунии гидростатикӣ истифода бурда шуд. Хатҳои нисбии умумии ченкунии зичии маҳлулҳои тадқиқотӣ барои эҳтимолияти эътимодомез  $\alpha = 0,95\%$  ба 0,1% баробар мебошад.

Қиматҳои таҷрибавии зичии маҳлулҳои системаи об+нанозарраҳои  $TiO_2$  дар расмҳои 3.1-3.7 ва ҷадвалҳои 3.1-3.7-и диссертатсия оварда ва нишон дода шудаанд.

Дар расми 3 қиматҳои таҷрибавии бадастоварда ҳам барои оби тоза ва ҳам бо иловаи 0,5%  $TiO_2$  барои параметрҳои баланди ҳолат инъикос гардидааст.

Мувофиқи ҷадвали 3.1-3.7 ва расмҳои 3.1-3.7-и диссертатсия бо афзоиши ҳарорат зичии объектҳои тадқиқотӣ аз рӯи қонуни хаттӣ кам мешавад ва бо афзоиши фишор зиёд мегардад. Бо афзоиши консентратсияи массавии диоксидаи титан  $TiO_2$  дар таркиби маҳлулҳо зичии онҳо меафзояд. Бо афзоиши ҳарорат вобастагии зичии маҳлулҳои тадқиқотӣ аз консентратсияи массавии  $TiO_2$  ба тавсифи хаттӣ соҳиб мегардад. Бо афзоиши ҳарорат ҳангоми васеъшавии маҳлулҳо ҳаҷми онҳо меафзояд ва ин ба камшавии зичии маҳлулҳо оварда мерасонад. Бо афзоиши фишор дар таҷриба масофаи байни молекулаҳои маҳлулҳои тадқиқотӣ ва ҳаҷми онҳо хурд мегардад ва ин боиси афзоиши зичии онҳо мегардад.



**Расми 3.** Зичии маҳлулҳои оби диоксидаи титан ( $H_2O + 0,5\% TiO_2$ ) дар фишору ҳароратҳои баланд: 1- $H_2O$  (0,101 МПа), 2-0,101МПа, 3-9,81МПа, 4-19,61МПа, 5-29,42МПа, 6-39,24МПа, 7-49,01МПа.

Қайд кардан лозим аст, ки бо афзоиши концентратсияи массавии диоксиди титан дар таркиби маҳлулҳои тадқиқотӣ зичии онҳо ва таъсири ҳарорат ба тағйирёбии зичии онҳо меафзояд. Масалан, ҳангоми афзоиши ҳарорат аз 283 К то 333К зичии об 1,43% кам мегардад ва ин тағйирот барои маҳлулҳои  $\text{H}_2\text{O} + 0,5\% \text{TiO}_2$  ва  $\text{H}_2\text{O} + 2,0\% \text{TiO}_2$  мувофиқан 2,34% ва 3,64%-ро ташкил менамояд.

Афзоиши концентратсияи массавии пуркунанда (диоксиди титан  $\text{TiO}_2$ ) ба афзоиши массаи маҳлули тадқиқшаванда дар воҳиди ҳаҷми он оварда мерасонад ва ин боиси афзоиши зичӣ мегардад. Афзоиши зичии маҳлулҳо бо баланд гардидани фишор ба камшавии масофаи байнимолекулавӣ алоқаманд мебошад.

Тадқиқот нишон дод, ки бо афзоиши фишор таъсири ҳарорат ба тағйирёбии зичии маҳлулҳои тадқиқотӣ кам мегардад. Масалан, ҳангоми тағйирёбии ҳарорат аз 283К то 333К дар фишори 0,101МПа зичии маҳлули 0,5%  $\text{TiO}_2$  дошта 2,34% кам мегардад ва ин камшавӣ дар фишорҳои 19,61МПа ва 49,01МПа мувофиқан 2,02% ва 1,8%-ро ташкил менамояд.

Афзоиши фишор ба баҳамназдикшавии хуби молекулаҳои маҳлулҳои тадқиқотӣ оварда мерасонад. Баҳамназдикшавии молекулаҳои маҳлулҳо тағйирёбии зичии онҳоро бо афзоиши ҳарорат кам менамояд.

Қайд кардан лозим аст, ки бо афзоиши концентратсияи массавии диоксиди титан ( $\text{TiO}_2$ ) дар таркиби маҳлулҳои обӣ, таъсири ҳарорат ба тағйирёбии зичии маҳлулҳо дар фишорҳои гуногун меафзояд. Масалан, дар фишори 49,01МПа ҳангоми афзоиши ҳарорат аз 283К то 333К зичии маҳлули дар таркибаш 0,5%  $\text{TiO}_2$  дошта 1,8% кам мегардад ва барои маҳлулҳои 1,0%  $\text{TiO}_2$  ва 2,0%  $\text{TiO}_2$  дошта ин камшавӣ мувофиқан 2,44% ва 3,35%-ро ташкил менамояд.

Бо афзоиши концентратсияи массавии  $\text{TiO}_2$  дар таркиби об таъсири мутақобили байнимолекулавӣ суст мегардад. Дар натиҷаи баландшавии ҳарорат, молекулаҳои об аз якдигар дур мешаванд ва масофаи байни онҳо меафзояд, дар натиҷа ҳаҷми маҳлул зиёд мегардад ва ин сабаби афзоиши таъсири ҳарорат ба камшавии зичии маҳлул мегардад.

Муқаррар карда шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат таъсири фишор ба тағйироти зичии маҳлулҳои дар таркибашон концентратсияи массавии гуногуни диоксиди титан  $\text{TiO}_2$  дошта меафзояд. Масалан, дар ҳарорати 283К афзоиши фишор аз 0,101МПа то 49,01МПа зичии маҳлули 0,5%  $\text{TiO}_2$  доштаро 3,22% зиёд мегардонад ва дар ҳарорати 333К ин афзоиш 3,8%-ро ташкил менамояд. Барои маҳлули 1,5%  $\text{TiO}_2$  дошта ин тағйирот баробар аст: дар ҳарорати  $T=283\text{К}$  – 3,11% ва барои ҳарорати  $T=333\text{К}$  – 3,91%.

Бо афзоиши ҳарорат масофаи байни молекулаҳои маҳлул зиёд мегардад ва чӣ қадаре, ки ҳарорат баланд бошад, масофаи байни молекулаҳо дар маҳлул ҳамон қадар зиёд мегардад. Бо таъсири фишори берунӣ дар ҳароратҳои баланд молекулаҳо ба ҳамдигар зиёдтар ба якдигар наздик мегарданд ва ин ба камшавии ҳаҷми маҳлул оварда мерасонад, ки боиси афзоиши зичӣ мегардад. Бинобар он, бо афзоиши ҳарорат таъсири фишор ба тағйирёбии зичии маҳлулҳо зиёд мегардад.

Қайд кардан лозим аст, ки дар ҳарорати  $T=433\text{К}$  ҳангоми тағйирёбии фишор аз 9,81МПа то 49,01МПа зичии маҳлулҳои концентратсияи массавии гуногуни  $\text{TiO}_2$  дошта қариб якхела зиёд мегарданд ва тақрибан 3%-ро ташкил менамояд. Ин аз он шаҳодат медиҳад, ки дар ҳароратҳои баланд таъсири мутақобили молекулаҳои маҳлулҳои дар таркибашон концентратсияҳои массавии гуногуни  $\text{TiO}_2$  дошта на он қадар зиёд фарқ мекунанд.



Бо афзоиши худуди ҳарорат камшавии зичии маҳлулҳои обии дар таркибашон  $\text{TiO}_2$  дошта зиёд мегардад. Масалан, тағйирёбии ҳарорат аз 283К то 333К дар фишори 19,61МПа зичии маҳлули 0,5%  $\text{TiO}_2$  доштаро 2,02% кам менамояд ва ин тағйирёбӣ дар фишори 19,61МПа ҳангоми афзоиши ҳарорат аз 283К то 433К 8,19%-ро ташкил менамояд, бари фишори 49,01МПа – 7,57%. Ин ба афзоиши масофаи байни молекулаҳои маҳлулҳои обӣ бо афзоиши худуди ҳарорат алоқаманд мебошад.

#### Қиматҳои таҷрибавии коэффитсиенти часпакии динамикии наномоеъҳо дар ҳарорату фишорҳои гуногун

Барои чен кардани часпакии динамикии маҳлулҳои коллоидии системаи ( $\text{H}_2\text{O}+\text{TiO}_2$ ) дар ҳарорату фишорҳои гуногун аз дастгоҳи таҷрибавии коркард кардаи профессор Голубев И.Ф. ва модернизатсия кардаи профенссор Назиев Я.М. ва шогирдонаш истифода бурдем.

Натиҷаҳои ба дастовардашуда доир ба часпакии динамикии объектҳои тадқиқотӣ дар ҷадвалҳои 3.10-3.15-и диссертатсия ва расми 3 оварда шудаанд.

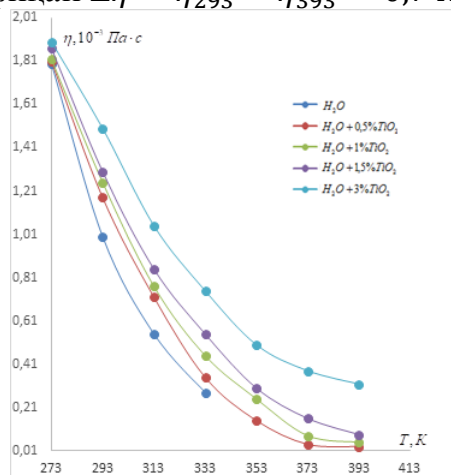
Мувофиқи ҷадвалҳои 3.10-3.15 ва расми 3 коэффитсиенти часпакии динамикии ( $\eta, 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ) маҳлулҳои консентратсияи массавии гуногуни  $\text{TiO}_2$  дошта бо афзоиши ҳарорат аз рӯи қонуни гипербола кам мешаванд.

Бо афзоиши консентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои обӣ ва оби тоза зиёд мегардад.

Дар расмҳои 5 ва 6 вобастагии коэффитсиенти часпакии динамикӣ аз консентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан дар ҳароратҳои гуногун ва фишорҳои 29,34МПа ва 49,01МПа нишон дода шудаанд.

Аз расмҳои 5 ва 6 дида мешаванд, ки бо афзоиши консентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳо зиёд мегардад.

Дар ҳарорати паст ( $T_1=293\text{К}$ ) бо афзоиши консентратсияи массавии  $\text{TiO}_2$  коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои обӣ ғайрихаттӣ зиёд мегардад ва бо афзоиши ҳарорат ( $T_2=393\text{К}$ ) зиёдшавии коэффитсиенти часпакии динамикӣ онҳо бо афзоиши консентратсияи  $\text{TiO}_2$  аз рӯи қонуни хаттӣ ба амал меояд. Қайд кардан лозим аст, ки дар ҳароратҳои гуногун дар байни изобараҳо фарқи коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои обии консентратсияҳои массавии гуногуни  $\text{TiO}_2$  дошта қариб якхела мебошад. Дар расмҳои 5 ва 6 дар изобараҳои 29,34МПа ва 49,01МПа фарқи коэффитсиенти часпакии динамикӣ дар байни изотермаҳои  $T_1=293\text{К}$  ва  $T_2=393\text{К}$  барои консентратсияи массавии 0,5%  $\text{TiO}_2$  ва 3,0%  $\text{TiO}_2$  мувофиқан  $\Delta\eta = \eta_{293} - \eta_{393} = 0,742 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  ва  $\Delta\eta = 0,951 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  мебошад.

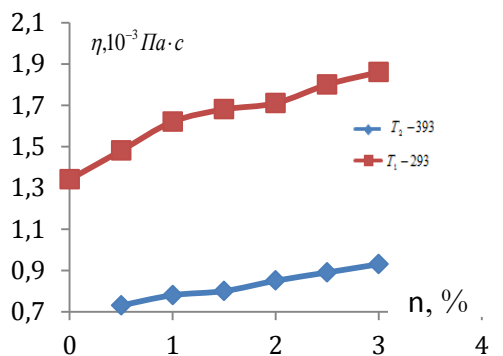


**Расми 4.** Таъсири ҳарорат ва консентратсияи массавии нанозарраҳо ( $\text{TiO}_2$ ) ба тағйирёбии коэффитсиенти часпакии динамикии об

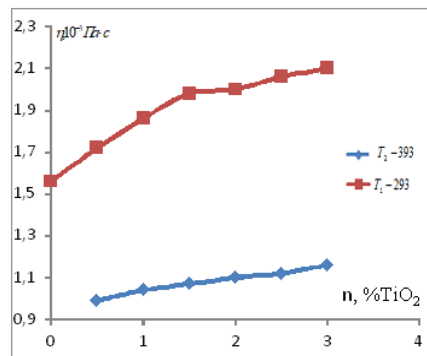
Ҳамин тариқ, бо афзоиши консентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан дар маҳлулҳои обӣ, дар изобараҳо фарқи коэффитсиенти часпакии динамикӣ меафзояд.

Бо афзоиши ҳарорат масофаи байни молекулаҳои маҳлулҳои обии дар таркибашон консентратсияи массавии гуногуни  $TiO_2$  дошта зиёд мегардад.

Афзоиши масофаи байни молекулаҳои маҳлулҳои обии дар таркибашон консентратсияи массавии гуногуни  $TiO_2$  дошта интиқоли импульси молекулаҳоро аз як сатҳи изотермӣ ба сатҳи дигари изотермӣ суст мегардонад ва ин ба камшавии коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои обии дар таркибашон миқдори гуногуни нанозарраҳои диоксида титан дошта бо афзоиши ҳарорат боис мегардад.



**Расми 5.** Вобастагии коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои обӣ аз консентратсияи массавии нанозарраҳои  $TiO_2$  дар фишори  $P=29,34\text{МПа}$  ва ҳароратҳои  $T_1=293\text{К}$  и  $T_2=393\text{К}$



**Расми 6.** Вобастагии коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои обӣ аз консентратсияи массавии нанозарраҳои  $TiO_2$  дар фишори  $P=49,01\text{МПа}$  ва ҳароратҳои  $T_1=293\text{К}$  и  $T_2=393\text{К}$

Афзоиши коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои обӣ бо зиёдшавии консентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан бо саҳми калони нанозарраҳо дар интиқоли импульс аз як қабати изотермӣ ба дигараш дар маҳлулҳои обии дар таркибашон миқдори гуногуни  $TiO_2$  дошта алоқаманд мебшад.

Бинобар ин, чӣ қадаре, ки консентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан дар таркиби маҳлулҳои обӣ зиёд бошад, ҳамон қадар коэффитсиенти часпакии динамикӣ меафзояд.

Муқаррар карда шудааст, ки бо афзоиши фишор таъсири ҳарорат ба тағйироти коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои обии дар таркибашон консентратсияи массавии гуногуни нанозарраҳои диоксида титан дошта кам мегардад.

Масалан, ҳангоми тағйирёбии ҳарорат аз  $273\text{К}$  то  $333\text{К}$  коэффитсиенти часпакии об дар фишори  $P=0,101\text{МПа}$ ,  $73,83\%$  кам мешавад ва барои маҳлулҳои обии дар таркибаш  $0,5\%$   $TiO_2$  дошта ин камшавӣ дар фишори  $P=0,101\text{МПа}$  ба  $72,11\%$ , дар фишори  $P=19,61\text{МПа}$  ба  $63,47\%$ , дар фишори  $P=49,01\text{МПа}$  ба  $54,1\%$  баробар аст. Чунин камшавии часпакии динамикӣ барои маҳлули дар таркибаш  $1,0\%$   $TiO_2$  дошта, дар фишори  $P=0,101\text{МПа}$  –  $69,87\%$ , дар фишори  $P=19,61\text{МПа}$  –  $61,37\%$ , дар фишори  $P=49,01\text{МПа}$  –  $52,48\%$  ва барои маҳлули дар таркибаш  $3,0\%$   $TiO_2$  дошта ин тағйирёбӣ дар фишори  $P=0,101\text{МПа}$  –  $55,48\%$ , дар фишори  $P=9,81\text{МПа}$  –  $50,78\%$ , дар фишори  $P=19,61\text{МПа}$  –  $43,46\%$ , дар фишори  $P=49,01\text{МПа}$  –  $40,07\%$ -ро ташкил менамояд.

Афзоиши фишор ба зичшавии хуби молекулаҳои объектҳои тадқиқотӣ оварда мерасонад. Зичшавии хуби молекулаҳои маҳлулҳо тағйирёбии часпакии динамикии онҳоро кам менамояд. Чӣ қадаре, ки фишор баланд бошад, ҳамон қадар зичшавии молекулаҳои маҳлули тадқиқшавандаи дар таркибаш миқдори гуногуни  $TiO_2$  дошта хубтар мегардад. Ҳангоми зичшавии хуби молекулаҳои маҳлулҳои обӣ таъсири ҳарорат ба тағйирёбии коэффитсиенти часпакии динамикии онҳо камтар мегардад ва инро тадқиқоти гузаронидаи мо тасдиқ менамояд. Зичшавии хуби молекулаҳо интиқоли хуби импульси молекулаҳоро аз як қимати изотермӣ ба дигараш таъмин менамояд ва ин таъсири ҳароратро ба тағйирёбии коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои оби тадқиқотӣ кам мегардонад.

Тадқиқот нишон дод, чӣ қадаре, ки ҳудуди тағйирёбии ҳарорат калон бошад, ҳамон қадар таъсири фишор ба тағйироти коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои оби дар таркибашон миқдори гуногуни нанозарраҳои диоксида титан дошта, зиёд мегардад. Масалан, дар ҳудуди тағйирёбии ҳарорат (273-333)К дар фишори  $P=0,101$ МПа коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои оби дар таркибашон 1,0%  $TiO_2$  дошта 69,78% кам мегардад, дар фишори  $P=19,61$ МПа – 61,37%, дар фишори  $P=49,01$ МПа – 52,48%, ва дар ҳудуди ҳароратҳои  $T=(273 - 443)$ К ин камшавӣ мувофиқан дар фишори  $P=9,81$ МПа – 73,61%, дар фишори  $P=29,34$ МПа – 65,46%, дар фишори  $P=49,01$ МПа – 59,23%-ро ташкил менамояд.

Чӣ қадаре, ки ҳудуди тағйирёбии ҳарорат калон бошад, ҳамон қадар масофаи байни молекулаҳои маҳлулҳои оби дар таркибашон миқдори гуногуни нанозарраҳои диоксида титан дошта зиёд мегардад ва ин сабаби камшавии зиёди коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои тадқиқотӣ дар ҳудуди калони тағйирёбии ҳарорат мегардад. Муқаррар карда шудааст, ки бо афзоиши консентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан дар таркиби маҳлулҳои обӣ, таъсири фишор ба коэффитсиенти часпакии онҳо дар ҳароратҳои гуногун кам мегардад. Масалан, ҳангоми тағйирёбии фишор аз 0,101МПа то 49,01МПа, коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлули оби дар таркибаш 0,5%  $TiO_2$  дошта, дар ҳарорати  $T=333$ К, 118,65%, дар ҳарорати  $T=393$ К ба 161,52% меафзояд ва барои маҳлули оби дар таркибаш 1,5%  $TiO_2$  дошта афзоиши коэффитсиенти часпакии динамикӣ ҳангоми тағйирёбии фишор аз 0,101МПа то 49,01МПа дар ҳароратҳои 333К ва 393К мувофиқан 100,3% ва 127,88%-ро ташкил менамояд, барои маҳлули оби дар таркибаш 3,0%  $TiO_2$  дошта ин тағйирот мувофиқан ба 87,17% ва 109,78% баробар мебошад.

Бо афзоиши консентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан дар таркиби маҳлулҳои обӣ таъсири мутақобили байни молекулаҳои онҳо меафзояд ва ин баҳам наздикшавии молекулаҳоро ба ҳамдигар таҳти таъсири фишори берунӣ душвор мегардонад ва интиқоли импульси молекулаҳо аз як қабати изотермӣ ба дигараш кам мегардад, ин ба камшавии таъсири фишори берунӣ ба коэффитсиенти часпакии динамикии объектҳои тадқиқотӣ дар ҳароратҳои гуногун оварда мерасонад.

**Боби чорум** ба таҳлил, коркард ва умумикунонии маълумотхое бахшида шудааст, ки ҳангоми ченкунии зичӣ ва часпакии маҳлулҳои тадқиқшаванда вобаста ба ҳарорат ва фишор бо усули координатаҳои овардашуда гирифта шудаанд.

### Вобастагиҳои аппроксиматсионӣ барои ҳисобкунии зичӣ ва часпакии маҳлулҳои тадқиқотӣ дар фишори атмосферӣ ва ҳароратҳои гуногун

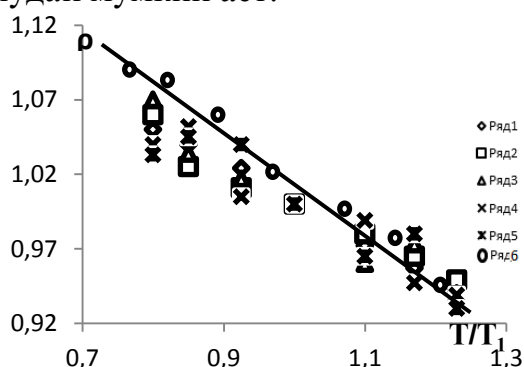
Барои ҳосил кардани вобастагии аппроксиматсионие, ки ба ҳисоб кардани зичии маҳлулҳои тадқиқотӣ дар ҳароратҳои гуногун ва фишори атмосферӣ имконият медиҳад, графики дар расми 7 тасвирёфтара ҳосил намудем.

Хати ростии дар расми 7 нишон дода шуда, барои маҳлулҳои системаи ( $H_2O + TiO_2$ ) дар фишори атмосферӣ бо муодилаи зерин ифода карда мешавад:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = 1,45 - 0,245 \frac{T}{T_1}, \quad (1)$$

дар ин ҷо  $T_1 = 353K$ .

Бо ёрии ифодаи (3.3.1) зичии нисбиро вобаста аз ҳарорати нисбӣ дар ҳудуди ҳатогии таҷриба ҳисоб кардан мумкин аст. Барои ҳисоби зичии нисбӣ қиматҳои таҷрибавии зичии маҳлулҳои омӯхташаванда (ҳамаи наномоеъҳо дар ҳарорати  $T_1 = 353K$ ) зарур мебошад. Қимати  $\rho_1$ -ро аз ҷадвалҳои 3.1-3.7-и диссертатсия интихоб намудан мумкин аст.



**Расми 7.** Вобастагии зичии нисбӣ аз ҳарорати нисбӣ:

- намунаи №1 – ( $H_2O + 0,5\% TiO_2$ ),
- намунаи №2 – ( $H_2O + 1,0\% TiO_2$ ),
- намунаи №3 – ( $H_2O + 1,5\% TiO_2$ ),
- намунаи №4 – ( $H_2O + 2,0\% TiO_2$ ),
- намунаи №5 – ( $H_2O + 2,5\% TiO_2$ ),
- намунаи №6 – ( $H_2O + 3,0\% TiO_2$ )

Бо мақсади ҳосил намудани вобастагии аппроксиматсионӣ барои коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои обии диоксидаи титан, мо аз вобастагии функционалии зерин истифода намудем:

$$\frac{\eta}{\eta_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right). \quad (2)$$

Дар ифодаи (2) қиматҳои аз ҷадвалҳои (3.2-3.15)-и диссертатсия гирифта мешавад ва  $T_1 = 333K$  аст. Иҷрошавии вобастагии функционалии (2) дар ҷадвали 3.16-и диссертатсия оварда шудааст ва бо муодилаи зерин навишта мешавад:

$$\frac{\eta}{\eta_1} = a_i \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + b_i \left(\frac{T}{T_1}\right) + c_i. \quad (3)$$

Қиматҳои ҳисобии ҷадвали 3.16-и диссертатсия ва методи квадратҳои хурд ё барномаи Excel-ро истифода намуда, коэффитсиентҳои муодилаи (3.3.3)-ро ба намуди парабола барои ҳамаи маҳлулҳои тадқиқотии системаи ( $H_2O + TiO_2$ ) ҳам дар намуди тоза ва ҳам бо иловаи то 3,0% диоксидаи титан барои ҳароратҳои гуногун ва фишори атмосферӣ ҳисоб намудем. Қиматҳои коэффитсиентҳои  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  дар ҷадвали 3.17-и диссертатсия оварда шудааст.

Таҳлили қиматҳои коэффитсиенти часпакии динамикии ( $\eta_1$ ) барои маҳлулҳои тадқиқотии диоксидаи титан нишон дод, ки онҳо функсияи консентратсияи нанопурку-нандаҳо ба шумор мераванд:

$$\eta_1 = [A \cdot (n_{TiO_2})^2 + B \cdot n_{TiO_2} + C], \text{ Па} \cdot \text{с} \quad (4)$$

Қиматҳои коэффитсиентҳои  $A$ ,  $B$ ,  $C$  дар ҷадвали 3.18-и диссертатсия оварда шудаанд.

## Ҳисобкунии фарқи гармиғунҷоиши системаи (H<sub>2</sub>O+TiO<sub>2</sub>) дар ҳароратҳои гуногун ва фишори атмосферӣ

Барои ҳисоб намудани фарқи гармиғунҷоишҳои газҳо, моеъҳо ва маҳлулҳо барои ҳарорату фишорҳои гуногун ифодаи зеринро истифода бурдан мумкин аст:

$$C_p - C_v = \frac{\alpha_p^2 T}{\beta_T \rho}, \left( \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right) \quad (5)$$

дар ин ҷо  $\alpha_p$  – коэффитсиенти васеъшавии изобарӣ, (1/К);  $\beta_T$  – коэффитсиенти фишурдашавии изотермӣ (1/Па);  $T$  – ҳарорат;  $\rho$  – зичӣ (кг/м<sup>3</sup>) дар ҳароратҳои (293-353) К ва фишорҳои (9,81-49,01) МПа гуногун мебошанд.

Барои ҳисоб намудани фарқи гармиғунҷоишҳои ( $C_p - C_v$ ) маҳлулҳои оби тадқиқотӣ (H<sub>2</sub>O + TiO<sub>2</sub>) мо аз қиматҳои таҷрибавии зичӣ ва қиматҳои ҳисобии  $\alpha_p$ ,  $\beta_T$ , (ҷадвалҳои 3.1-3.7 ва расмҳои 3.1-3.7-и диссертатсия) истифода бурдем.

### Ҳисоб намудани фарқи гармиғунҷоишҳои маҳлулҳои тадқиқотӣ дар ҳарорату фишорҳои гуногун

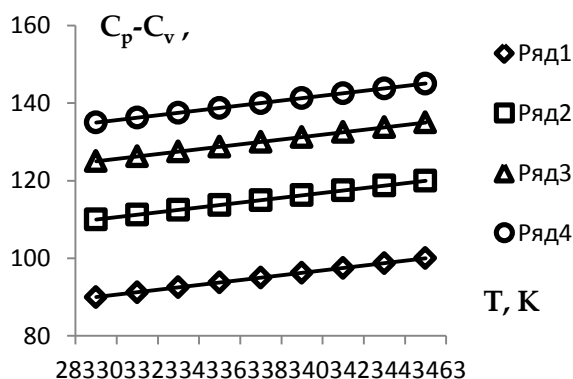
Аввалин бор фарқи гармиғунҷоишҳои маҳлулҳои системаи (H<sub>2</sub>O+TiO<sub>2</sub>) вобаста ба ҳарорат ва фишор аз формулаи (4.1.1) муайян карда шуд.

Натиҷаҳои ҳисобкунии ( $C_p - C_v$ ) дар ҷадвалҳои 4.1-4.9-и диссертатсия оварда шудаанд ва хусусияти тағйирёбии он вобаста аз фишор ва ҳарорат дар расмҳои 4.1-4.8-и диссертатсия нишон дода шудаанд.

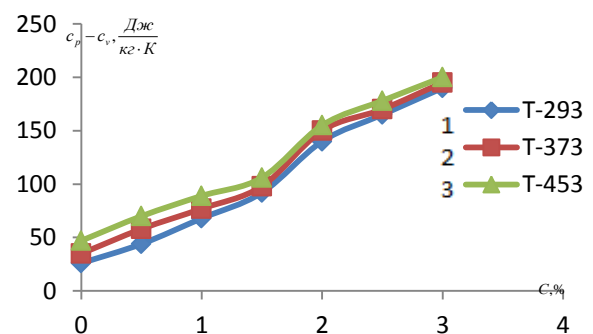
Дар расми 8 вобастагии фарқи гармиғунҷоишҳо ( $C_p - C_v$ ) барои маҳлули дар таркибаш 1,5% TiO<sub>2</sub> дошта аз ҳарорат дар фишорҳои гуногун нишон дода шудааст.

Ҳисобкуниҳо нишон доданд, ки фарқи гармиғунҷоишҳои маҳлулҳои тадқиқотӣ ( $C_p - C_v$ ) бо афзоиши фишор кам мегардад ва бо афзоиши консентратсияи массавии нанозарраҳои TiO<sub>2</sub> зиёд мегардад.

Мувофиқи расми 9 бо афзоиши консентратсияи массавии TiO<sub>2</sub> дар таркиби маҳлулҳо дар ҳароратҳои гуногун, дар изобараҳои алоҳида ( $C_p - C_v$ ) ғайрихаттӣ зиёд мегардад.



**Расми 8.** Фарқи гармиғунҷоишҳои ( $C_p - C_v$ ), намунаи №4 (H<sub>2</sub>O + 1,5%TiO<sub>2</sub>) вобаста ба ҳарорат дар фишорҳои гуногун: 1-9,81МПа; 2-19,62МПа; 3-29,43МПа; 4-39,24МПа.



**Расми 9.** Вобастагии ( $C_p - C_v$ )-и маҳлулҳои обӣ аз консентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан TiO<sub>2</sub> дар фишори P=39,24 МПа ва ҳароратҳои гуногун: 1-293К, 2-373К, 3-453К

Афзоиши фарқи гармиғунҷоишҳои маҳлулҳои тадқиқотӣ бо афзоиши консентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан, эҳтимол бо қимати калони

гармиғунҷоиши  $TiO_2$  нисбати гармиғунҷоиши оби тоза алоқаманд бошад. Бинобар ин, афзоиши концентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан дар таркиби маҳлулҳои обӣ ба афзоиши фарқи гармиғунҷоишҳои онҳо дар ҳамаи ҳудуди тағйирёбии ҳарорат оварда мерасонад.

Бо афзоиши фишор зичии маҳлулҳои обии дар таркибашон концентратсияи массавии гуногуни нанозарраҳои диоксида титан дошта зиёд мегардад ва мувофиқи формулаи (6) ин ба камшавии фарқи гармиғунҷоишҳои маҳлулҳои тадқиқотӣ оварда мерасонад.

### Ҳисобкунии фишори дохилии маҳлулҳои системаи ( $H_2O + TiO_2$ ) барои параметрҳои гуногуни ҳолат ва концентратсияи нанозарраҳо

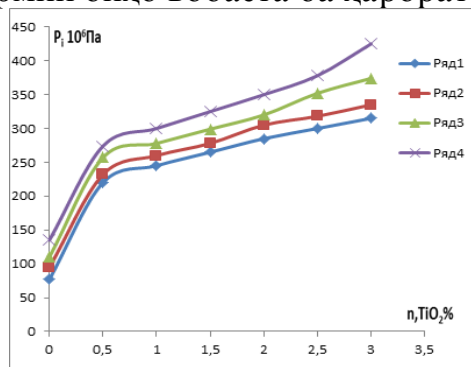
Дар асоси назарияи моеъҳо ва маҳлулҳо олимони ба омӯзиши сохти молекулавӣ машғул буда пешниҳод намуданд, ки фишори дохилии моеъҳо, ки бо коэффитсиенти васеъшавии ҳаҷмӣ ( $\alpha_p$ ), коэффитсиенти фишурдашавии изотермӣ ( $\beta_T$ ), ҳарорат ( $T$ ) ва фишори берунӣ алоқаманд мебошад, маҳлул ё моеъро фишурда менамояд. Фишори дохилии маҳлулҳои тадқиқотӣ ва моеъҳо аз ифодаи зерин муайян карда мешаванд:

$$P_i = \frac{\alpha_p}{\beta_T} T - P_0, \text{ Па.} \quad (7)$$

Ҳангоми ҳисобкунии фишори дохилии наномоеъҳо, маҳлулҳо ё моеъҳои нютонӣ одатан  $P_0 = 0.101 \text{ МПа} \approx 10^6 \text{ Па}$  қабул карда мешавад.

Натиҷаи ҳисобкунии фишори дохилии системаи ( $H_2O + TiO_2$ ) ба намуди графикӣ дар расмҳои 4.3.1 нишон дода, дар ҷадвали 4.3.1-и диссертатсия оварда шудааст. Мувофиқи расми 7 фишори дохилии системаи ( $H_2O + TiO_2$ ) бо афзоиши ҳарорат ва концентратсияи массавии нанозарраҳо афзоиш меёбад.

Фишори дохилии моеъҳо дар натиҷаи таъсири мутақобили молекулаҳои онҳо ба амал меояд. Бо афзоиши ҳарорат суръати ҳаракати ҳароратии молекулаҳо афзоиш меёбанд ва ин ба афзоиши таъсири мутақобили молекулаҳои тадқиқотӣ оварда мерасонад, бинобар ин, бо афзоиши ҳарорат фишори дохилии маҳлулҳои обии дар таркибашон концентратсияи массавии гуногуни нанозарраҳои диоксида титан ( $TiO_2$ ) дошта зиёд мегардад, ки натиҷаҳои бадаст овардаи мо тасдиқ менамояд (расми 10). Мувофиқи формулаи ҳисобии (7) фишори дохилии моеъҳо ба коэффитсиенти васеъшавии ҳаҷмӣ ( $\alpha_p$ ) ва ҳарорат ( $T$ ) мутаносиби роста ва ба коэффитсиенти фишурдашавии изотермӣ ( $\beta_T$ ) мутаносиби чаппа мебошад. Афзоиши фишори дохилии маҳлулҳои обии тадқиқотии дар таркибашон концентратсияи массавии гуногуни  $TiO_2$  дошта бо баландшавии ҳарорат нишон медиҳад, ки афзоиши коэффитсиенти васеъшавии ҳаҷмии маҳлулҳои обӣ бо баландшавии ҳарорат, нисбат ба афзоиши коэффитсиенти фишурдашавии изотермии онҳо вобаста ба ҳарорат зиёдтар мебошад.



**Расми 10.** Вобастагии фишори дохилии маҳлулҳои системаи ( $H_2O + TiO_2$ ) аз концентратсияи  $TiO_2$  дар фишори атмосферӣ ва ҳароратҳои: 1-283К; 2-293К; 3-313К; 4-323К.

Афзоиши фишори дохилии маҳлулҳои обии тадқиқшаванда бо зиёдшавии консентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан дар таркиби онҳо бо афзоиши таъсири мутақобили молекулаҳои об бо молекулаҳои диоксида титан  $TiO_2$  алоқаманд мебошад.

### **Ҳисобкунии коэффитсиенти фишурдашавии изотермии маҳлулҳои обии диоксида титан**

Барои ҳисоби коэффитсиенти фишурдашавии изотермии маҳлулҳои обии диоксида титан дар ҳарорати  $T=293K$  ва фишорҳои  $(0,101-49,01)MPa$  аз ифодаи зерин истифода намудем:

$$\beta_T = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_T, \quad \left( \frac{1}{Pa} \right) \quad (8)$$

дар ин ҷо  $\rho$ -зичӣ,  $kg/m^3$ ,  $\partial \rho$  – фарқи зичиҳо,  $kg/m^3$ ;  $\partial P$ - фарқи фишорҳо мебошанд.

Ҳисоби коэффитсиенти фишурдашавии маҳлулҳои системаи  $(H_2O+TiO_2)$  барои консентратсияи массавии гуногуни диоксида титан  $(0-3,0 \%)$  бо ёрии формулаи 8 бо истифодаи қиматҳои зичии объектҳои тадқиқотӣ гузаронида шуд. Хатойи ҳисоби коэффитсиенти фишурдашавии изотермӣ аз хатойи қиматҳои истифодашаванда дар муодилаи (8) вобаста мебошад.

Мувофиқи ҳисобкуниҳо коэффитсиенти фишурдашавии изотермии системаи  $(H_2O+TiO_2)$  тадқиқотӣ бо афзоиши ҳарорат ва консентратсияи массавии  $TiO_2$  зиёд мегардад.

### **Ҳисобкунии коэффитсиенти фишурдашавии изотермии маҳлулҳои обии диоксида титан вобаста аз фишор дар ҳарорати хона**

Барои ҳисоби коэффитсиенти фишурдашавии изотермии маҳлулҳои системаи  $(H_2O+ TiO_2)$  дар фишорҳои  $(9,81-49,01)MPa$  ва ҳарорати  $T=293K$  аз вобастагии функционалии зерин истифода карда шудааст:

$$\beta_T = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_T = [2\rho^2 A(T) + 8\rho^8 B(T)], \quad (9)$$

дар ин ҷо  $\rho$  – зичии маҳлулҳо ( $kg/m^3$ ),  $A(T)$  ва  $B(T)$  – коэффитсиентҳои эмпирикии муодила мебошанд, ки хангоми тартиб додани муодилаи ҳисобӣ муайян карда мешавад. Натиҷаи ҳисоби қиматҳои коэффитсиенти фишурдашавии изотермӣ дар ҷадвали 4.5.1 ва расми 4.5.1-и диссер-татсия оварда ва нишон дода шудаанд.

Барои муайян кардани коэффитсиенти фишурдашавии изотермӣ қиматҳои зичии маҳлулҳои тадқиқотӣ вобаста ба ҳарорат ва консентратсияи массавии  $TiO_2$  лозим аст.

Мувофиқи ҳисобкуниҳо коэффитсиенти фишурдашавии изотермии объектҳои тадқиқотӣ бо афзоиши фишор зиёд мегардад.

Бо ёрии муодилаи (4.5.1) коэффитсиенти фишурдашавии изотермии маҳлулҳои тадқиқотиро дар фишорҳои гуногун вобаста ба ҳарорат ва консентратсияи массавии  $TiO_2$  ҳисоб карда шуданд.

Ҳисобкуниҳо нишон доданд, ки коэффитсиенти фишурдашавии изотермии намунаҳои тадқиқотии системаи  $(H_2O+TiO_2)$  бо афзоиши фишор хусусияти мураккаб дорад.

### **Коркард ва чамъбасти зичии маҳлулҳои системаи $(H_2O+TiO_2)$ дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун**

Бо баътиборгирии қиматҳои таҷрибавии зичии маҳлулҳои системаи  $(H_2O+TiO_2)$ , ки дар ҳароратҳои  $(293-453)K$  ва фишорҳои  $(0,101-49,01)MPa$  гуногун

ба даст оварда мо аввалин бор коркарди онҳоро дар асоси вобастагиҳои функционалии зерин гузаронидем:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (10)$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_1^*} = f\left(\frac{P}{P_1}\right), \quad (11)$$

дар ин ҷо  $\rho$  – зичии маҳлулҳои тадқиқотӣ дар ҳарорату фишорҳои гуногун ва  $\rho_1$ -зичии маҳлулҳои тадқиқотӣ дар ҳарорати  $T_1 = 353 \text{ K}$  ва фишори  $P_1 = 19,61 \text{ МПа}$  мебошад.

Барои ҷамъбасти қиматҳои таҷрибавӣ бо ёрии ифодаҳои (9) ва (10) мо қиматҳои таҷрибавии зичиро аз ҷадвалҳои 3.1 – 3.7-и диссертатсия истифода намудем.

Дар асоси коркарди қиматҳои таҷрибавӣ бо ёрии вобастагии (4.6.1) муодилаи зерин ҳосил карда шуд:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = [1,45 - 0,245\left(\frac{T}{T_1}\right)], \quad (12)$$

Таҳлили қиматҳои  $\rho_1$  ва  $\rho_1^*$  нишон доданд, ки онҳо функсияи фишор ва концентратсияи массавии нанопуркунандаҳои диоксидаи титан ( $TiO_2$ ) ба шумор мераванд:

$$\rho_1 = \left[0,28\left(\frac{P}{P_1}\right) + 0,9717\right] \cdot \rho_1^*, \quad (13)$$

$$\rho_1^* = A + Bn \quad (\text{расми 4.6.3-и диссертатсия}). \quad (14)$$

Аз муодилаи (12) бо баъътиборгирии ифодаҳои (13) ва (14) ҳосил менамоем:

$$\rho = \left[1,45 - 0,245\left(\frac{T}{T_1}\right)\right] \left[0,28\left(\frac{P}{P_1}\right) + 0,9717\right] \cdot (A + Bn), \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (15)$$

$$\text{дар ин ҷо } A = 989 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; B = 27 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \%}.$$

Бо ёрии ифодаи (15) зичии маҳлулҳои системаи ( $H_2O + TiO_2$ ) дар фишору ҳароратҳои гуногун бо хатоии (0,2-1,3)% муайян кардан мумкин аст. Қайд кардан лозим аст, ки барои чунин ҳисобкунӣ концентратсияи массавии нанозарраҳо ( $n$ ), аз он ҷумла диоксидаи титанро  $TiO_2$ , ҳарорат (283-443)K ва фишорро (0,101-49,01)МПа доништан лозим аст (ҷадвали 4.6.1-и диссертатсия).

### **Ҳосил намудани муодилаи ҳолати (МХ) намуди Мамедов-Ахундов барои маҳлулҳои системаи ( $H_2O + TiO_2$ ) дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун**

Барои ҳосил намудани муодилаи ҳолати (МХ) намуди Мамедов-Ахундов мо аввалин бор қиматҳои таҷрибавии зичии маҳлулҳои тадқиқотии системаи ( $H_2O + TiO_2$ ), яъне об ва нанозарраҳои диоксидаи титанро барои параметрҳои баланди ҳолат  $T=(293-433)K$  ва фишорҳои  $P=(0,101-49,01)МПа$  ва концентратсияи массавии нанозарраҳо (0-3% $TiO_2$ ) истифода намудем.

Барои ҳисоби зичии маҳлулҳои тадқиқотӣ инчунин мо аз муодилаи намуди Тейт истифода бурдем.

Тадқиқотчиён барои таъсиси МХ-и маҳлулҳо, наномоеъҳо дар асоси гидроген, фенилгидрозин, метилгидрозин ва ғайраҳо аз муодилаҳои ҳолати намуди Тейт, Мамедов, Григорев, Ахундов ва дигарон истифода кардаанд.

Тадқиқотчиён инчунин муодилаи намуди Тейтро барои муайян намудани зичӣ ва часпакии моеъҳо истифода бурдаанд, ки чунин намуд дорад:

$$\rho = \frac{\rho_0}{A + C \ln\left[\frac{B + P}{B_0 + P_0}\right]}, \quad (16)$$



дар ин чо  $\rho_0$  – зичии моеъҳо барои ҳарорат ва фишори додашуда;  $A, C, B_0$  ва  $B$  – коэффитсиентҳои муодила мебошанд ва дар асоси қиматҳои таҷрибавӣ бо роҳи интихоб муайян карда мешаванд; одатан  $P = 4,9 \text{ МПа}$  ё  $9,81 \text{ МПа}$  қабул карда мешавад,  $P$  - аз  $9,81 \text{ МПа}$  то  $100 \text{ МПа}$  тағйир меёбад.

Барои муайян намудани коэффитсиенти часпакии динамикӣ муодилаи намуди Тейт ба намуди зайл истифода бурда шуд:

$$\eta = \eta_0 \left( 1 - c \ln \left[ \frac{B + P}{B_0 + P_0} \right] \right), \quad (17)$$

дар ин чо  $\eta_0$  – коэффитсиенти часпакии динамикӣ дар ҳарорат ва фишори додашуда мебошад.

Ғайр аз ин барои таъсис додани МХ-и маҳлулҳои тадқиқотӣ мо ифодаи  $P=f(\rho)^6$ -ро истифода намудем. Дар ҳамвории  $\frac{P}{\rho^2} - \rho^6$  графикаи онҳоро сохтем.

Дар расмҳои 4.7.1 - 4.7.7-и диссертатсия графикҳои вобастагии  $\frac{P}{\rho^2} = f(\rho)^6$  барои ҳамаи маҳлулҳои обӣ ҳам дар ҳолати тозагӣ ва ҳам барои концентратсияҳои массавии диоксидаи титан аз 0 то 3% сохтем.

Мувофиқи расмҳои 4.7.1-4.7.7 ва чадвалҳои 4.7.3-4.7.9-и диссертатсия вобастагии  $\frac{P}{\rho^2} = f(\rho)^6$  барои ҳамаи маҳлулҳои тадқиқотӣ вобастагии хаттӣ дорад. Барои ҳисоби коэффитсиентҳои хатҳои рост мо ва муаллифони дигар, аз он ҷумла Мамедов ва Ахундов роҳи осони муайянкунии коэффитсиентҳои муодилаҳои ин хатҳои ростро пайдо кардем.

Қайд кардан лозим аст, ки солҳои 60 ва 70-уми асри гузашта ҳосил ва ҳисоби коэффитсиентҳои хатҳои қач хело душвор буд, чунки он вақтҳо истифодаи МХЭ ё компютерҳо имконнопазир буд. Коэффитсиентҳои муодилаҳои хатҳои қачу рост танҳо бо ёрии микрокалькулятори намуди МК-61 муайян карда мешуд (то солҳои 90-уми асри гузашта). Ҳангоми тайёр намудани рисолаҳои номзадӣ ва доктории профессорон Сафаров М.М. ва Мачидов Ҳ.М. барои муайянкунии чунин коэффитсиентҳо аз методи квадратҳои хурд бо ёрии барномаи махсуси дар МК-61 тайёр карда шуда истифода бурда мешуд.

Дар замони ҳозира зиёда аз 100 барнома дар МЭХ, микрокалькуляторҳо, Excel, Matlab ва ғайраҳо мавҷуданд ва аз онҳо барои ҳисобкунии коэффитсиентҳои хатҳои рост, қач ва дараҷагӣ бо хатоии кифоя хурд ё қиматҳои боэътимод самарабахш истифода бурдан мумкин аст.

Мо дар ин қор қиматҳои таҷрибавии зичии маҳлулҳои тадқиқшударо барои ҳарорат ва фишорҳои гуногун ва методи Мамедов-Ахундовро истифода намуда муодилаи ҳолатро барои маҳлулҳои системаи ( $H_2O + TiO_2$ ) ҳосил намудем. Нано-объектҳои  $TiO_2$  аз Донишгоҳи давлатии технологияи Қазон дастрас карда шудаанд.

Натиҷаҳои коркард барои ҳосил намудани муодилаи ҳолат барои маҳлули дар таркибаш 1,0% диоксидаи титан дошта, дар расми 11 нишон дода шудааст.

Муодилаҳои ҳолат мувофиқи графикҳои дар расми 11 нишондодашуда намуди зерин доранд:

$$T=283 \text{ К}; \quad \frac{P}{\rho^2} = 285,4 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 347,1, \quad (18)$$

$$T=293 \text{ К}; \quad \frac{P}{\rho^2} = 250 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 252,5, \quad (19)$$

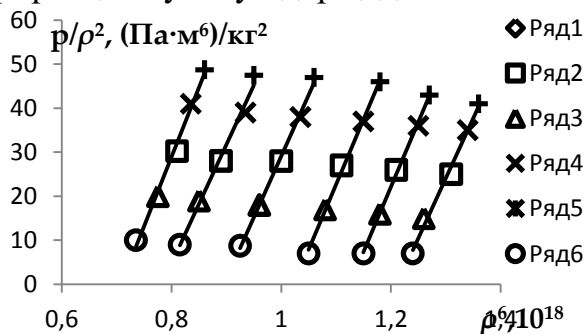
$$T=323 \text{ К}; \quad \frac{P}{\rho^2} = 285,7 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 289,9, \quad (20)$$

$$T=353 \text{ K}; \quad \frac{P}{\rho^2} = 166,7 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 144,9, \quad (21)$$

$$T=393 \text{ K}; \quad \frac{P}{\rho^2} = 222,2 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 169,9, \quad (22)$$

$$T=433 \text{ K}; \quad \frac{P}{\rho^2} = 333,3 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 236,7 \quad (23)$$

Қиматҳои коэффитсиентҳои муодилаи ҳолати Мамедов-Ахундов дар ҳароратҳои гуногун дар ҷадвали 4.7.1 оварда шудааст.



**Расми 11.** Вобастагии  $\frac{P}{\rho^2}$  аз  $\rho^6$  барои намунаи ( $H_2O + 1,0\%TiO_2$ ) барои ҳарорат ва фишорҳои гуногун: 1-433; 2-393; 3-353; 4-323; 5-293; 6-283 К.

**Ҷадвали 1.-**Қиматҳои коэффитсиентҳои муодилаи ҳолати Мамедов-Ахундов дар ҳароратҳои гуногун

T, K	$B \cdot 10^{-18}, \frac{\text{Па} \cdot \text{кг}^4}{\text{м}^3}$	$- A, \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^4}{\text{кг}^2}$
283	285,4	347,1
293	250,0	252,5
323	285,7	289,9
353	166,7	144,9
393	222,2	169,9
433	333,3	236,7

### Татбиқи муодилаи Тейт барои ҳисобкунии часпакӣ ва зичии электролитҳо ва маҳлулҳо бо эффеќти хотира

Дар ин параграф натиҷаи ҷамъбаст ва ҳосилкунии муодилаи ҳолати намуди Тейт барои электролитҳои системаи  $H_2O + TiO_2$  дар шароити тағйирёбии ҳарорат ва фишор бо ҳатоии нисбии умумии усули истифодашуда 0,1% барои  $\alpha = 0,95$  оварда шудааст. Муодилаи ҳолати электролитҳо ва наномоеъҳо имконият медиҳад, ки хосиятҳои калориметрӣ ва термодинамикии онҳо ҳангоми шароитҳои нисбатан гуногуни тағйирёбии ҳарорат ва фишор ҳисоб карда шаванд.

Барои таъсиси моделҳои физико-химиявӣ ва ҳисоби протсессҳои гармӣ массаивазкунӣ қиматҳои таҷрибавӣ доир ба хосиятҳои гармифизикӣ ва реологӣ дар ҳудуди васеи ҳарорат ва фишор заруранд.

Азбаски дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои дар ҳудудҳои калони параметрҳои ҳолат ба муайян кардани часпакии моеъҳо имконият намедиҳанд, бинобар ин, мо дар назди худ вазифа гузоштем, ки муодилаи намуди Тейтро ба намуди зерин истифода барем:

$$\eta = \eta_0 \left( 1 - A \ln \left| \frac{B+P}{B_0+P_0} \right| \right), \quad (24)$$

$$\nu = \nu_0 \left( 1 - A \ln \left| \frac{B+P}{B_0+P_0} \right| \right), \quad (25)$$

дар ин ҷо  $\eta, \eta_0$  - коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳо барои ҳарорат ва фишорҳои тағйирёбанда;  $\nu, \nu_0$  - часпакии кинематикӣ дар параметрҳои ҳолати додасуда  $T, P$  ва  $T_0, P_0$ ;  $A$  ва  $B$  - коэффитсиентҳои муодилаи Тейт мебошанд.

Аз тарафи дигар ифодаҳои (24) ва (25) муодилаҳои ҳолати моеъҳо ба шумор мераванд. Таъсис намудани муодилаи ҳолати ба талаботҳо ҷавобгӯӣ, яке аз проблемаҳои асосии физикаи молекула ба шумор меравад. Агар барои газҳо ва ҷисмҳои сахт проблемаи мазкур қисман ҳалли худро ёфта бошад, барои моеъҳо ва аз он ҷумла барои наномоеъҳо ин масъала ҳалли худро наёфтааст.

Имрӯзҳо муодилаи универсалӣ ё методи таъсиси чунин муодилаи ҳолате, ки универсалӣ бошад ва аниқии ҳисобкунии ҳосиятҳои гармифизиқии моддаҳоро қаноаткунанда мавҷуд нест. Вобаста ба ин тадқиқотчиён зиёдтар ба ҳосил намудани муодилаҳои эмпирикӣ ё нимэмпирикӣ таваҷҷӯҳ зоҳир менамоянд, қадоме, ки натиҷаҳои бад наодода истодаанд. Бо ёрии қиматҳои таҷрибавии зичии эфирҳои содда дар ҳолати моеъгӣ дар фишори ҳавои атмосферӣ ва ҳароратҳои гуногун (то ҳарорати ҷӯшиш,  $T_{ҷӯш}$ ) варианти модифисиронда шудани муодилаи Тейт ба намуди зерин ҳосил карда шудааст:

$$\rho = \frac{\rho_0}{\left\{1 - C(T) \ln \left[ \frac{B(T)+P}{B(T)+P_0} \right] \right\}}, \quad (26)$$

дар ин ҷо  $C(T) = \left[ 1,82 - 0,8 \left( \frac{T}{T_1} \right) \right] (1,6\mu^2 - 0,43\mu + 3,14 \cdot 10^{-2}), \quad (27)$

$$B(T) = \left[ 2,53 - 1,52 \left( \frac{T}{T_1} \right) \right] (5,98 \cdot 10^7 \mu^2 - 1,24 \cdot 10^7 \mu + 1,09 \cdot 10^8), \quad (28)$$

дар ин ҷо  $\mu$  – массаи молӣ мебошад.

Муодилаи ҳосилкардаи (26) бо баъътиборгирии ифодаҳои (27) ва (28) хеле хуб қиматҳои таҷрибавии зичии эфирҳои соддаро дар ҳолати моеъгӣ (диэтил-, дибутил-, диамил-, диизопропил-, диалил-, дигексил-, диоктил- и ғайраҳо) дар ҳудуди ҳароратҳои  $T=(290-550)K$  ва фишорҳои (4,98-98,1) МПа бо хатои миёнаи (0,5-3,6) % менависад.

Муқаррар карда шудааст, ки коэффитсиентҳо дар таркиби муодилаҳои ҳолате, ки Тейт пешниҳод намудааст, нисбати эфирҳои содда характери тағйирёбандадоранд ва аз ҳарорат вобастаанд. Ба омӯзиши муодилаҳои ҳолати пешниҳодкардаи Тейт, миқдори зиёди нашрияҳои илмӣ бахшида шудаанд. Нисбати коэффитсиентҳои муодилаҳои  $\bar{u}$  низ саволҳои зиёде пайдо гардидаанд.

Қайд кардан лозим аст, ки муодилаи Тейт ҳам барои зичии моеъҳо ва ҳам барои моддаҳои дигар (электролитҳо, наномоеъҳо ва ғайраҳо) бо баъътиборгирии вобастагии ҳарорати дар фишорҳои гуногун дар асоси қиматҳои таҷрибавӣ дар координатаҳои (х,у) имконияти сохтани графикҳои вобастагии  $\left(\frac{\Delta P}{\Delta \eta}\right)_T$  аз (P) ё  $\left(\frac{\Delta P}{\Delta \rho}\right)_T$  аз (P)-ро медиҳад.

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta \eta}\right)_T = f(P), \quad (29)$$

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta \rho}\right)_T = f(P), \quad (30)$$

Баъди ин хатҳои рост ҳосил менамоем.

Қайд кардан лозим аст, ки коэффитсиентҳои A ва B-и муодилаҳои хатҳои рост аз ҳарорат вобастаанд:

$$A = f(T) \text{ и } B = f(T), \quad (31)$$

Ин коэффитсиентҳо барои ҳар як изотерма бо ёрии методи квадратҳои хурд ва бо роҳи таҳлили графоаналитикӣ ҳисоб карда шудаанд, баъд онҳо бо хатогии 0,15% бо бисёраъзогии дараҷаи дуум аппроксиматсия карда шудаанд:

$$A(T) = \sum_{i=0}^2 \alpha_i T^i; \quad B(T) = \sum_{i=0}^2 \beta_i T^i \quad (32)$$

Баъди ҳисоб кардани коэффитсиентҳои  $\alpha_i$  ва  $\beta_i$ , вобастагии ҳароратии  $A(T)$ , ва  $B(T)$  танҳо барои эфери диэтил дар ҳолати моеъгӣ ҳисоб карда мешавад.

Ҳангоми ҳисобкунии коэффитсиентҳои муодилаҳои хатҳои росте, ки дар асоси қиматҳои таҷрибавии коэффитсиенти часпакии динамикӣ барои маҳлулҳои системаи ( $H_2O + TiO_2$ ) дар ҳолати моеъгӣ ҳосил карда шудаанд, вобастагии ҳароратии  $C(T)$  ва  $D(T)$ -ро барои маҳлулҳои тадқиқотии дар таркибашон миқдори гуногуни  $TiO_2$  доштаро ба даст меорем:

$$C(T) = \sum_{i=0}^2 c_i T^i; \quad D(T) = \sum_{i=0}^2 d_i T^i \quad (33)$$

Ҳангоми истифодаи муодилаи намуди Тейт нишон дода шуда буд, ки коэффитсиентҳои муодила доимӣ нестанд ва онҳо аз ҳарорат, фишор (барои эфирҳои содда аз массаи молӣ), барои маҳлулҳои тадқиқотӣ аз консентратсияи массавии нанозарраҳо низ вобастагӣ доранд.

Бо ҳамин сабаб барои ҳисоби зичии маҳлулҳои системаи ( $H_2O + TiO_2$ ) коэффитсиентҳои ифодаи (31) ва барои муайян кардани коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои тадқиқшаванда коэффитсиентҳои  $C(T)$  ва  $D(T)$  мувофиқи ифодаи (32) истифода бурда мешаванд.

*Дар замима* муқоисаи маълумоти таҷрибавии моддаҳои тадқиқшуда, ки дар дастгоҳҳои модернизатсияшуда ва таҳияшуда ба даст оварда шудаанд, бо маълумотҳои ҳисобшуда дар доираи васеи тағйироти параметрҳои ҳолат оварда шудааст.

### ХУЛОСАҲО

Дар асоси чамбаст ва таҳлили адабиёти илмӣ-техникӣ ва патентии литсензионӣ мақсад ва вазифаи тадқиқот муайян карда шуд ва аз рӯйи натиҷаҳои тадқиқоти гузаронидашуда хулосаҳои зерин бароварда шуд:

1. Дастигоҳи таҷрибавӣ дар асоси методҳои баркашқунии гидростатикӣ ва вискозиметрии капиллярӣ бо капилляри баровардашаванда барои ченкунии зичӣ ва часпакии динамикии маҳлулҳо вобаста ба ҳарорат ҳам барои фишори атмосферӣ ва ҳам барои параметрҳои баланди ҳолат сохта шудаанд. Хатҳои нисбии ченкунии дастгоҳҳои таҷрибавии сохташуда мувофиқан 1,28 ва 3,0%-ро ташкил менамоянд.[1-М,4-М,5-М,10-М,15-М].

2. Аввалин бор дар дастгоҳҳои таҷрибавии қайд гардида, қиматҳои ҳисобӣ-таҷрибавӣ доир ба зичӣ ва коэффитсиенти часпакии динамикӣ барои маҳлулҳои системаи об ва диоксиди титан (консентратсияи массавии  $TiO_2$  то 3,0%) ҳам барои фишори ҳавои атмосферӣ ва ҳам барои параметрҳои баланди ҳолат ба даст оварда шудаанд.[2-М,4-М,5-М,7-М,9-М,10-М,11-М,15-М].

3. Аввалин бор барои ҳисоби зичӣ ва часпакии динамикии маҳлулҳои тадқиқотӣ бо эффекти хотира муодилаи ҳолати намуди Тейт ва муодилаи ҳолати Мамедов-Ахундов истифода бурда шудааст.[2-М,3-М].

4. Аввалин бор барои маҳлулҳои тадқиқотӣ хосиятҳои термодинамикӣ ва калориметрии онҳо барои ҳарорат ва фишорҳои гуногун ҳисоб карда шудааст.

5. Муқаррар карда шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат зичии маҳлулҳои тадқиқотии дар таркибашон консентратсияи массавии гуногуни нанозарраҳои диоксиди титан дошта аз рӯйи қонуни хаттӣ кам мешаваду бо афзоиши фишор зиёд мегардад.[3-М,5-М,12-М,15-М].

6. Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши концентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан дар таркиби маҳлулҳо зичии онҳо афзоиш меёбад ва таъсири ҳарорат ба тағйирёбии зичии онҳор зиёд мегардад, кадоме, ки бо афзоиши массаи маҳлулҳои тадқиқшаванда дар воҳиди ҳаҷм ва зиёдшавии масофаи байни молекулаҳои алоқаманд мебошад.[3-М,8-М,9-М,10-М,11-М,12-М].

7. Нишон дода шудааст, ки дар ҳарорати  $T=433\text{K}$  ҳангоми тағйирёбии фишор аз  $9,81\text{МПа}$  то  $49,01\text{МПа}$  зичии маҳлулҳои дар таркибашон концентратсияи массавии гуногуни  $\text{TiO}_2$  дошта яхела афзоиш меёбанд ва тахминан  $3,0\%$ -ро ташкил медиҳад, ин аз он шаҳодат медиҳад, ки дар ҳароратҳои баланд таъсири мутақобили молекулаҳои маҳлулҳои дар таркибашон концентратсияи массавии гуногуни  $\text{TiO}_2$  дошта на он қадар зиёд фарқ мекунад.[3-М,4-М,5-М,6-М,7-М,8-М,9-М,10-М,12-М].

8. Бо афзоиши ҳудуди ҳарорат камшавии зичии маҳлулҳои обии дар таркибашон концентратсияи массавии гуногуни  $\text{TiO}_2$  дошта афзоиш меёбад ва ин бо афзоиши масофаи байни молекулаҳои маҳлулҳои обӣ бо афзоиши ҳудуди ҳарорат маънидод карда шудааст.[1-М,2-М,6-М,8-М,9-М,10-М,11-М,12-М].

9. Муқаррар карда шудааст, ки коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои обии дар таркибашон концентратсияи массавии гуногуни  $\text{TiO}_2$  дошта бо афзоиши ҳарорат аз рӯи қонуни парабола кам мегардад.[1-М,2-М,3-М,4-М,5-М,6-М,7-М,8-М,9-М,10-М,11-М,12-М,13-М,14-М,15-М].

10. Муқаррар карда шудааст, ки афзоиши часпакии динамикии маҳлулҳои обии дар таркибашон концентратсияи массавии нанозарраҳои диоксида титан дошта бо саҳми калони нанозарраҳо дар интиқоли импульс аз як қабати изотермӣ ба дигараш дар маҳлулҳои обии дар таркибашон миқдори гуногуни  $\text{TiO}_2$  дошта алоқаманд мебошад.[3-М,4-М,5-М,6-М,7-М,9-М,10-М,11-М,12-М].

11. Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши фишор таъсири ҳарорат ба тағйирёбии коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои обии дар таркибашон концентратсияи массавии гуногуни диоксида титан дошта кам мешавад ва ин бо зичшавии ҳуҷи молекулаҳои объектҳои тадқиқотӣ бо афзоиши фишор маънидод карда шудааст.[1-М,2-М,3-М,4-М,5-М,6-М,10-М,11-М].

12. Муқаррар карда шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат фишори дохилии маҳлулҳои обии дар таркибашон концентратсияҳои массавии гуногуни нанозарраҳои диоксида титан ( $\text{TiO}_2$ ) дошта зиёд мегардад ва ин бо афзоиши таъсири мутақобили молекулаҳои маҳлулҳои тадқиқотӣ бо афзоиши ҳарорат маънидод карда шудааст.[2-М,3-М,4-М,5-М,6-М,7-М,8-М].

#### **Тавсияҳо доир ба истифодабарии амалии натиҷаҳои тадқиқот**

Натиҷаҳои кори диссертатсионӣ нав буда, ба тасдиқоти физико-химиявии дақиқ ва қиматҳои эксперименталие, ки ба сифати маводи ҳисобӣ ва маълумотномавӣ ҳангоми ҳалли масъалаҳои умумии гармӣ- ва массаивазкунӣ, инчунин ҳангоми коркарди технологияи асосан нав ва хеле самарабахш барои таъсиси таҷҳизотҳои гармитехникӣ тавсия дода мешаванд, таъя менамояд. Инчунин онҳо метавонанд дар ҷараёни таълим истифода бурда шаванд.

Стендҳои таҷрибавии коркард шударо барои ба зудӣ муайян кардани зичӣ ва часпакии динамикии маводҳои технологӣ дар лабораторияҳои илмӣ истифода бурдан мумкин аст.

Натиҷаҳои тадқиқотҳои эксперименталии ба даст овардашуда, муодилаҳои эмпирикӣ ва муодилаҳои ҳолат доир ба зичии объектҳои тадқиқотиро дар ҳисобкуниҳои муҳандисӣ, аз ҷониби аспирантон барои иҷрои кори диссертатсионӣ,

аз ҷониби бакалаврҳо, магистрҳо ва докторантҳо барои иҷрои корҳои курсию дипломӣ ва диссертатсияҳо истифода бурдан тавсия дода мешавад.

**ИНЪИКОСИ МҶҲТАВОИ АСОСИИ РИСОЛА ДАР ИНТИШОРОТ  
Мақолаҳои ҷопшуда дар маҷаллаҳои илмӣ тақризшавандаи феҳрасти  
тавсиянамудаи ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон:**

- [1-М] **Исмонов, Ф.Д.** Взаимосвязь между динамической и термодинамической характеристиками растворов системы бензола и полистирола при атмосферном давлении,  $T=293\text{K}$ ./А. Неъматов, Х. Маджидов, Р. Давлатов, А. Раджабов, Д.Ш. Хақимов.// Вестник Таджикского национального университета серия естественных наук.- 2018.-№1.-С.131-137.
- [2-М] **Исмонов, Ф.Д.** Уравнение состояния Мамедова – Ахундова – Сафарова для электролитов системы  $\text{H}_2\text{O}+\text{TiO}_2$  при различных температурах и давлениях./Х. Маджидов Х, М.М. Гуломов, А.А. Хубатхузин, А. Неъматов, С.С. Джумъев. //Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук.- 2020.-№3.-С.127-135.
- [3-М] **Исмонов, Ф. Д.** Применение уравнения Тейта для расчета вязкости, плотности электролитов и простых эфиров./Ф.Д. Исмонов, М.М. Гуломов, А.А. Хубатхузин, Х. Маджидов // Вестник технологического университета Таджикистана–2019.-№4 (39).-С.22-27.
- [4-М] **Исмонов, Ф.Д.** Исследование динамической вязкости водных растворов наноматериала диоксида титана  $\text{TiO}_2$  при различных температурах и давлениях. /Ф.Д. Исмонов, Х. Маджидов, М.М. Сафаров, С. Зубайдов. // Паёми политехникӣ. Душанбе, 2021 №2(54).-С.8-12.
- [5-М] **Исмонов, Ф.Д.** Исследование плотности водных растворов наночастиц  $\text{TiO}_2$  при различных температурах и давлениях. /Ф.Д. Исмонов, Х. Маджидов, М.М. Сафаров. // Паёми политехникӣ. Душанбе, 2021 №3(55).-С. 28-33.
- [6-М] **Исмонов, Ф.Д.** Динамическая вязкость плотности водных растворов в зависимости от температуры, давления и массовой концентрации диоксида титана. / Ф.Д. Исмонов // Паёми политехникӣ. Душанбе, 2022 №2(58).-с. 53-58
- [7-М] **Исмонов, Ф.Д.** Динамическая вязкость плотности водных растворов в зависимости от температуры, давления и массовой концентрации диоксида титана. / Х. Маджидов, Ф.Д. Исмонов // Научное и периодическое издание «Инженер», ИА КР, 2023 №26, -с. 100-109.

**Мақолаҳои ҷопшуда дар маҷмӯаҳои маводи конференсияҳои байналмиллалӣ,  
ҷумҳуриявӣ ва дигар нашрияҳо**

- [8-М] **Исмонов, Ф.Д.** Расчет изотермического коэффициента сжимаемости водных растворов диоксида титана./К.Н. Розиков, Х. Маджидов, Т.Р. Тиллоева, А.А. Хубатхузин, Ш.О.Яхьяев //Материалы международной научно-практической конференции ”Электроэнергетика Таджикистана: Актуальные проблемы и пути их решения”, посвященной 80-летию М.Б. Иноятова и 70-летию М.В. Шамсиева, приуроченной ко Дню энергетика. Душанбе-19 декабря 2019, Филиал МЭИ в г. Душанбе. -С.262-266.
- [9-М] **Исмонов, Ф. Д.** Коэффициент изотермический сжимаемости и текучести некоторых органических водных растворов. /М.М. Сафаров, Матлаби Дж., Д.Ш. Раджабова, С.С. Джумъев, М.М. Гуломов, Ф. Абдужалилзода, Н.Э. Джумаева, С.С. Рафиев //Маҷмӯаи мақолаҳои конференсияи ҷумҳуриявӣ илмию амалӣ дар мавзӯи «Заминаҳои рушд ва дурнамои илми химия дар Ҷумҳурии Тоҷикистон», бахшида ба 60-солагии факултети химия ва гиромии

дошти хотираи д.и.х., профессор, академики АИ ҚТ Нӯъмонов И. У. Душанбе, ДМТ, 2020.-С. 47-49.

- [10-М] **Исмонов, Ф.Д.** Влияние диоксида титана на изменение динамической вязкости воды. /Ф.Д. Исмонов, Х. Маджидов, А.А. Хубатхузин //Маводи конференсияи чумхуриявӣ илмию амалӣ дар мавзӯи «Энергетикаи гармо ва хосиятҳои гармофизикии моддаҳо». Душанбе, ДТТ, 2021.-С. 84-87.
- [11-М] **Исмонов, Ф.Д.** Динамическая вязкость водных растворов диоксида титана  $TiO_2$  в зависимости от температуры и давления. /Х. Маджидов, Ф.Д. Исмонов //Осори илмии Академияи муҳандисии Ҷумҳурии Тоҷикистон бахшида ба 30-юмин солгарди Истиклолияти давлатии Тоҷикистон. Душанбе, Академияи муҳандисии Ҷумҳурии Тоҷикистон, 2021.-С. 99-104.
- [12-М] **Исмонов, Ф.Д.** Динамическая вязкость водных растворов диоксида титана. / Х. Маджидов, Ф.Д. Исмонов // Маводҳои симпозиуми физикони Тоҷикистон бахшида ба 85-солагии академик Р.Марупов. Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умаров. Душанбе, 2021.-С. 81-84.
- [13-М] **Исмонов, Ф.Д.** Исследование плотности водных растворов диоксида титана./ Х. Маджидов, Ф.Д. Исмонов // Маводҳои симпозиуми физикони Тоҷикистон бахшида ба 85-солагии академик Р.Марупов. Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умаров. Душанбе, 2021.-С. 84-87.
- [14-М] **Исмонов, Ф.Д.** Интерпретация экспериментальных данных по динамической вязкости водных растворов диоксида титана  $TiO_2$  в зависимости от температуры и давления. / Х. Маджидов, Ф.Д. Исмонов // Маводи конференсияи илмӣ-амалии чумхуриявӣ дар мавзӯи «Проблемаҳои муосири илмҳои табиатшиносию риёзӣ ва методикаи таълими онҳо дар муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ» бахшида ба 20 солаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040). Душанбе, 2021.-С. 443-448.
- [15-М] **Исмонов, Ф.Д.** Интерпретация и обобщение экспериментальных данных по плотности водных растворов диоксида титана  $TiO_2$  в зависимости от температуры и давления. / Х. Маджидов, Ф.Д. Исмонов // Маводи конференсияи илмӣ-амалии чумхуриявӣ дар мавзӯи «Проблемаҳои муосири илмҳои табиатшиносию риёзӣ ва методикаи таълими онҳо дар муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ» бахшида ба 20 солаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040). Душанбе, 2021.-С. 448-454.
- [16-М] **Исмонов, Ф.Д.** Обобщение экспериментальных данных по плотности водных растворов диоксида титана в зависимости от температуры и давления. / Ф.Д. Исмонов // Материалы 13 МТФШ, Душанбе, Тамбов, 2022.-С. 136-140.
- [17-М] **Исмонов, Ф.Д.** Интерпретация экспериментальных данных по динамической вязкости водных растворов диоксида титана  $TiO_2$  в зависимости от температуры и давления. / Х. Маджидов, Ф. Исмонов, З. Давлатов // Маводи конференсияи илмӣ - амалии чумхуриявӣ дар мавзӯи «Қорҳои риёзии ниёғони тоҷику форс Умари Хайём», Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибқорӣ Тоҷикистон, -с. 80-85.

## АННОТАЦИЯ

на диссертацию Исмонова Фируза Довудовича на тему «**Влияние наночастиц диоксида титана на изменение плотности воды**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

**Ключевые слова:** наночастицы, диоксид титана, плотность, вязкость, вода, температура, давление, концентрация, аппроксимационные зависимости, экспериментальные данные, интерпретация, экспериментальные установки, водные растворы.

**Объект исследования** – водные растворы, содержащие разные массовые концентрации наночастиц диоксида титана.

**Цель исследования** – исследование влияния наночастиц  $TiO_2$  на изменение плотности и динамической вязкости воды в зависимости от температуры, давления и концентрации наночастиц  $TiO_2$ .

**Методы исследования** – исследование плотности водных растворов, содержащих разные массовые концентрации наночастиц диоксида титана, проводилось на экспериментальной установке, основанной на методе гидростатического взвешивания, а для измерения динамической вязкости коллоидных растворов системы ( $H_2O+TiO_2$ ) при различных температурах и давлениях использована экспериментальная установка, разработанная профессором Голубевым И.Ф., основанная на высокосимметрическом методе.

**Полученные результаты и их новизна.** На созданных и модернизированных аппаратах впервые получены экспериментальные данные по плотности и вязкости системы наножидкостей (вода+наночастицы  $TiO_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) в интервале температур 283-433К и давлений 0,101 – 49,01 МПа. Дана интерпретация экспериментальных данных по плотности и вязкости системы (вода+наночастицы  $TiO_2$ ) в зависимости от температуры, давления и массовой концентрации наночастиц  $TiO_2$ . Получены аппроксимационные зависимости, описывающие плотность и вязкость наножидкостей системы (вода+наночастицы  $TiO_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) в зависимости от температуры и давления.

**Степень использования.** Результаты диссертационной работы являются новыми, базируются на строгих физико-химических утверждениях и экспериментальных исследованиях, которые рекомендуются в качестве расчетного и справочного материала при решении общих задач тепло- и массообмена, а также при разработке принципиально новых и более эффективных технологий создания теплотехнического оборудования. Они могут быть также использованы в образовательном процессе. Разработанные экспериментальные стенды могут быть использованы для экспресс определения плотности и вязкости технологических материалов в научных лабораториях.

**Область применения.** Полученные результаты экспериментальных исследований, эмпирических уравнений и уравнение состояния по плотности и термодинамическим свойствам воды и  $TiO_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%) в зависимости от температуры, давления и содержания  $TiO_2$  используются для инженерных расчетов в АООТ «Душанбинская ТЭЦ» с целью улучшения экономических, экологических и энергетических показателей теплоэнергетического оборудования. Получение эмпирических уравнений и уравнения состояния могут использоваться для инженерных расчетов, аспирантами для выполнения диссертационных работ и студентами, магистрантами, и докторантами при выполнении курсовых и дипломных работ и диссертаций.



## ШАРҲИ МУХТАСАРИ

рисолаи номзадии Исмонов Фирӯз Довудович дар мавзӯи «**Таъсири нанозарраҳои диоксида титан ба тағйироти зичӣ ва часпакии он**» барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникӣ бо таҳассуси 01.04.14 – Физикаи гармӣ ва назарияи техникаи гармӣ

**Калимаҳои калидӣ** – нанозарра, диоксида титан, зичӣ, часпакӣ, об ҳарорат, фишор, концентратсия, вобастагии аппроксиматсионӣ, қиматҳои таҷрибавӣ, интерпретатсия, дастгоҳи таҷрибавӣ, маҳлулҳои обӣ.

**Объекти тадқиқот** – маҳлулҳои обии дорои концентратсияи массавии гуногуни нанозарраҳои диоксида титан.

**Мақсади тадқиқот** – тадқиқ намудани таъсири нанозарраҳои  $TiO_2$  ба тағйироти зичӣ ва часпакии об вобаста ба ҳарорат, фишор ва концентратсияи массавии нанозарраҳои  $TiO_2$ .

**Методи тадқиқот** – тадқиқи зичии маҳлулҳои обии дорои концентратсияи массавии гуногуни нанозарраҳои диоксида титан ( $TiO_2$ ) дар дастгоҳи таҷрибавии ба методи баркашқунии гидростатикӣ асос карда шуда, гузаронида шуд, барои ченкунии часпакии динамикии маҳлулҳои коллоидии системаи ( $H_2O+TiO_2$ ) дар фишору ҳароратҳои гуногун аз дастгоҳи таҷрибавии коркардаи профессор Голубев И.Ф. ба методи вискозиметрӣ асос карда шуда, истифода бурда шудааст.

**Натиҷаҳои ба даст овардашуда ва навгониҳои он:** дар дастгоҳҳои таҷрибавии модернизатсия кардашуда бори аввал қиматҳои таҷрибавӣ доир ба зичӣ ва часпакии системаи наномоеъ (об+нанозарраҳои  $TiO_2$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) дар ҳудуди ҳароратҳои 283-433К ва фишорҳои 0,101-49,01МПа ба даст овардашуда шудааст. Қиматҳои таҷрибавӣ доир ба зичӣ ва часпакии системаи (об+нанозарраҳои  $TiO_2$ ) вобаста ба ҳарорат, фишор ва концентратсияи массавии нанозарраҳои  $TiO_2$  маънидод (интерперентатсия) карда шудаанд. Вобастагии аппроксиматсионӣ барои ҳисоб кардани зичӣ ва часпакии наномоеъҳои системаи (об+нанозарраҳои  $TiO_2$  (0,5%; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%)) вобаста ба ҳарорат ва фишор ҳосил карда шудаанд.

**Дараҷаи истифодабарӣ.** Натиҷаҳои кори диссертатсионӣ нав ба шумор мераванд, ба тасдиқоти физико-химиявии дақиқ ва қиматҳои эксперименталие, ки ба сифати маводи ҳисобӣ ва маълумотномавӣ ҳангоми ҳалли масъалаҳои умумии гармӣ ва массаивазқунӣ, инчунин ҳангоми коркарди технологияи асосан нав ва хеле самарабахш барои таъсири таҷҳизотҳои гармитехникӣ таъя мекунад, тавсия дода мешавад. Онҳо инчунин дар ҷараёни таълим истифода бурда мешаванд. Стендҳои таҷрибавии коркардашударо барои ба зудӣ муайян кардани зичӣ ва часпакии динамикии маводҳои технологӣ дар лабораторияҳои илмӣ истифода бурдан мумкин аст.

**Соҳаи истифодабарӣ.** Натиҷаҳои тадқиқоти эксперименталии бадаст овардашуда, муодилаҳои эмперикӣ ва муодилаҳои ҳолат доир ба зичӣ ва ҳосиятҳои термодинамикии об ва  $TiO_2$  (0,5%; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3%) вобаста ба ҳарорат, фишор ва концентратсияи массавии  $TiO_2$  барои ҳисобкуниҳои муҳандисӣ дар АООТ «НЭХ»-и Душанбе бо мақсади беҳтар намудани нишондодҳои иқтисодӣ, экологӣ ва энергетикӣ таҷҳизотҳои гармиэнергетикӣ истифода гардидааст. Аз муодилаҳои эмперикӣ ва муодилаҳои ҳолати ҳосил карда шуда, барои ҳисобкуниҳои муҳандисӣ, аз ҷониби бакалаврҳо, магистрҳо ва докторантҳо барои иҷроиши корҳои курсию дипломӣ ва диссертатсияҳо истифода бурдан мумкин аст.

## ABSTRACT

for the dissertation of Ismonov Firuz Dovudovich on the topic: "**The effect of titanium dioxide nanoparticles on the change in the density of water**", submitted for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 01.04.14 - Thermal physics and theoretical heat engineering

**Key words:** nanoparticles, titanium dioxide, density, viscosity, water, temperature, pressure, concentration, approximation dependences, experimental data, interpretation, experimental setups, aqueous solutions.

**The object of study** is aqueous solutions containing different mass concentrations of titanium dioxide nanoparticles.

**The purpose of the study** is to study the effect of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles on the change in the density and dynamic viscosity of water depending on the temperature, pressure and concentration of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles.

**Research methods** - the study of the density of aqueous solutions containing different mass concentrations of titanium dioxide nanoparticles was carried out on an experimental setup based on the hydrostatic weighing method, and to measure the dynamic viscosity of colloidal solutions of the system ( $\text{H}_2\text{O} + \text{TiO}_2$ ) at various temperatures and pressures, an experimental setup developed by Professor I. Golubev was used. F. based on the high meter method.

**The results obtained and their novelty.** Experimental data on the density and viscosity of a system of nanofluids (water +  $\text{TiO}_2$  nanoparticles (0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3%)) in the temperature range 283- 433K and pressures 0.101 - 49.01 MPa. An interpretation of the experimental data on the density and viscosity of the system (water +  $\text{TiO}_2$  nanoparticles) depending on the temperature, pressure, and mass concentration of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles is given. Approximation dependences have been obtained that describe the densities and viscosities of nanofluids of the system (water +  $\text{TiO}_2$  nanoparticles (0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3%)) depending on temperature and pressure.

**Degree of use.** The results of the dissertation work are new, based on strict physical and chemical statements and experimental studies, which are recommended as calculation and reference material in solving general problems of heat and mass transfer, as well as in developing fundamentally new and more efficient technologies for creating heat engineering equipment. They can also be used in the educational process. The developed experimental stands can be used for express determination of the density and viscosity of technological materials in scientific laboratories.

**Application area.** The obtained results of experimental studies, empirical equations and the equation of state for the density and thermodynamic properties of water and  $\text{TiO}_2$  (0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3%) depending on temperature, pressure and content  $\text{TiO}_2$  is used for engineering calculations at JSC "Dushanbe CHPP" in order to improve the economic, environmental and energy performance of thermal power equipment. Obtaining empirical equations and the equation of state can be used for engineering calculations, by graduate students to perform dissertations and by students, masters, and doctoral students when performing term papers and theses and dissertations.