

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
ТАДЖИКИСТАН**

**Таджикский государственный педагогический университет  
имени Садриддина Айни**

**УДК 536.32.64. (575.3)**

*На правах рукописи*



**РАДЖАБОВ Абдуджаббор Рузимадович**

**ВЛИЯНИЕ САЖИ НА ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА  
ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ И ПЛОТНОСТИ  
СИСТЕМЫ БЕНЗОЛА И КАСТОРОВОГО МАСЛА**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности: 01.04.14 - теплофизика и теоретическая  
теплотехника

**Душанбе - 2024**

**Работа выполнена на кафедре общей физики Таджикского государственного педагогического университета имени С. Айни.**

**Научный руководитель:** Сафаров Махмадали Махмадиевич - Заслуженный деятель науки и техники Таджикистана, Академик Международной инженерной академии, Академик Инженерной академии РТ, доктор технических наук, профессор.

**Официальные оппоненты:** Пономарев Сергей Васильевич – доктор технических наук, профессор, Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов).  
Гафоров Сатор – кандидат физико-математических наук, доцент, Кулябский государственный университет им. А. Рудаки.

**Ведущая организация:** Дангаринский государственный университет.

Защита состоится «03» «июня» 2024 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-041 при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими. Адрес: 734042, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых 10а. E-mail: d.s6d.koa.041@yandex.ru.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные печатью учреждения, просим отправлять по адресу: 734042, г. Душанбе, проспект акад. Раджабовых 10а, Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, ученому секретарю диссертационного совета 6D.KOA-041, к.т.н., доценту Тагоеву С.А.

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

**Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.**

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



**Тагоев С.А.**

## ВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** В ходе исследования были выполнены измерения плотности и коэффициента поверхностного натяжения растворов касторового масла и бензола при разнообразных температурных и давлением условиях. Эти параметры важны для понимания характеристик жидких систем и могут применяться в различных отраслях, включая промышленность, энергетику и биомедицину. Полученные результаты могут использоваться для улучшения производственных процессов, контроля качества и разработки новых материалов. Плотность и коэффициент поверхностного натяжения являются ключевыми физико-химическими параметрами, которые определяют характеристики жидкостей и растворов. В уравнениях гидродинамики и теплопередачи, они также играют важную роль, используемых при расчетах и проектировании различных процессов и устройств. Исследование физико-химических характеристик коллоидных наножидкостей и кластеров является важным для развития современной теории наножидкостей и постижения механизмов межмолекулярного взаимодействия в жидкостях и растворах, причем полученные результаты о плотности и коэффициенте поверхностного натяжения стали основой для современной молекулярно-кинетической теории растворов.

**Степень разработанности темы исследования.** По поверхностному натяжению и плотности бензола в жидком фазе и при фазовом переходе посвящена ряд работ, в том числе Нагашима, Ахундова, Р.А. Мустафаева, К.Д. Гусейнов, М.М. Сафарова, М.А. Зарипова, Дж.Н. Родель, Р.П. Таузен, Ф.Д. Россини и др.

**Цель работы:** экспериментальное изучени коэффициента поверхностного натяжения и плотности двухкомпонентных и трехкомпонентных систем «сажа + бензол + касторовое масло (до 0,5%)» при варьировании температуры в диапазоне от 293К до 473К и давления от 0,101МПа до 9,81 МПа.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи:**

1. Анализ и суммирование научно-технической и патентной литературы, связанной с объектом исследования диссертации.
2. Экспериментальные установки были использованы с целью определения коэффициента поверхностного натяжения и плотности растворов.
3. Было проведено определение коэффициента поверхностного натяжения и плотности растворов, при изменении температуры в

диапазоне от 293 К до 473 К и давления от 0,101 МПа до 9,81 МПа «бензол + технический углерод (до 0,5%) + касторовое масло».

4. Были разработаны эмпирические уравнения, учитывающие влияние температуры, давления и концентрации нанонаполнителя, а также учитывающие особенности структуры исследуемых систем, на коэффициент поверхностного натяжения и плотность растворов "бензол + касторовое масло + сажа",

5. Исследование зависимости коэффициента поверхностного натяжения от плотности для бинарных и тернарных растворов в различных условиях температуры и давлений, включающих диапазоны от 293 К до 473 К и от 0,101 МПа до 9,81 МПа.

6. Получение математического выражения в виде уравнения Тейта, позволяющего рассчитывать плотность исследуемых растворов на основе их состава и условий температуры и давления.

**Основное направление исследований:** - системы растворов, включающих бензол, технический углерод и касторовое масло.

**Исследование направлено** на анализ воздействия различных параметров, на свойства коэффициента поверхностного натяжения и плотности в системе растворов, таких как температура, давление и концентрация каждого компонента (бензола, технического углерода и касторового масла).

**Методы исследования:** в ходе выполнения диссертационной работы использовались методы пикнометрии и гидростатического взвешивания, в том числе методы, разработанные Голубевым И.Ф. и его учениками. Для анализа данных применялись теория подобия, пакеты программы Сигмаплот, Exsele, а также другие инструменты. Был разработан способ получения коэффициентов уравнения состояния типа Тейта и Мамедова-Ахундова, а также закона соответствующих состояний. В рамках исследования рассмотрены и использованы критерии Прандтля, Маха, Био, а также применена модель Леннарда–Джонса и другие теоретические модели для анализа полученных данных.

**Отрасль исследования:** теплофизика и теоретическая теплотехника.

**Исследование проведена** в период 2018-2023 годов подтверждает результаты независимых исследований благодаря высокой воспроизводимости измерений. Использование апробированных и протестированных приборов, а также физико-химических методов анализа, в совокупности с метрологическим обеспечением, минимизирует ошибки измерений. Это обеспечивает надежность и достовер-

ность полученных данных. Согласие результатов расчетов коэффициента поверхностного натяжения и плотности растворов подтверждает достоверность выводов и результатов исследования.

### **Научная новизна работы.**

1. Усовершенствованные приборы для оценки значений плотности и коэффициента поверхностного натяжения растворов (в том числе методы гидростатического взвешивания, использование пикнометра и метод капель) были адаптированы при разнообразных температурах и давлениях для проведения измерений данных характеристик.

2. Экспериментальные данные о коэффициенте поверхностного натяжения и плотности растворов, включая варьирование температуры в диапазоне от 293 до 473 К и давления от 0,101 до 9,81 МПа, были получены. Данные также включают анализ эффекта добавления сажи в пределах до 0,5%.

3. Создана методика, позволяющая проводить численные расчеты размеров частиц в анализируемых растворах и определять теплофизические свойства.

4. С целью прогнозирования плотности и коэффициента поверхностного натяжения бинарных и тернарных растворов, были разработаны эмпирические уравнения, корреляционные выражения и уравнения состояния. Была установлена взаимосвязь между характеристиками растворов при различных температурах (от 293 до 473 К) и давлениях (от 0,101 до 9,81 МПа).

5. Созданы методики вычисления в системе «бензол + касторовое масло + сажа», коэффициента поверхностного натяжения и плотности коллоидных растворов и определены параметры уравнения состояния типа Гейта для рассматриваемых коллоидных растворов. Было проведено статистическая анализ полученных результатов.

6. Основанные на уравнениях состояния типа Гейта и Мамедова-Ахундова, разработаны аппроксимационные модели  $\rho - p - T - m$ , а также выполнена статистическая обработка экспериментальных данных для описания свойств исследуемых систем.

7. Исследована связь между коэффициентом поверхностного натяжения и плотностью коллоидных растворов, содержащих бензол и сажу, при различных температурах (от 293 до 473 К) и давлениях (от 0,101 до 9,81 МПа), учитывая, как жидкую, так и газообразную фазу теплоносителя.

### **Теоретическая и практическая значимости исследования.**

1. Были составлены детальные таблицы, содержащие данные о плотности и коэффициенте поверхностного натяжения для бинарных и

тернарных растворов, в широком диапазоне температур (от 293 до 473 К) и давлений (от 0,101 до 9,81 МПа), состоящих из жидкого бензола, касторового масла и сажи. Эти результаты представляют практическую ценность для проектных организаций, в теплоэнергетике и машиностроении, поскольку они могут быть использованы для оптимизации процессов производства, разработки новых материалов и обеспечения надежности технических систем.

2. Информация о теплофизических и термодинамических характеристиках бинарных и тернарных систем технических растворов, которые было собранно справочные данные, представляет высокую ценность для инженерных расчетов, для различных механизмов и устройств в различных секторах промышленности и техники, для создания физических и математических моделей, а также определения оптимальных тепловых режимов.

3. Использование экспериментальных данных, является важным этапом в области нанотехнологий и физико-химических наук, по плотности и коэффициенту поверхностного натяжения наножидкостей при различных условиях температуры и давления для разработки эмпирических уравнений и уравнений состояния обеспечивая основу для создания моделей и прогнозирования поведения таких систем.

4. Основываясь на молекулярной структуре, проведено теоретическое обоснование прогнозирования коэффициента поверхностного натяжения и плотности исследуемых наножидкостей.

5. Оборудование для измерения плотности и коэффициента поверхностного натяжения растворов, успешно внедрено в академические и промышленные организации, разработанное в рамках данной работы, включая Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими и Институт промышленности Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан (акт о внедрение прилагается).

**Диссертационное исследование соответствует паспорту научной специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» в части п. 5 - «Экспериментальное и теоретическое исследование однофазной, свободной и принудительной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров поверхностей нагрева», в части п. 7 - «Экспериментальное и теоретическое исследование процессов передачи тепла и массы в бинарных и многокомпонентных смесях веществ», в части п. 9 - «Экспериментальное и теоретическое исследование теплофизических и термодинамических свойств наноматериалов».**

### **Главные идеи, представляемые для защиты:**

– расчеты коэффициента поверхностного натяжения и плотности с использованием уравнений состояния типа Тейта и Мамедова-Ахундова, при изменяющихся условиях температуры и давления, а также анализ процесса массопереноса в рассматриваемых системах.

– полученные аппроксимационные зависимости, позволяющие рассчитывать плотность системы «бензол + касторовое масло + наноразмерная сажа фракций (1-10) нм» в широком диапазоне температур (от 293 до 473 К) и давлений (от 0,101 до 9,81 МПа).

- предложенные инновационные технологии измерения плотности и коэффициента поверхностного натяжения наножидкостей, подтвержденные подтверждениями их применимости в зависимости от параметров температуры, давления и концентрации наночастиц, для анализа изменений плотности растворов.

- полученные результаты измерений коэффициента поверхностного натяжения и плотности бинарных и тернарных растворов в состоянии жидкости теплоносителя, при наличии сажи с размерами частиц от 1 до 10 нм, в широком диапазоне температур и давлений ( $T = 293-473$  К,  $P = 0.101-9.81$  МПа).

**Личный вклад автора.** В рамках диссертационного исследования автор внес существенный личный вклад, основанный на выборе методов и разработке алгоритмов для решения поставленных задач, также установлении основных закономерностей физико-химических процессов. Разработал критерии, связанных с получением теплоносителей, для анализа и оценки полученных результатов, связанных с получением теплоносителей. Все практические и теоретические результаты получены автором лично под руководством научного руководителя.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертации подчеркивая их значимость и актуальность, были представлены и обсуждены на научных конференциях. Эти мероприятия способствовали обмену опытом и получению обратной связи от коллег и экспертов в области: XIII МТФШ “Теплофизика и информационные технологии”, Душанбе-Тамбов (2022г); II International Conference "Gas Discharge Plasma and Synthesis of Nanostructures" (2021); I МНПК «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», Душанбе (2022 г.); Scientific collection “Interconference” Proceeding of the 1<sup>th</sup> International scientific and practical conference” Science, education, innovation. Topic issues and modern aspects, Manchester, Great Britan

(2020 г.); РНТК «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан», Душанбе (2020г); НПК ”Ломоносовские чтения”, Душанбе (2020 г.); Rostoc-2020, Germany (2020 г.); IARIA, 2CFR, ICQNM-2020, Ispane, Valenciya (2020); МНПК “Перспектива развития науки и образования”, ТТУ имени акад. М.С. Осими, Душанбе (2019г.); МНПК ”Электроэнергетика Таджикистана: актуальные проблемы и пути их решения”, Филиал МЭИ в г. Душанбе (2019 г.); МНК «Перспектива развития науки и образования», ТТУ имени акад. М.С. Осими (2019); РНПК “Математическое и компьютерное моделирование физических процессов”, г. Душанбе (2019 г.); МНК «Масъалаҳои муосири математика ва методикаи таълими он», г. Бохтар (2019г.); 6 МНТК студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосберегающие и эффективность в технических системах”, Тамбов (2019г.); МК “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, Махачкала (2019 г.); 4 МНК «Вопросы физической и координационной химии» (2019 г.); XV Joint European Thermodynamic Conference. Barsealone (2019г.); 11 МТФШ “Информационно-сенсорные системы в теплофизических исследованиях”, Тамбов (2018г); НПК “8 Ломоносовские чтения” Актуальные проблемы естественных и гуманитарных наук. Филиал МГУ в г. Душанбе (2018 г.); МНК “Молодые исследователи - регионам”, Вологда (2018г.); РКТС-15, Москва (2018); РНПК “Техника и технология: основные проблемы, достижения и инновации”, Душанбе (2018 г.); МНПК «Независимость - основа развития энергетики страны», Бохтар (2017 г.); 10 МТФШ “Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий”, Душанбе-Тамбов (2016г.); 2 МК “Газоразрядная плазма и синтез наноструктур” Россия, Казань, КНИТУ-КАИ (2021г.)

**Публикации:** Общее число публикаций составляет 30, из которых, 10 работ, опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан, из них одна статья написана единолично, также имеется на республиканских и международных конференциях 18 докладов, а также 2 малых патента, выданные в Республике Таджикистан.

**Структура и объём работы:** Диссертационная работа, обладает объемом в 186 страниц компьютерного текста, который включает анализ 149 наименований библиографических. В работе содержится четыре главы, 42 таблица и 42 рисунка, выводы, приложения, включающие 13 страниц.



## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражены применение результатов в практике и индивидуальный вклад автора, актуальность исследования, постановка целей и задач, научная оригинальность.

В первой главе исследования представлен обзор литературных данных о характеристиках бензола, касторового масла и сажи (углеродных наночастиц) с концентрацией до 0,5%, а также сформулированы задачи, стоящие перед исследованием.

Во второй главе работы представлены детальные описания и схематическое изображение экспериментальных установок, предназначенных для непосредственного анализа при разнообразных параметрах окружающей среды, температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения и плотности, а также проведена оценка точности полученных результатов.

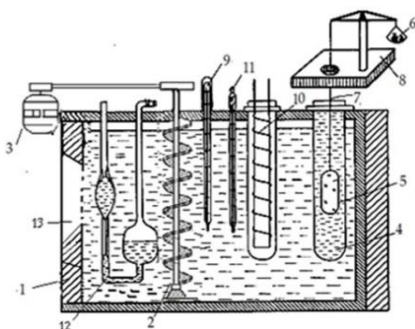
### Установка для измерения плотности жидкостей и растворов при атмосферном воздухе

Был выбран метод гидростатического взвешивания, при осознании значимости экспериментальных измерений в научных исследованиях, разработанный профессором И.Ф. Голубевым и его научной группой. На рисунке 1 показана установка для измерения плотности исследуемых объектов.

Мы использовали следующее уравнение, для измерения плотности объектов исследования:

$$\rho = \frac{G_1 - (G_1 - G_2)}{V_{\text{П}} - V_{\text{Н}}}, \text{ кг} / \text{ м}^3, \quad (1)$$

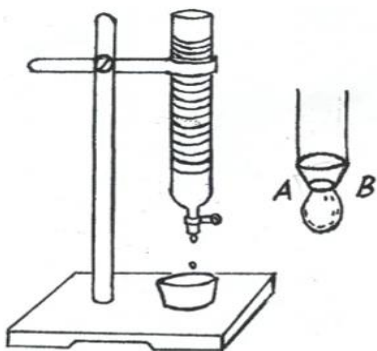
где  $\rho$  - плотность исследуемых образцов при температуре испытания,  $\text{кг} / \text{м}^3$ ;  $G_1$  - вес поплавка, подвешенный в воздухе;  $G_2$  - масса поплавка в исследуемом веществе,  $V_{\text{П}}$ ,  $V_{\text{Н}}$  - взвешенные объемы кварцевой и манганиновой проволоки.



**Рисунок 1.** Схема установки для определения плотности растворов при атмосферном давлении: 1 – термостат; 2 – мешалка; 3 – электродвигатель; 4 – камера с исследуемым объектом, 5 – поплавок; 6 – уравнивающие разновесы; 7 – манганиновая проволока; 8 – аналитические весы; 9 – контактный термометр, 10 – электронагреватель, 11 – термометр, 12 – вискозиметр; 13 – окошко

Были выполнены контрольные измерения, где в качестве объектов использовались бензол и н-гексан, для подтверждения правильной работы экспериментальной аппаратуры, что представляет собой существенный этап в гарантировании достоверности и точности полученных данных с точностью до  $\pm 0,072\%$ .

Специальная установка была разработана для изучения коэффициента поверхностного натяжения жидкостей и коллоидных растворов



**Рисунок 2.** Общий вид прибора для измерения коэффициента поверхностного натяжения

Для исследования поверхностного натяжения по методу отрыва капель (рис. 2) используется специальный экспериментальный стенд, состоящий из штатива, закрепленного на горизонтальной плите, а также стеклянной трубки с узким нижним концом. На стеклянной трубке имеются деления, предназначенные для контроля объема жидкости, проходящей через трубку. Этот метод

представляет собой важный инструмент для измерения поверхностного натяжения жидкостей и основан на принципе отрыва капель. Он широко применяется в физико-химических исследованиях, где точность измерений поверхностного натяжения играет решающую роль в понимании свойств жидкостей и их взаимодействия с окружающей средой.

**Третья глава** диссертации представляет собой экспериментальное исследование коэффициента поверхностного натяжения и плотности исследуемых бинарных и тернарных систем, при различных

температурах (от 293 до 473 К), «бензол-углеродные наночастицы (сажа)», при давлениях (от 0,101 до 9,81 МПа) и концентрациях сажи до 0,5%.

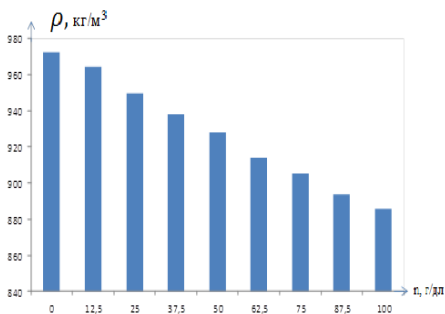
**Плотность бинарных растворов системы касторовое масло+ бензола в зависимости от концентрации второго компонента**

Таблица 1 и рисунок 3 содержат информацию о плотности жидкого бензола, как в его чистом состоянии, так и с примесью различных объемов наноразмерной сажи фракции (5-10 нм). Результаты экспериментов и расчетов демонстрируют совпадение в пределах погрешности опыта, составляющей 0,13%.

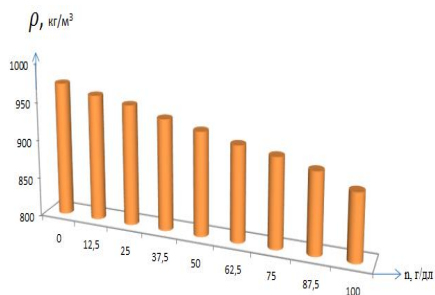
**Таблица 1.** – Значение плотности ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) бинарной системы «касторовое масло + бензол» в зависимости от концентрации второго компонента (бензола) (в трех измерениях).

п, %	100 (каст. масло)	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100 (бен- зол)
Первое измерения									
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	972,4	964,4	949,6	938	928	914	905,2	893,6	885,6
Второе измерения									
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	972,4	961,6	954,4	942,4	932,6	921,8	914	903,4	885,6
Третье измерения									
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	972,4	952	943,6	933,4	925,8	916,2	909,4	896,4	885,6

На основании полученных результатов, можно утверждать, что при атмосферном давлении и комнатной температуре, в зависимости от концентрации бензола, плотность бинарной системы "касторовое масло + бензол", демонстрирует убывающую динамику что характеризуется закономерностью, соответствующей экспоненциальному закону. Этот тип закономерности наблюдается при различных параметрах состояния, свидетельствуя о систематичности данного явления. Такой анализ позволяет лучше понять влияние концентрации компонентов на физико-химические свойства системы и представляет важные практические и научные выводы. Результаты измерения плотности бинарного раствора "касторовое масло + бензол" после  $t = 110, 5$  суток перемешивания при нормальном атмосферном давлении и комнатной температуре представлены на рисунке 4.



**Рисунок 3.** Плотности бинарной системы «касторовое масло + бензол» от изменении концентрации второго компонента при атмосферном давлении и комнатной температуре



**Рисунок 4.** Плотности бинарной системы «касторовое масло + бензол» после t=110,5 суток перемешивания при атмосферном давлении и комнатной температуре

**Коэффициент поверхностного натяжения в зависимости от концентрации второго компонента, двухкомпонентной системы «касторовое масло + бензол»**

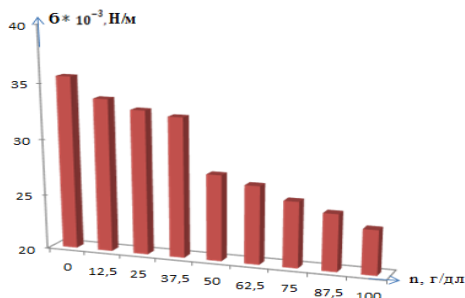
Данные о плотности наножидкостей при различных концентрациях представлены в таблице 2 и на графике 5 в результате проведенного экспериментального исследования.

Как отражено на рисунке 5, при атмосферном давлении и комнатной температуре, коэффициент поверхностного натяжения бинарной системы «касторовое масло + бензол» демонстрирует убывающую зависимость по экспоненциальному закону от концентрации. Отмечается, что коэффициент поверхностного натяжения бинарных растворов изменяется в зависимости от концентрации второго компонента, следовательно, от концентрации бензола.

**Таблица 2.** - Коэффициент поверхностного натяжения ( $\sigma$  \*  $10^{-3}$ , Н/м) При нормальном атмосферном давлении и стандартной комнатной температуре бинарной системы «касторовое масло + бензол»

п, %	100	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100
	кас. масло								бензол
Первое измерения									

$\sigma \cdot 10^{-3}, \text{Н/м}$	35,5	33,7	32,9	32,5	27,7	27	25,9	25,1	24
Второе измерения									
$\sigma \cdot 10^{-3}, \text{Н/м}$	35,5	35,5	32,5	31,8	31	29,6	28,1	27,4	24
Третье измерение, $t=110,5$ суток									
$\sigma \cdot 10^{-3}, \text{Н/м}$	35,5	34,8	33,3	31	29,58	28,11	26,63	24,4	24



**Рисуно 5.** Зависимости коэффициента поверхностного натяжения бинарной системы «касторовое масло + бензол» от концентрации второго компонента при атмосферном давлении и комнатной температуре

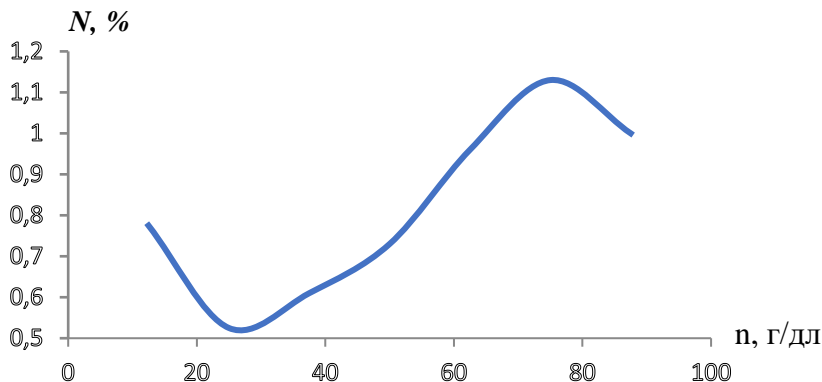
В таблице 3 приведены данные о плотностях растворов, состоящих из касторового масла и бензола, при различных значениях концентрации бензола. Измерения проводились при различных временах смешения, температурах и атмосферных давлениях.

Согласно, полученными данными о плотности растворов в рамках исследования с повышением концентрации второго компонента плотность растворов уменьшается по синусоидальному закону. Такое закономерность наблюдается в зависимости время выдержки или время смешения (рис. 6).

**Таблица 3.** - Зависимость изменение плотности  $\Delta\rho=|\rho_2-\rho_1|$ , при нормальном атмосферном давлении и стандартной комнатной температуре, после смешение бинарной системы «касторовое масло + бензол» после  $t=21,5$  суток.

n, %	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5
Первое измерения							
$\Delta\rho, \text{кг/м}^3$	9,8	9	7,8	4,6	4,4	4,8	2,8
Второе измерения							
$\Delta\rho, \text{кг/м}^3$	7	4,8	5,6	6,8	9	10,8	9,6
Третье измерения							
$\Delta\rho, \text{кг/м}^3$ бо % соотношения	1,09	0,99	0,85	0,49	0,47	0,5	0,29

Четвертое измерение							
$\Delta\rho$ , кг/м <sup>3</sup> бо % соотношения	0,775	0,525	0,61	0,73	0,96	1,13	1,0



**Рисунок 6. Зависимость изменение плотности двухкомпонентной системы «касторовое масло + бензол» при обычных значениях атмосферного давления и температуры в помещении, от концентрации второго компонента**

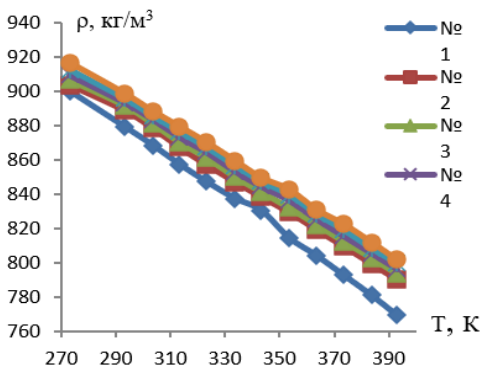
По увеличению концентрации бензола разность плотности изменяется по синусоидальному закону (как показано на графике 6). Минимум и максимум изменение плотности бинарных изучаемых растворов зависит от времени примешивания или время растворимости компонентов входящий в составе растворов.

По результатам измерений, представленных на рисунке 7 с использованием закона термодинамического подобия или закона соответствующих состояний для определения плотности растворов системы, состоящей из касторового масла и бензола, а также для системы коллоидных растворов (касторовое масло + бензол и 0,012 г сажи с  $d=5$  нм) получены следующие эмпирические зависимости:

$$\rho=972,4-0,896 n_{C_6H_6}, \text{ кг/м}^3; \quad (2)$$

$$\rho=979,2-0,885 n_{C_6H_6}, \text{ кг/м}^3. \quad (3)$$

С помощью эмпирических выражение (2 и 3) можно рассчитать плотности растворов системы касторовое масло и бензола с учетом 0,012 г сажи с  $d=5$  нм с погрешностью 0,09%. Для такого расчета необходимо знать концентрации бензола в бинарных и тернарных коллоидных растворов.



**Рисунок 7. Плотности бензола при различных температурах и концентрации сажи (фракции  $d=5$  нм) при атмосферном давлении: №1 – бензол х.ч.; №2 – бензол х.ч.+ 0,1% сажи; №3 – бензол х.ч.+0,2% сажи; №4 – бензол х.ч.+0,3% сажи; №5 – бензол х.ч.+ 0,4% сажи; №6 – бензол х.ч.+ 0,5% сажи**

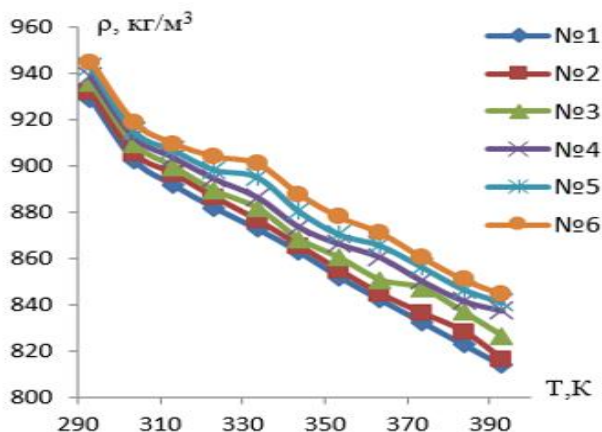
В табл. 4 и на рис. 8 представлены результаты экспериментального определения плотности бинарных и тернарных растворов бензола, при температуре в диапазоне от 293 до 393 К, смесь касторового масла и сажи и атмосферном давлении.

**Таблица 4.** - Плотность ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) трехкомпонентной системы касторового масла + бензола и наноразмерной сажи ( $d=5$  нм) (50% касторовое масло+50% бензол), при различных значениях температуры и постоянном атмосферном давлении.

Образец Т, К	№1 [120]	№2	№3	№4	№5	№6
293,2	928,8	936,6	940,8	943,6	947,6	949,5
303,6	902,4	910,3	914,5	917,7	919,6	923,2
313,2	891,5	901,4	904,5	908,6	911,7	914,5
323,0	881,8	891,3	894,3	899,5	903,3	908,8
333,6	872,6	881,4	886,6	891,4	900,0	905,7
343,7	862,7	870,3	873,3	878,5	885,3	892,6
353,4	851,9	859,8	865,3	871,2	875,4	882,8
363,5	842,0	849,5	855,6	865,3	872,6	875,0
373,4	832,5	841,4	852,2	855,3	861,4	865,5
383,7	822,6	832,3	841,7	846,5	851,6	855,8
393,0	813,8	821,5	831,6	842,3	846,0	849,5

Объекты: №1 - 50% касторовое масло + 50% бензол; №2 - 50% касторовое масло + 50% бензол + 0,1% сажи; №3 - 50% касторовое масло + 50% бензол + 0,2% сажи; №4 - 50% касторовое масло + 50% бензол + 0,3% сажи; №5 - 50%

касторовое масло + 50% бензол + 0,4% сажа; №6 - 50% касторовое масло + 50% бензол + 0,5% сажа.



**Рисунок 8.** Плотность системы «касторовое масло + бензол» при различных температурах с фракцией сажи  $d=5$ нм: №1 - касторовое масло+ бензол; №2 - касторовое масло+бензол+0,1% сажа; №3 - касторовое масло + бензол+0,2% сажа; №4 - касторовое масло + бензол+ 0,3% сажа; №5 - касторовое масло + бензол+0,4% сажа; №6 - касторовое масло + бензол+ 0,5% сажа

В химически чистый бензол и бинарный раствор (касторовое масло и бензол) внедрили до 0,5% сажи. Результаты показали, что с повышением температуры плотность исследуемых растворов уменьшается по прямолинейному или экспоненциальному закону. Для бензола - наблюдается снижение плотности на 14,53% при варьировании температуры в пределах от 293 до 393 К. Добавки наноразмерных частиц сажи приводит к росту плотности растворов.

### **Исследование воздействия температуры и концентрации наночастиц сажи на изменение плотности бензола и его растворов при атмосферном давлении**

Экспериментальное изучение плотности растворов, проведено, с применением пикнометрического метода и динамометра, в пределах температурного интервала (293-383) К при стандартном атмосферном давлении и различных концентрациях наноразмерной сажи (5 и 10 нм) от 0 до 0,5%. Для оценки плотности, использовано уравнение состояния



типа Тейта, при высоких параметрах состояния. Полученные результаты исследования представлены в таблице 5, обеспечивая полную информацию о зависимости плотности растворов от температуры, концентрации наноразмерной сажи и метода измерения.

Результаты измерений свидетельствуют влиянии концентрации наночастиц сажи и температуры на эту физическую характеристику, на основе бензола, о плотности коллоидных растворов.

**Таблица 5.** - Расчётно-экспериментальные значения плотности ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) растворов жидкого бензола и сажи, фракции  $d=5$  нм, при варьировании температуры при стандартном атмосферном давлении

Т, К	№1	№2	№3	№4	№5	№6
293,4	879,4	885,6	891,8	897,7	902,7	911,8
303,7	867,1	873,2	879,7	885,6	891,6	896,9
313,4	859,0	865,3	870,4	877,8	882,7	889,6
323,5	846,4	852,5	859,3	864,0	870,6	876,8
333,4	835,6	841,4	847,5	853,6	860,8	870,7
343,3	825,6	832,3	837,4	842,5	848,7	864,6
363,5	806,6	812,3	818,3	824,5	830,5	836,7
383,7	781,5	786,0	792,3	798,2	804,4	810,5

*Объекты: №1 - жидкий бензол х.ч.; №2 - жидкий бензол х.ч. +0,1% сажа; №3 - жидкий бензол х.ч. +0,2% сажа; №4 - жидкий бензол х.ч. +0,3% сажа; №5 - жидкий бензол х.ч. +0,4% сажа; №6 - жидкий бензол х.ч. +0,5% сажа.*

Обнаружено, что добавление наночастиц сажи приводит к повышению плотности растворов, в то время как увеличение температуры способствует её снижению. Более того, во всем диапазоне температур, повышение фракции наноразмерных частиц сажи также приводит к увеличению плотности растворов. При 293 К и атмосферном давлении, например, использование наночастиц сажи диаметром  $d = 5$  нм, вызывает увеличение плотности на 3,68%. Полученные результаты имеют значение для понимания влияния наночастиц и температуры на физические свойства коллоидных систем.

**В четвертой главе** произведен анализ экспериментальных данных, связанных с коэффициентом поверхностного натяжения и плотностью наножидкостей. Этот этап работы привел к формулированию уравнения состояния, аналогичного моделям Тейта и Мамедова-

Ахундова, применимого для изучаемых растворов. Для разнообразных значений температур ( $T = 293-473$  К) и давлений ( $P = 0,101-9,81$  МПа), были разработаны указанные уравнения, и концентраций до 0,5% углеродных частиц (сажи) в жидком состоянии теплоносителя.

### Обобщение экспериментальных данных по коэффициенту поверхностного натяжения и плотности бинарных и тернарных растворов

Использовались соответствующие математические модели, при нормальном атмосферном давлении, для агрегирования результатов экспериментов, относящиеся к плотности и коэффициенту поверхностного натяжения.

$$\frac{\rho}{\rho_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right); \quad \frac{\sigma}{\sigma_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (3)$$

где:  $\rho$ ,  $\sigma$ ,  $\rho_1$ ,  $\sigma_1$  - плотность, коэффициент поверхностного натяжения бинарных и тернарных растворов при температурах  $T$  и  $T_1 = 333$ К.

Используя пакет программы Matlab и графики зависимостей, были выявлены следующие аппроксимационные зависимости:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = 1,389 - 0,39\left(\frac{T}{T_1}\right); \quad (4)$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_1} = -0,58\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 0,88\left(\frac{T}{T_1}\right) + 0,69. \quad (5)$$

В уравнениях (4) и (5) оказалось, что значение  $\rho_1$  и  $\sigma_1$  являются функциями концентрации сажи (табл. 6).

**Таблица 6.** – Значения  $\rho_1$  и  $\sigma_1$  в зависимости от концентрации сажи  $\phi=10$  нм

Образцы	№1	№2	№3	№4	№5	№6
$\rho_1, \text{кг/м}^3$	807	811	813	817	820	824
$\sigma_1 * 10^{-3}, \text{Н/м}$	25,2	36,4	44,5	49,4	54,8	57,2

Образцы: №1 - бензол х.ч.; №2 - бензол х.ч. + 0,1% сажа; №3 - бензол х.ч. + 0,2% сажа; №4 - бензол х.ч. + 0,3% сажа; №5 - бензол х.ч. + 0,4% сажа; №6 - бензол х.ч. + 0,5% сажа.

Из уравнения (4) и (5) находим:

$$\rho = [1,389 - 0,39(T/T_1)]\rho_1^*, \text{кг/м}^3; \quad (6)$$

$$\sigma = [-0,58(T/T_1)^2 + 0,88(T/T_1) + 0,69]\sigma_1^*, \text{Н/м}. \quad (7)$$

Для обобщения результатов, приведенные и таблице 6 значения ( $\rho_1$ ,  $\sigma_1$ ) использовали следующие функциональные зависимости:

$$\rho_1/\rho_1^* = f(n_{\text{сажа}}/n_{\text{сажа}}^*); \quad (8)$$

$$\sigma_1/\sigma_1^* = f(n_{сажа}/n_{сажа}^*). \quad (9)$$

Формулы для расчета величин, приведенный в таблице 6 имеет следующие функциональные зависимости:

$$\rho_1/\rho_1^* = 0,012(n_{сажа}/n_{сажа}^*) + 0,988; \quad (10)$$

$$\sigma_1/\sigma_1^* = 0,01(n_{сажа}/n_{сажа}^*) + 0,99. \quad (11)$$

Из уравнения (10) и (11) получим следующее выражения:

$$\rho_1 = \{0,012(n_{сажа}/n_{сажа}^*) + 0,988\}\rho_1^*; \quad (12)$$

$$\sigma_1 = \{0,01(n_{сажа}/n_{сажа}^*) + 0,99\}\sigma_1^*. \quad (13)$$

В уравнениях (12) и (13) функциями размеров наночастиц, являются, значение  $\rho_1^*$  и  $\sigma_1^*$ , введенных в жидком бензоле. Полученные линии описываются выражениями:

$$(\rho_1^*) = (d+839), \text{ кг/м}^3; \quad (14)$$

$$(\sigma_1^*) = (0,9d+41,5) 10^{-3}, \text{ Н/м}. \quad (15)$$

Уравнение (8) и (9) с учетом выражение (14) и (15) принимают вид:

$$\rho = [1,389 - 0,39(T/T_1)]\{0,012(n_{сажа}/n_{сажа}^*) + 0,988(d+839), \text{ кг/м}^3; \quad (16)$$

$$\sigma = [1,44 - 0,44(T/T_1)] * \{0,01(n_{сажа}/n_{сажа}^*) + 0,99\} (0,9d+41,5) 10^{-3}, \text{ Н/м}. \quad (17)$$

Мы можем провести численный анализ и определить плотность и коэффициент поверхностного натяжения бинарных и трехкомпонентных коллоидных растворов, используя уравнения (16) и (17), на основе бензола и касторового масла при различных температурах (273-343 К) с добавлением наночастиц сажи при атмосферном давлении. Согласно формулам (16) и (17) для проведения такого расчета требуются значения температуры и концентрации сажи, введенной в системы бензола и касторового масла, выраженной в процентном соотношении.

Уравнение (16) с учетом выражение (14)-(15) принимает вид:

$$\rho = [1,389 - 0,39(T/T_1)] * \{0,069(n_{сажа}/n_{сажа}^*)^2 + 0,108(n_{сажа}/n_{сажа}^*) + 0,799\} (d+839), \text{ кг/м}^3. \quad (18)$$

Из результатов полученным численных расчетов, с использованием уравнения (18), по аппроксимационным зависимостям плотности, видно, что среднеквадратическая погрешность составляет всего 0,6%, что указывает на высокую точность расчетов.

Коэффициент поверхностного натяжения соответственно:

$$\sigma = [2,87 - 1,87(T/T_1)] * \{0,11(n_{сажа}/n_{сажа}^*) + 0,89\}(0,17d+25,1)10^{-3}, \text{ Н/м} \quad (19)$$

Результаты численных расчетов с использованием уравнения (19) демонстрируют согласованность с экспериментальными данными средней погрешностью 0.34%.

**В приложении** представлены таблицы, необходимые для оценки точности измерений коэффициента поверхностного натяжения и плотности исследуемых наножидкостей, с подробным сравнительным

анализом результатов авторских вычислений и аппроксимационных зависимостей от температуры и давления для коэффициента поверхностного натяжения и плотности наножидкостей.

## ВЫВОДЫ

1. Исследован комплексный набор данных по коэффициенту поверхностного натяжения и плотности бинарных и трехкомпонентных растворов, основанных на касторовом масле и бензоле с добавлением сажи. Анализ проведен в различных условиях температуры и давления с использованием широкого набора методик, отраженных в цитируемой литературе [3-А, 5-А, 6-А, 8-А, 9-А, 10-А, 12-А, 13-А, 14-А, 18-А, 20-А, 22-А].

2. Впервые получены экспериментальные значения плотности и коэффициента поверхностного натяжения системы жидкого бензола, бинарных и трёхкомпонентных растворов с наноразмерными фракциями сажи при температурах  $T=293-433\text{K}$  и давлении  $P=0,101-9,81\text{МПа}$ . Проектные фирмы применяют эти данные для инженерного моделирования и расчетов [3-А, 5-А, 6-А, 8-А, 9-А, 10-А, 12-А, 13-А, 14-А, 18-А, 20-А, 22-А].

3. В ходе исследования было продемонстрировано, что плотность и коэффициент поверхностного натяжения рассматриваемых растворов изменяются по мере изменения температуры и давления. Изменение давления при постоянной температуре приводит к уменьшению исследуемых параметров, в то время как увеличение температуры при постоянном давлении приводит к их увеличению. Было также выявлено, что влияние давления и массовой концентрации сажи на эти параметры возрастает с ростом температуры. Кроме того, была обнаружена закономерность изменения указанных параметров как относительно базовой жидкости, так и на линии насыщения [3-А, 5-А, 6-А, 8-А, 9-А, 10-А, 12-А, 13-А, 14-А, 18-А, 20-А, 22-А].

4. При анализе и обобщении экспериментальных данных о плотности и коэффициенте поверхностного натяжения коллоидных систем, были разработаны аппроксимационные и корреляционные выражения, состоящих из касторового масла, бензола и сажи. Эти выражения позволяют установить взаимосвязь между указанными характеристиками исследуемых систем, что имеет важное значение для понимания и предсказания их свойств в различных условиях. Аппроксимационные и корреляционные выражения являются результатом глубокого анализа экспериментальных данных и представляют собой математические модели, отражающие зависимости между коэффициентом поверхностного натяжения и составом исследуемых коллоидных систем [3-А, 5-А, 6-А, 8-А, 9-А, 10-А, 12-А, 13-А, 14-А, 22-А].

5. Являются полезными инструментами, полученные аппроксимационные зависимости и уравнения состояния для оценки свойств неисследованных растворов, включающих бензол и касторовое масло, с добавлением сажи мелкодисперсной структуры (5-10 нм), что позволяет проводить

прогнозирование характеристик этих систем. Эти модели могут применяться в широком диапазоне изменения параметров состояния, включая температуру, давление и массовую концентрацию сажи, что обеспечивает возможность проведения прогнозных расчетов и оценки поведения системы без необходимости проведения экспериментальных исследований [1-А, 3-А, 5-А, 7-А, 9-А, 10-А, 12-А, 13-А, 15-А, 18-А, 20-А, 22-А, 23-А].

6. Введенные аппроксимационные зависимости и уравнения состояния для наножидкостей на кафедрах "Общая физика" ТГПУ имени С. Айни и "Теплотехника и теплоэнергетика" ТТУ имени академика М.С. Осими активно применяются, для проведения расчетов калорических характеристик исследуемых коллоидных растворов. [1-А, 3-А, 5-А, 7-А, 9-А, 10-А, 12-А, 13-А, 15-А, 18-А, 20-А, 22-А, 23-А, 28-А, 29-А]. Эти модели применяются среди студентов, аспирантов и магистрантов университетов ТГПУ имени С. Айни, БГУ имени Н. Хусрава и ТТУ имени академика М.С. Осими (акт о внедрение результатов прилагается).

7. Составлены детальные таблицы, содержащие сведения о плотности и коэффициенте поверхностного натяжения исследуемых коллоидных наножидкостей, при различных условиях температуры (293 - 433) К и давлении (0,101-9,81) МПа и массовой концентрации сажи. Эти таблицы представляют важные данные, которые могут быть полезны в инженерных расчетах и проектировании теплообменных систем и процессов. [1-А, 3-А, 5-А, 7-А, 9-А, 10-А, 12-А, 13-А, 15-А, 18-А, 20-А, 22-А, 23-А - 30-А].

#### ***Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы исследования диссертационной работы***

1. Разработаны детальные таблицы, в широком диапазоне температур (300-440 К), давлений (0,101-9,81 МПа) охватывающие плотность и коэффициент поверхностного натяжения наножидкостей и концентраций наночастиц сажи. В различных технологических и теплообменных процессах, эти данные могут быть применены

2. Аппроксимационные зависимости и уравнения состояния, полученные исследователями, активно применяются студентами, магистрантами и аспирантами в учебной и научной деятельности на кафедрах "Общая физика" и "Теплотехника и теплоэнергетика" в университетах ТГПУ имени С. Айни, БГУ имени Н. Хусрава и ТТУ имени академика М.С. Эти инструменты используются для расчета калорических характеристик наножидкостей в рамках курсов общей физики и теплотехники.

3. Результаты также могут быть применены при определении теплоемкости растворов, для проведения необходимых расчетов различий, результаты исследования, содержащих наночастицы сажи, по сравнению с другими растворителями.

4. Результаты также имеют значение для развития микроскопической теории процессов переноса в таких материалах, экспериментальные и расчетные данные о коэффициенте поверхностного натяжения и плотности жидких растворов с наночастицами сажи.

5. Аппроксимированные зависимости и уравнения состояния могут использоваться для прогнозирования свойств растворов на основе бензола и касторового масла с добавлением наночастиц сажи при изменении условий эксплуатации (температуры, давления, массовой концентрации сажи).

**Основные результаты диссертации изложены в следующих публикациях:**

***Статьи в изданиях, рекомендуемые ВАК при Президенте РТ и ВАК РФ***

[1-А]. **Раджабов, А.Р.** Теплофизические свойства некоторых углеродных материалов / М.М. Сафаров, Х.Х. Назаров, **А.Р. Раджабов** // Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/4(216), -С.40-45.

[2-А]. **Раджабов, А.Р.** Плотность системы полистирола и бензола в зависимости от времени растворимости и концентрации полистирола / М.М. Сафаров, А. Ньёматов, А.Р. Раджабов // Вестник ТНУ, Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/3 (216), - С.73-77

[3-А]. **Раджабов, А.Р.** Взаимосвязь между диэлектрической проницаемостью и плотностью растворов системы бензол и диизопропиловый эфир при атмосферном давлении и комнатной температуре / М.М. Сафаров, Д.Ш. Хакимов, А.Р. Раджабов // Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. Душанбе, №2 (38) – 2017. - С.22-32.

[4-А]. **Раджабов, А.Р.** Взаимосвязь между динамической вязкостью и коэффициентом преломления света растворов в зависимости от температуры при атмосферном давлении / М.М. Сафаров, Р.Дж. Давлатов, А.Р. Раджабов // Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. Душанбе, №4(40) – 2017. С.17-27.

[5-А]. **Раджабов, А.Р.** Влияние бензола на поведение удельной теплоёмкости диизопропилового эфира / М.М. Сафаров, Д.Ш. Хакимов, А.Р. Раджабов // Воронежский научно-технический вестник. -2017. -Т.4, №4 (22). – С. 59-67.

[6-А]. **Раджабов, А.Р.** Анализ применимости уравнения типа Тэйта к различным классам веществ в конденсированном состоянии на примере плотности / М.М. Сафаров, М.М. Гуломов, А.Р. Раджабов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2018. №2: Душанбе, 2018. -С. 92-98.

[7-А]. **Раджабов, А.Р.** Влияние одностенных углеродных нанотрубок на изменение динамической вязкости растворов системы бензол-диизопропиловый эфир / Д.Ш. Хакимов, А.Р. Раджабов, М.М. Сафаров / Вестник

Филиала МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе, Серия естественных наук, г. Душанбе. 1(2) 2018. - С. 71-79.

**[8-А]. Раджабов, А.Р.** Плотность системы «касторовое масло» в зависимости от концентрации бензола при атмосферном давлении и комнатной температуре // М.М. Сафаров, Д.Ш. Хакимов, А.Р. Раджабов / Вестник ТНУ, Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2018 № 4. - С.76-83.

**[9-А]. Раджабов, А.Р.** Исследование теплопроводности и показатель преломления света системы бензола и изопропилового эфира / Д.Ш. Хакимов, М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов // Вестник ТТУ. Душанбе, 2022, № 4/11. -С. 50.

**[10-А]. Раджабов, А.Р.** Поверхностное натяжение и плотность коллоидных систем касторового масла и бензола / А.Р. Раджабов // Вестник БГУ им. Н. Хусрава. Серия естественных наук, 2/1 (108), Бохтар-2023. -С. 89-92.

#### *Малые патент Республики Таджикистан*

**[11-А]. Раджабов, А.Р.** Устройства для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей / М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.Р. Раджабов // Патент РТ, № TJ 923, 2017. -5 с.

**[12-А]. Раджабов, А.Р.** Комплексная солнечная установка для получения тепловой и электрической энергии/ М.М. Сафаров, Ф. Абдужалилзода, А.Р. Раджабов, Б.М. Махмадиев // Патент РТ, № TJ 919, 2017. -5 с.

#### *Статьи в материалах конференций*

**[13-А]. Раджабов, А.Р.** Вклад нанотрубок и сажи на поведение реологических и термодинамических свойств простых эфиров и хладагентов / Д.Ш. Хакимов, М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов / 6 МНТК студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосберегающие и эффективность в технических системах”, Тамбов, 3-5 июня 2019. - С. 169 -170.

**[14-А]. Раджабов, А.Р.** Влияние наночастиц углеродные нанотрубки и сажи на изменение термодинамических свойств простых эфиров и хладагентов / Д.Ш. Хакимов, М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов / Материалы МК “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, Махачкала, 15- 20 сентября 2019. -С. 180-181.

**[15-А]. Раджабов, А.Р.** Уравнение типа Тейта для расчета плотности жидкостей, растворов при различных температурах и давлениях / М.М. Гуломов, М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов / Материалы НПК “8 Ломоносовские чтения” Актуальные проблемы естественных и гуманитарных наук. Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе. -27-28 апреля 2018, -С. 34-38.

[16-А]. Раджабов, А.Р. Определение коэффициента поверхностного натяжения растворов методом Ребиндера / М.М. Сафаров, А. Неъматов, А.Р. Раджабов / Сб.15 РКТС-15,15-17 октября 2018г. -С. 137.

[17-А]. Раджабов, А.Р. Влияние концентрации полистирола на поведение коэффициента поверхностного натяжения бензола / М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, С.С. Рафиев // Материалы МНПК «Независимость - основа развития энергетики страны», 22-23 декабря 2017 г., г. Бохтар. - С. 102-112.

[18-А]. Раджабов, А.Р. Влияние одностенных углеродных нанотрубок на изменение плотности растворов системы бензол-изопропиловый эфир при нормальном состоянии / М.М. Сафаров, М.М. Гуломов, Б.А., А.Р. Раджабов // Материалы 4 МНК «Вопросы физической и координационной химии», 3-4 мая 2019. -С. 221-227.

[19-А]. Раджабов, А.Р. Влияние сажи на изменение плотности системы касторовое масла и бензола в зависимости от времени растворимости / М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, Б.А. Тимеркаев // Материалы РНПК “Математическое и компьютерное моделирование физических процессов”, 25 октября 2019, г. Душанбе. -С. 139-142.

[20-А]. Раджабов, А.Р. Поверхностное натяжение системы касторовое масло и бензола при нормальных условиях / М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, Д.Ш. Хакимов // Материалы МНК «Перспектива развития науки и образования», ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2019. -С. 45-48

[21-А]. Раджабов, А.Р. Изменение поверхностного натяжения системы касторовое масло и бензола в зависимости от времени растворения / М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, Д.Ш. Хакимов // Матер. МНПК” Электроэнергетика Таджикистана”, 19.12.2019, Филиал МЭИ в г. Душанбе. -С. 267-270.

[22-А]. Раджабов, А.Р. Поверхностное натяжение системы касторовое масло и бензол при нормальных условиях / М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, Д. Ш. Хакимов, Б.А. //Материалы МНПК “Перспектива развития науки и образования“. ТТУ имени акад. М.С. Осими, Душанбе, 2019. - С. 45-48.

[23-А]. Раджабов, А.Р. Влияние сажи на изменение поверхностное натяжение системы касторовое масла-бензола при атмосферном давлении и комнатной температуры / М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, Д.Ш. Хакимов //Материалы РНПК «Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физики». ТНУ, Душанбе. 2020. -С. 83-86.

[24-А]. Раджабов, А.Р. Исследование поверхностного натяжения системы касторового масла и бензола при различном времени растворения / М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов и др. // Материалы 10 НПК” Ломоносовские чтения”, Душанбе, 25-26 сентября 2020г.- С. 58-62.



**[25-A]. Раджабов, А.Р.** Плотность системы касторового масла и бензола в зависимости от времени растворения / М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, Х.Х. Назарзода // Сб. РНТК «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан», 12-14 сентября 2020 г. - С. 175-178.

**[26-A]. Rajabov, A.R.** Experimental study of the density of ternary systems based on castor oil depending on the dissolution time / М.М. Safarov, A.R. Rajabov, S.S. Abdunazarov // Proceeding of the 1<sup>th</sup> ISPC, №3(39), 26-28, Desember, 2020, Manchester, Great Britan, - pp. 1466-1470 (РИНЦ).

**[27-A]. Раджабов, А.Р.** Поверхностное натяжение коллоидных систем касторового масла и бензола / М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, Д.Ш. Хакимов // Сб. 2 МК “Газоразрядная плазма и синтез наноструктур” Россия, Казань, КНИТУ-КАИ, 1-4 декабря 2021г. - С. 316-318.

**[28-A]. Раджабов, А.Р.** Влияние сажи на изменение коэффициента поверхностного натяжения системы касторового масла и бензола / А.Р. Раджабов, Д.Ш. Хакимов, Б.А. Тимеркаев // Сб. тр. I МНПК «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», 30-31 марта 2022 г., Душанбе. - С. 182-186.

**[29-A]. Rajabov, A.R.** Surface Tension of Colloid Systems of Castor Oil and Benzene at P=0.101 MPa / М.М. Safarov, A.R. Rajabov, D.S. Hakimov // Journal of Physics: Conference Series, doi:10.1088/1742-6596/2270/1/012006, - бр.

**[30-A]. Раджабов, А.Р.** Влияние сажи на изменение коэффициента поверхностного натяжения и плотности жидкого касторового масла / М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, Б.А. Тимеркаев // Материалы XIII МТФШ “Теплофизика и информационных технологии”, 17-20 октября 2022 г. Душанбе-Тамбов. - С. 106-109.

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН**

**Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон  
ба номи Садриддин Айни**

*РУД 536.32.64. (575.3)*

*Бо ҳуқуқи дастнавис*



**РАҶАБОВ Абдучаббор Рузимадович**

**ТАЪСИРИ ДУДА БА ТАҒЙИРЁБИИ КОЭФФИТСИЕНТИ  
КАШИШИ САТҲӢ ВА ЗИЧИИ СИСТЕМАҲОИ БЕНЗОЛ ВА  
РАВҒАНИ МУСҲИЛ (КАСТОР)**

**АВТОРЕФЕРАТИ**

**рисола барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникаӣ аз рӯи  
ихтисоси 01.04.14 - физикаи ҳарорат ва назарияи техникаи гармо**

**Душанбе – 2024**

**Рисола дар кафедраи физикаи умумии Донишгоҳи давлатии  
омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айнӣ иҷро шудааст.**

**Роҳбари илмӣ:** Сафаров Махмадалӣ Махмадиевич -  
Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон,  
Академики академияи байналмилалӣ  
муҳандисӣ, Академики академияи  
муҳандисии Ҷумҳурии Тоҷикистон,  
доктори илмҳои техникӣ, профессор

**Муқарризони расмӣ:** Пономарев Сергей Василевич – доктори  
илмҳои техникӣ, профессор, Донишгоҳи  
давлатии техникий Тамбов (ш. Тамбов).  
Ғафоров Сатор – номзоди илмҳои физи-  
ка-математика, Донишгоҳи давлатии  
Кӯлоб ба номи А. Рӯдакӣ.

**Муассисаи пешбар:** Донишгоҳи давлатии Данғара

Ҷимояи рисола баргузор мегардад: “03” июни с. 2024, дар ҷаласаи  
шурои диссертатсионии 6D.KOA-041, назди Донишгоҳи техникий  
Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. Суроға: 734042, ш.  
Душанбе, хиёбони акад. Раҷабовҳо 10а, e-mail: [d.s6d.koa.041@yandex.ru](mailto:d.s6d.koa.041@yandex.ru)

Тақризи ба автореферат (дар ду нусха), ки бо мӯҳри муассиса  
тасдиқ шудаанд, ба суроғаи зерин фиристода шаванд: 734042, ш.  
Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо 10а, Донишгоҳи техникий  
Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ба котиби илмӣ шӯрои  
диссертатсионии 6D.KOA-041, н.и.т., дотсент Тағоев С.А.

Бо диссертатсия дар китобхонаи донишгоҳи техникий Тоҷикистон  
ба номи академик М. С. Осимӣ ва дар сомонаи расмӣ донишгоҳ шинос  
шудан мумкин аст: <http://ttu.tj>

**Авореферат санаи:** « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **с. 2024**, ирсол шудааст

**Котиби илмӣ**  
**шурои диссертатсионии 6D.KOA-041,**  
**номзоди илмҳои техникӣ, дотсент**



**Тағоев С.А.**

## ТАВСИФОТИ УМУМИИ РИСОЛА

**Муҳимияти кор.** Дар чараёни тадқиқот ченкунии зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳии маҳлули равғани муҳсил (кастор) ва бензол дар ҳудудҳои гуногуни ҳарорат ва фишор анҷом дода шуд. Ин параметрҳо барои фаҳмидани хусусиятҳои системаҳои моеъ муҳиманд ва метавонанд дар соҳаҳои гуногун, аз ҷумла саноат, энергетика ва тибби биологӣ татбиқ карда шаванд. Натиҷаҳо метавонанд барои такмил додани равандҳои истехсолӣ, назорати сифат ва таҳияи маводи нав истифода шаванд. Зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳӣ параметрҳои муҳими физикию химиявӣ мебошанд, ки хусусиятҳои моеъҳо ва маҳлулҳоро муайян мекунанд. Дар муодилаҳои гидродинамика ва гармимубодилакунӣ, онҳо инчунин нақши муҳим мебозанд, ки дар ҳисобкунӣ ва тарроҳии равандҳо ва дастгоҳҳои гуногун истифода мешаванд. Тадқиқи хусусиятҳои физикию химиявии наномоеъҳо ва кластерҳои коллоидӣ барои рушди назарияи муосири наномоеъҳо ва дарки механизмҳои таъсири байнимолекулавӣ дар моеъҳо ва маҳлулҳо муҳим аст, ки натиҷаҳои бадастомада оид ба зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳӣ барои назарияи муосири молекулавӣ-кинетикӣ маҳлулҳо асос гардиданд.

**Дарачаи таҳияи мавзӯи тадқиқот.** Ба тадқиқи коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии бензол дар фазаи моеъ ва ҳангоми гузариши фаза як қатор корҳо, аз ҷумла корҳои Нагашим, Ахундов, Мустафоев Р.А., Ҳусеинов К.Д., Сафаров М.М., Зарипова М.А., Родел Ч.Н., Таузен Р.П., Россини Ф.Д. ва дигарон бахшида шудаанд.

**Мақсади кор:** тадқиқи таҷрибавии коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии системаи дукомпонентӣ ва секомпонентии “дуда+бензол + равғани муҳсил (то 0,5%) ҳангоми тағйирёбии ҳарорат аз 293 К то 473 К ва фишор аз 0,101 МПа то 9,81 МПа.

Барои расидан ба ҳадафи гузошташуда **вазифаҳои** зерин ҳал карда шудаанд:

1. Таҳлил ва чамъбасти адабиёти илмӣ-техникӣ ва патентӣ, ки бо объекти тадқиқоти рисола алоқаманд аст.

2. Истифодаи дастгоҳҳои таҷрибавӣ бо мақсади муайян кардани коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии маҳлулҳои тадқиқшаванда.

3. Муайян кардани коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии маҳлулҳои “бензол + карбони техникӣ (то 0,5%) + равғани муҳсил” ҳангоми тағйирёбии ҳарорат дар доираи аз 293 К то 473 К ва фишор аз 0,101 МПа то 9,81 МПа.

4. Ҳосил намудани муодилаҳои эмпирикӣ, ки таъсири ҳарорат, фишор ва консентратсияи нанопуркунанда, инчунин хусусиятҳои

сохтори системаҳои тадқиқшавандаро ба коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии маҳлулҳои “бензол + равгани муҳсил + дуда” ба назар мегиранд.

5. Тадқиқи вобастагии коэффитсиенти кашиши сатҳӣ аз зичии маҳлулҳои бинарӣ ва тернарӣ дар шароити гуногуни ҳарорат ва фишор, аз ҷумла ҳудуди аз 293 К то 473 К ва аз 0,101 МПа то 9,81 МПа.

6. Ҳосил намудани ифодаи математикӣ дар шакли муодилаи Тейт, ки он имкон медиҳад, зичии маҳлулҳои тадқиқшавандаро вобаста ба таркиб, ҳарорат ва фишор ҳисоб карда шавад.

**Самти асосии тадқиқот:** системаҳои маҳлулҳо, ки бензол, карбони техникӣ ва равгани муҳсилро дар бар мегиранд.

Тадқиқот ба таҳлили таъсири параметрҳои гуногун, ба монанди ҳарорат, фишор ва концентратсияи ҷузъҳо (бензол, карбони техникӣ ва равгани муҳсил) ба коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии системаи маҳлулҳо равона шудааст.

**Усулҳои тадқиқот:** дар рафти иҷрои рисолаи илмӣ усулҳои пикнометрия ва баркашии гидростатикӣ, аз ҷумла усулҳои таҳиякардаи Голубев И.Ф. ва шогирдони ӯ истифода шуданд. Барои таҳлили натиҷаҳо назарияи монандӣ, бастаҳои барномаи Сигмаплот, Excele ва дигар усулҳо истифода шуданд. Усули ҳосилкунии коэффитсиентҳои муодилаи ҳолати навъи Тейт ва Мамедов-Ахундов, инчунин қонуни ҳолатҳои монанд таҳия карда шуд. Дар доираи тадқиқот меъёрҳои Прандтл, Мах, Био баррасӣ ва истифода шуданд, инчунин модели Леннард-Чонс ва дигар моделҳои назариявӣ барои таҳлили натиҷаҳои гирифташуда истифода шуданд.

**Соҳаи тадқиқот:** физикаи ҳарорат ва назарияи техникаи гармо.

**Тадқиқот дар давраи** солҳои 2018-2023 гузаронида шуд. Натиҷаҳои гирифташударо тадқиқоти мустақил ва тақроршавии баланди ченкунӣ тасдиқ мекунад. Истифодаи асбобҳои санҷидашуда, инчунин усулҳои физикию химиявӣ таҳлил, дар яқҷоягӣ бо таъминоти метрологӣ, ҳатоғҳои ченкуниро кам мекунад. Ин эътимоднокӣ ва дурустии натиҷаҳои гирифташударо таъмин мекунад. Мувофиқати натиҷаҳои ҳисобкуниҳои коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии маҳлулҳо дурустии ҳулосаҳо ва натиҷаҳои тадқиқотро тасдиқ мекунад.

**Навоварии илмии кор.**

1. Асбобҳои такмилёфта барои ченкунии қиматҳои зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳии маҳлулҳо (аз ҷумла усули баркашии гидростатикӣ, пикнометр ва усули қатра) дар ҳароратҳо ва фишорҳои гуногун барои чен кардани ин параметрҳо мутобиқ карда шудаанд.

2. Маълумоти таҷрибавӣ дар бораи коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии маҳлулҳо, аз ҷумла вобаста ба тағирёбии ҳарорат дар ҳудудҳои аз 293 то 473 К ва фишор аз 0,101 то 9,81 МПа ба даст оварда шудааст. Маълумот инчунин таҳлили таъсири илова кардани дударо дар доираи то 0,5% дар бар мегирад.

3. Усули ҳисобкуниҳои ададии андозаи зарраҳо дар маҳлулҳои таҳлилшаванда ва муайян кардани хосиятҳои гармофизикӣ таҳия шудааст.

4. Бо мақсади пешгуи зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳии маҳлулҳои бинарӣ ва тернарӣ, муодилаҳои эмпирикӣ, ифодаҳои коррелятсионӣ ва муодилаҳои ҳолат ҳосил карда шудаанд. Алоқамандии байни хосиятҳои маҳлулҳо дар ҳарорат (аз 293 то 473 К) ва фишорҳои гуногун (аз 0,101 то 9,81 МПа) муқаррар карда шудааст.

5. Усулҳои ҳисобкунӣ дар системаи “бензол + рағғани мусҳил + дуда”, коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии маҳлулҳои коллоидӣ таҳия шудаанд ва параметрҳои муодилаи ҳолати навъи Тейт барои маҳлулҳои коллоидии баррасишаванда муайян карда шудаанд. Таҳлили омории натиҷаҳои бадастомада гузаронида шудааст.

6. Дар асоси муодилаҳои ҳолати навъи Тейт ва Мамедо-Ахундов, моделҳои аппроксиматсионӣ таҳия карда шуданд, инчунин коркарди омории маълумоти таҷрибавӣ барои тавсифи хосиятҳои системаҳои тадқиқшаванда иҷро карда шудааст.

7. Алоқамандии байни коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии маҳлулҳои коллоидии дорои бензол ва дуда дар ҳарорат (аз 293 то 473 К) ва фишорҳои гуногун (аз 0,101 то 9,81 МПа) бо назардошти ҳолати моеъгӣ ва гармибаранда тадқиқ карда шуданд.

#### **Аҳамияти назариявӣ ва амалии тадқиқот.**

1. Ҷадвалҳои муфассали маълумотҳо оид ба зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳӣ барои маҳлулҳои бинарӣ ва тернарӣ дар доираи васеи ҳарорат (аз 293 то 473 К) ва фишор (аз 0,101 то 9,81 МПа), ки аз бензоли моеъ, рағғани мусҳил ва дуда иборат аст, тартиб дода шудаанд. Ин натиҷаҳо барои ташкилотҳои лоиҳасозӣ, дар соҳаи энергетикаи гармо ва муҳандисӣ арзиши амалӣ доранд, зеро онҳо метавонанд барои самарабахшгардонии равандҳои истеҳсоли, ҳосилкунии маводи нав ва таъмини эътимоднокии системаҳои техникӣ истифода шаванд.

2. Маълумот дар бораи хусусиятҳои гармофизикӣ ва термодинамикӣ системаҳои маҳлули бинарӣ ва тернарӣ, ки ҳамчун маълумотнома ҷамъоварӣ шудаанд, барои ҳисобкуниҳои муҳандисӣ, механизмҳо ва дастгоҳҳои гуногун дар бахшҳои гуногуни саноат ва

технология, эҷоди моделҳои физикӣ ва математикӣ ва муайян кардани речаҳои самараноки гармӣ арзиши баланд доранд.

3. Истифодаи натиҷаҳои таҷрибавӣ оид ба зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳии наномоеъҳо, дар шароити гуногуни ҳарорат ва фишор, як марҳилаи муҳим дар соҳаи нанотехнология, илмҳои физика ва химия барои таҳияи муодилаҳои эмпирикӣ ва муодилаҳои ҳолат мебошад, ки барои эҷоди моделҳо ва пешгуи рафтори чунин системаҳо замина фароҳам меорад.

4. Сохтори молекулавиро асос намуда, назариявии пешгуи коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии наномоеъҳои тадқиқшаванда пешниҳод шудааст.

5. Натиҷаҳои ҷен кардани зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳии маҳлулҳо дар ташкилотҳои академӣ ва саноатӣ, аз ҷумла Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ ва Институти саноати Вазорати саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон бомуваффақият ҷорӣ карда шуданд (санадҳои татбиқ замима гардидааст).

**Тадқиқоти диссертатсионӣ** ба шиносномаи ихтисоси илмӣ 01.04.14 - Физикаи ҳарорат ва назарияи техникаи гармо мувофиқ аст, дар б. 5 – “Тадқиқоти таҷрибавӣ ва назариявии конвексияи якфаза, озод ва маҷбурӣ дар ҳудудҳои васеи хосиятҳои гармибарандаҳо, параметрҳои речавӣ ва геометрии сатҳҳои гармидиханда”, дар б. 7 – “Тадқиқоти таҷрибавӣ ва назариявии равандҳои интиқоли гармӣ ва масса дар омехтаҳои бинарӣ ва бисёркомпонентаи моддаҳо, дар б. 9 - “Тадқиқоти таҷрибавӣ ва назариявии хосиятҳои гармофизикӣ ва термодинамикии наноматериалҳо”.

#### **Идеяҳои асосии барои химоя пешниҳодшуда:**

- ҳисобкунӣҳо бо истифода аз муодилаҳои ҳолати навӣ Тейт ва Мамедов-Ахундов, дар ҳудудҳои тағйирёбии ҳарорат ва фишор, оид ба коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичӣ, инчунин таҳлили раванди массамубодилакунӣ дар системаҳои тадқиқшаванда;

- вобастагиҳои аппроксиматсионии ба даст овардашуда, ки имкон медиҳанд, зичии системаи "бензол + рағани муҳил + дудаи наноандоза бо фраксияҳои (1-10) нм" дар доираи васеи ҳарорат (аз 293 то 473 К) ва фишор (аз 0,101 то 9,81 МПа) ҳисоб карда шавад;

- технологияҳои инноватсионии пешниҳодшудаи ҷенкунии зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳии наномоеъҳо, ки истифодаи онҳо вобаста ба параметрҳои ҳарорат, фишор ва консентратсияи нанозарраҳо барои таҳлили тағйирёбии зичии маҳлулҳо тасдиқ ёфтаанд;

- натиҷаҳои ченкунии коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии маҳлулҳои бинарӣ ва тернарӣ дар ҳолати моеъгии гармибаранда, ҳангоми мавҷудияти дуда бо андозаи зарраҳо аз 1 то 10 нм, дар доираи васеи ҳарорат ва фишор ( $T = 293$  ва  $473$  К,  $P = 0.101$  ва  $9.81$  МПа) оварда шудааст.

**Саҳми шахсии муаллиф.** Дар доираи тадқиқот муаллиф саҳми назарраси шахсӣ оид ба интиҳоби усулҳо ва таҳияи алгоритмҳо барои ҳалли масъалаҳои гузошташуда, инчунин муқаррар кардани қонуниятҳои асосии равандҳои физикию химиявӣ гузоштааст. Метёрҳои марбут ба ҳосилкунии гармибарандаҳо, таҳлил ва арзёбии натиҷаҳои ба даст овардашударо вобаста ба ҳосилкунии гармибарандаҳо таҳия кардааст. Ҳамаи натиҷаҳои назариявӣ ва амалӣ аз ҷониби муаллиф шахсан таҳти роҳбарии роҳбари илмӣ ба даст оварда шудааст.

**Баррасии рисола.** Муқаррароти асосӣ ва натиҷаҳои рисола бо таъкид ба аҳамияти онҳо дар конфронсҳои илмӣ пешниҳод ва муҳокима карда шудаанд. Ин чорабиниҳо ба мубодилаи таҷриба ва ғирифтани фикру мулоҳизаҳо аз ҳамкорон ва коршиносони соҳа мусоидат кардаанд: XIII ОХГФ “Физикаи гармо ва технологияҳои итлоотӣ”, Душанбе-Тамбов (2022); II International Conference "Gas Discharge Plasma and Synthesis of Nanostructures" (2021); I КБИА «Дурнамои инкишофи тадқиқот дар соҳаи химияи пайвастагиҳои координатсионӣ ва ҷанбаҳои истифодаи онҳо», Душанбе (2022); Scientific collection “Interconference” Proceeding of the 1<sup>th</sup> International scientific and practical conference” Science, education, innovation. Topic issues and modern aspects, Manchester, Great Britan (2020); КЧИТ «Асосҳои ривҷебӣ ва дурнамои илми химия дар Ҷумҳурии Тоҷикистон», Душанбе (2020); КИА “Ҳониши Ломоносовӣ”, Душанбе (2020); Rostoc-2020, Germany (2020); IARIA, 2CFP, ICQNM-2020, Ispane, Valenciya (2020); КБИА “Дурнамои ривҷи илм ва маориф”, ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ, Душанбе (2019); КБИА “Электроэнергетикаи Тоҷикистон: мушкилот ва роҳҳои ҳалли онҳо”, Филиали ДЭМ дар ш. Душанбе (2019); КЧИА “Тамсиласозии математикӣ ва компютериҳои равандҳои физикӣ”, ш. Душанбе (2019); КБИ «Масъалаҳои муосири математика ва методикаи таълими он», ш. Бохтар (2019); 6 КБИТ донишҷӯён, олимон ва мутахассисони ҷавон “Сарфаҷӯӣ ва самаранокии энергия дар системаҳои техникӣ”, Тамбов (2019); КБ “Гузаришҳои фазавӣ, ҳодисаҳои бухронӣ ва ғайрихаттӣ дар муҳитҳои моеъ”, Махачкала (2019); 4 КБИ «Масъалаҳои зимияи физикӣ ва координатсионӣ» (2019); XV Joint Evropian Thermodynamic Conference. Barselone (2019); 11 МБФГ



“Системаҳои иттилоотӣ-сенсорӣ дар тадқиқоти гармофизикӣ”, Тамбов (2018); КИА “8 Хониши Ломоносовӣ” Мушкилоти илмҳои табиӣ ва ҷамъиятӣ. Филиал ДДМ дар ш. Душанбе (2018); КБИ “Тадқиқотчиёни ҷавон – ба минтақаҳо”, Вологда (2018); РКТС-15, Москва (2018); КҶИА “Техника ва технология: мушкилоти асосӣ, дастовардҳо ва навоарихо”, Душанбе (2018); КБИА «Истиқлолият – асоси ривочи энергетикаи малакат», Бохтар (2017); 10 МБФГ “Тадқиқот ва ҷангунмиҳои гармофизикӣ ҳангоми назорати сифати моддаҳо, мавод ва маснуот”, Душанбе-Тамбов (2016); 2 КБ “Плазмаи газоразрядӣ ва синтези наносохторҳо” Россия, Қазон, ДМТТК (КНИГУ-КАИ) (2021).

**Интишорот:** шумораи умумии корҳои илмӣ 30 ададро ташкил медиҳад, ки 10-тои он дар маҷаллаҳои илмӣ тавсиянамудаи ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр шудаанд, аз инҳо як мақола танҳо навишта шудааст, инчунин дар конферонсиҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ 18 маъруза пешниҳод шуда, 2 патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон гирифта шудааст.

**Сохтор ва ҳаҷми кор:** Рисола аз 186 саҳифаи матни компютерӣ иборат мебошад, ки таҳлили 149 номгӯи библиографиро дарбар мегирад. Рисола аз 4 боб, 42 ҷадвал ва 42 расм, хулосаҳо ва замимаҳо, ки 13 саҳифаро ташкил медиҳанд, иборат аст.

## МАЗМУНИ АСОСИИ РИСОЛА

Дар муқаддима истифодаи натиҷаҳо дар амал ва саҳми инфиродии муаллиф, аҳамияти тадқиқот, муқаррар кардани ҳадафҳо ва вазифаҳо, аслияти илмӣ инъикос ефтааст.

Дар боби якуми рисола шарҳи маълумоти адабиётҳо дар бораи ҳосиятҳои бензол, рағани мусхил ва дуда (нанозарраҳои карбон) бо концентратсияи то 0,5% оварда шудааст ва инчунин вазифаҳои пеш аз тадқиқот тартиб дода шудаанд.

Дар боби дуюми кор тавсифи муфассал ва тасвири схемавии дастгоҳҳои таҷрибавӣ, ки барои таҳлили бевосита дар параметрҳои гуногуни муҳити атроф, вобастагии ҳароратии коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичӣ таъин шудаанд, инчунин арзёбии дақиқии натиҷаҳои бадастомада пешниҳод карда шудааст.

### **Дастгоҳҳо барои ҷен кардани зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳии моеъҳо ва маҳлулҳо дар ҳавои атмосферӣ**

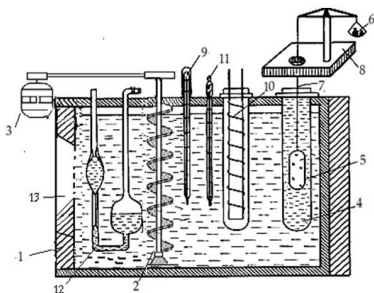
Усули баркашии гидростатикӣ ҳангоми дарки аҳамияти ҷангуниҳои таҷрибавӣ дар тадқиқоти илмӣ, ки аз ҷониби профессор И.Ф. Голубев ва гурӯҳи илмӣ ӯ таҳия шудааст, интиҳоб карда шуд. Дар расми 1

дастгоҳ барои чен кардани зичии объектҳои таҳқиқшаванда нишон дода шудааст.

Мо барои ҳисоб кардани зичии объектҳои таҳқиқшаванда ифодаи зеринро истифода бурдем:

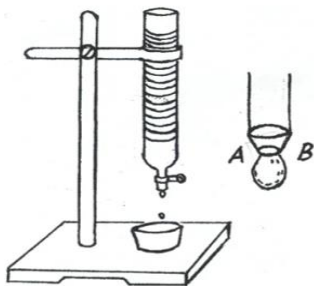
$$\rho = \frac{G_1 - (G_1 - G_2)}{V_{II} - V_H}, \text{ кг/м}^3, \quad (1)$$

дар ин ҷо:  $\rho$  - зичии намунаҳои таҳқиқшаванда дар ҳарорати озмоишӣ,  $\text{кг/м}^3$ ;  $G_1$  - вазни шиноварак, ки дар ҳаво овезон карда шудааст;  $G_2$  - вазни шиноварак дар моддаи таҳқиқшаванда,  $V_{II}$ ,  $V_H$  - ҳаҷмҳои шиновари кварсӣ ва ноқили манганинӣ.



Расми 1. Схеми дастгоҳ барои муайян кардани зичии маҳлулҳо дар фишори атмосферӣ: 1 - термостат; 2 - омехтакунак; 3 - муҳаррики барқӣ; 4 - камера бо объекти таҳқиқшаванда; 5 - шиноварак; 6 - борҳои мувзинаткунанда; 7 - сими манганинӣ; 8 - тарозуи аналитикӣ; 9 - ҳароратсанҷи контактӣ, 10 - гармкунаки барқӣ, 11 - ҳароратсанҷ, 12 - вискозиметр; 13 - тиреза

Ченкуниҳо гузаронида шуд, ки дар он бензол ва н-гексан ҳамчун объект барои тасдиқи кори дурусти дастгоҳҳои таҷрибавӣ истифода шуданд, ки ин марҳилаи муҳим дар кафолати эътимоднокӣ ва дақиқии маълумоти гирифташуда бо дақиқии то  $\pm 0,072\%$  мебошад.



Расми 2. Намуди умумии асбоб барои чен кардани коэффитсиенти кашиши сатҳӣ

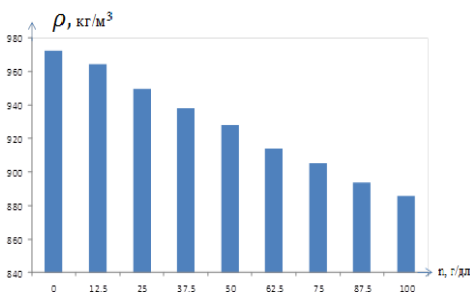
Дастгоҳи махсус барои омӯзиши коэффитсиенти кашиши сатҳии моеъҳо ва маҳлулҳои коллоидӣ таҳия шудааст. Барои таҳқиқи коэффитсиенти кашиши сатҳӣ бо усули ҷудо кардани қағраҳо (расми 2) стени махсуси таҷрибавӣ иборат аз штатив, ки дар асоси уфуқӣ мустаҳкам карда шудааст ва лӯлаи шишагини поёнаш борик истифода шуд. Дар лӯлаи шишагӣ тақсимоте мавҷуд аст, ки барои назорати ҳаҷми моеъ, ки аз лӯла мегузарад, пешбинӣ шудааст. Ин усул воситаи муҳим барои чен кардани кашиши сатҳии моеъҳо мебошад ва ба принципи қандашавии қағраҳо асос ёфтааст. Он дар таҳқиқоти физикӣ ва химиявӣ васеъ истифода мешавад, ки дар он дақиқии ченкунии кашиши сатҳӣ дар фаҳмидани хосиятҳои моеъҳо ва таъсири мутақобилаи онҳо бо муҳити агроф нақши ҳалқунанда мебозад.

### Зичии маҳлулҳои бинарии система равғани мусҳил + бензол вобаста ба консентратсияи чузьи дујум

Қадвали 1 ва расми 3 маълумотро дар бораи зичии бензоли моеъ, ҳам дар ҳолати тоза ва ҳам бо омехтаи ҳаҷмҳои гуногуни дудай наноандоза бо фраксияи 5-10 нм дар бар мегирад. Натиҷаҳои озмоишҳо ва ҳисобкунӣҳо дар доираи ҳамогии таҷриба, ки 0,13% - ро ташкил медиҳад, мувофиқатро нишон медиҳанд.

**Қадвали 1.** – Қиматҳои зичӣ ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>)-и системаи бинарии “равғани мусҳил + бензол” вобаста ба консентратсияи чузьи дујум (бензол) (дар се ченкунӣҳо)

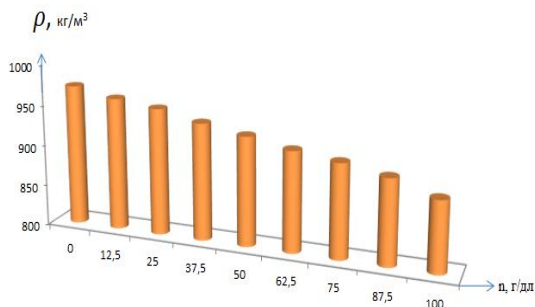
n, %	100 (равғани мусҳил)	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100 (бензол)
Ченкунии якум									
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	972,4	964,4	949,6	938	928	914	905,2	893,6	885,6
Ченкунии дујум									
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	972,4	961,6	954,4	942,4	932,6	921,8	914	903,4	885,6
Ченкунии сеюм									
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	972,4	952	943,6	933,4	925,8	916,2	909,4	896,4	885,6



**Расми 3.** Вобастагии зичии системаи “равғани мусҳил + бензол” аз консентратсияи бензол дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати хона

Дар асоси натиҷаҳои бадастомада, метавон гуфт, ки дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати хона, вобаста ба консентратсияи бензол, зичии системаи бинарии “равғани мусҳил + бензол” динамикаи коҳишбандаро нишон медиҳад, ки бо қонуниятҳои мувофиқ ба экспоненсиалӣ хос аст. Ин намуди қонуният дар параметрҳои гуногуни ҳолат мушоҳида мешавад, ки аз системавии ин падида шаҳодат медиҳад. Чунин таҳлил имкон медиҳад, ки таъсири консентратсияи чузъҳо ба хосиятҳои физикию химиявии система беҳтар фаҳмида шавад ва ҳулосаҳои муҳими амалӣ ва илмӣ пешниҳод карда шаванд. Натиҷаҳои ченкунии зичии маҳлули бинарии “равғани мусҳил +

бензол" пас аз  $t = 110,5$  рӯзи омехтакунӣ дар фишори муқаррарии атмосферӣ ва ҳарорати хона дар расми 4 оварда шудааст.



**Расми 4. Вобастагии зичии системаи бинарии "равғани мусхил + бензол" пас аз  $t=110,5$  рӯзи омехтакунӣ дар фишори атмосфера ва ҳарорати хона**

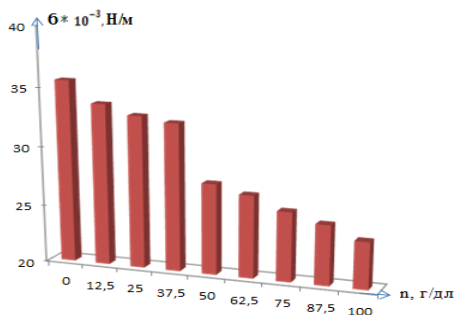
**Коэффитсиенти кашиши сатҳии системаи бинарии "равғани мусхил + бензол" вобаста ба концентратсияи чузъи дуҷум**

Натиҷаи тадқиқоти таҷрибавӣ оид ба қиматҳои зичии наномоеҷҳо бо концентратсияҳои гуногун дар ҷадвали 2 ва расми 5 оварда шудаанд.

Тавре ки дар расми 5 инъикос ефтааст, дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати хона, коэффитсиенти кашиши сатҳи системаи бинарии "равғани мусхил + бензол" вобастагии камшавии қонуни экспоненсиалиро аз концентратсия нишон медиҳад. Бояд қайд намуд, ки коэффитсиенти кашиши сатҳии маҳлулҳои бинарӣ вобаста ба концентратсияи чузъи дуҷум, яъне аз концентратсияи бензол тағйир меёбанд.

**Ҷадвали 2.** - Коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ( $B \cdot 10^{-3}$ , Н/м)-и системаи бинарии "равғани мусхил + бензол" дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати хона

n, %	100 равғани мусхил	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100 бензол
Ченкунии якум									
$B \cdot 10^{-3}$ , Н/м	35,5	33,7	32,9	32,5	27,7	27	25,9	25,1	24
Ченкунии дуҷум									
$B \cdot 10^{-3}$ , Н/м	35,5	35,5	32,5	31,8	31	29,6	28,1	27,4	24
Ченкунии сеюм, баъди $t=110,5$ шабонарӯз									
$B \cdot 10^{-3}$ , Н/м	35,5	34,8	33,3	31	29,58	28,11	26,63	24,4	24

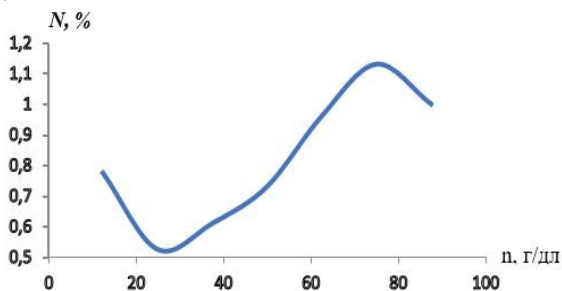


**Расми 5. Вобастагии коэфф-фитсиенти кашиши сатҳии системаи бинарии "равғани мусхил + бензол" аз консен-тратсияи чузъи дуум дар фи-шори атмосферӣ ва ҳарорати хона**

Дар ҷадвали 3 маълумот дар бораи зичии маҳлулҳои иборат аз равғани мусхил ва бензол бо қиматҳои гуногуни консентратсияи бензол оварда шудааст. Ченкуниҳо вобаста ба вақтҳои гуногуни омехтакунии ва ҳарорат дар фишори атмосферӣ гузаронида шудааст. Мувофиқи маълумоти гирифташуда оид ба зичии маҳлулҳо, дар доираи тадқиқот, бо баланд шудани консентратсияи чузъи дуум зичии маҳлулҳо тибқи қонуни синусоидаӣ тағйир меёбад. Чунин қонуният вобаста ба вақти нигоҳдорӣ ё вақти омехтакунии низ дида мешавад (расми 6).

**Ҷадвали 3.** - Вобастагии тағйирёбии зичӣ ( $\Delta\rho=|\rho_2-\rho_1|$ ) дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати хона, пас аз омехтакунии системаи бинарии "равғани мусхил + бензол" пас аз **t=21,5 рӯз.**

n, %	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5
<b>Ченкунии якум</b>							
$\Delta\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	9,8	9	7,8	4,6	4,4	4,8	2,8
<b>Ченкунии дуум</b>							
$\Delta\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7	4,8	5,6	6,8	9	10,8	9,6
<b>Ченкунии сеюм</b>							
$\Delta\rho$ , кг/м <sup>3</sup> бо % нисбат	1,09	0,99	0,85	0,49	0,47	0,5	0,29
<b>Ченкунии чорум</b>							
$\Delta\rho$ , кг/м <sup>3</sup> бо % нисбат	0,775	0,525	0,61	0,73	0,96	1,13	1,0



**Расми 6. Вобастагии тағйирёбии зичии системаи дукомпонентии равғани мусҳил + бензол дар қиматҳои маълумии фишори атмосферӣ ва ҳарорати хона, аз консентратсияи чузъи дуҷум**

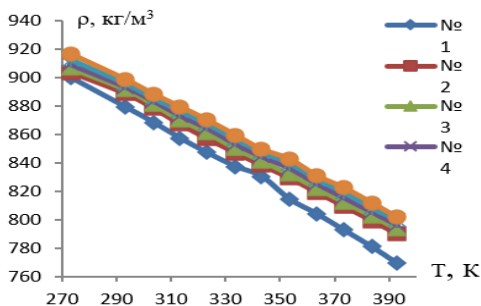
Аз рӯи афзоиши консентратсияи бензол фарқияти зичӣ аз рӯи қонуни синусоида тағйир меебад (тавре ки дар графики 6 нишон дода шудааст). Минимум ва максимуми тағйирёбии зичии маҳлулҳои бинарӣ аз вақти омехта ё вақти ҳалшавандагии чузъҳои таркиби маҳлулҳо вобаста аст.

Аз рӯи натиҷаҳои ҷенкунӣ дар расми 7 бо истифода аз қонуни монандии термодинамикӣ ё қонуни ҳолатҳои мувофиқоварӣ барои муайян кардани зичии маҳлулҳои системаи иборат аз равғани мусҳил ва бензол, инчунин барои системаи маҳлулҳои коллоидӣ (равғани мусҳил + бензол ва 0,012 г дуда бо  $d=5$  нм) вобастагҳои эмпирикии зерин ба даст оварда шудаанд:

$$\rho = 972,4 - 0,896 \rho_{C_6H_6}, \text{ кг/м}^3; \quad (2)$$

$$\rho = 979,2 - 0,885 \rho_{C_6H_6}, \text{ кг/м}^3. \quad (3)$$

Бо ёрии ифодаҳои эмпирикии (2) ва (3) зичии маҳлулҳои системаи “равғани мусҳил ва бензол”-ро бо назардошти 0,012 г дуда бо  $d=5$  нм бо ҳатогии 0,09% ҳисоб кардан мумкин аст. Барои чунин ҳисобкунӣ, консентратсияи бензолро дар маҳлулҳои коллоидии бинарӣ ва тернарӣ доништан зарур аст.



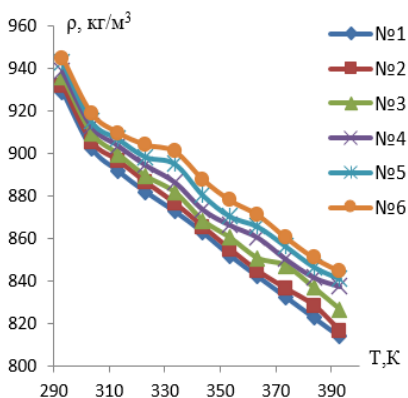
**Расми 7. Зичии бензол дар ҳароратҳои гуногун ва консентратсияи дуда (фраксияи  $d=5$  нм) хангоми фишори атмосферӣ: №1 бензоли х. т.; №2 бензоли х. т.+ 0,1% дуда; №3 бензоли х. т.+0,2% дуда; №4 бензоли х. т.+0,3% дуда; №5 бензоли х. т.+0,4% дуда; №6 бензоли х. т.+ 0,5% дуда**

Дар ҷадвали 4 ва расми 8 натиҷаҳои муайянкунии таҷрибавии зичии маҳлулҳои бинарӣ ва тернарии бензол, бо омехтаи рағғани муҳсил ва дуда, дар ҳарорати аз 293 то 393 К ва фишори атмосферӣ пешниҳод карда мешаванд.

**Ҷадвали 4.** - Зичӣ ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>)-и системаи тернарии рағғани муҳсил + бензол ва дудай наноандоза ( $d=5$  нм) (50% рағғани муҳсил+50% бензол) дар қиматҳои гуногуни ҳарорат ва фишори доимии атмосферӣ

Объект T, K	№1 [120]	№2	№3	№4	№5	№6
293,2	928,8	936,6	940,8	943,6	947,6	949,5
303,6	902,4	910,3	914,5	917,7	919,6	923,2
313,2	891,5	901,4	904,5	908,6	911,7	914,5
323,0	881,8	891,3	894,3	899,5	903,3	908,8
333,6	872,6	881,4	886,6	891,4	900,0	905,7
343,7	862,7	870,3	873,3	878,5	885,3	892,6
353,4	851,9	859,8	865,3	871,2	875,4	882,8
363,5	842,0	849,5	855,6	865,3	872,6	875,0
373,4	832,5	841,4	852,2	855,3	861,4	865,5
383,7	822,6	832,3	841,7	846,5	851,6	855,8
393,0	813,8	821,5	831,6	842,3	846,0	849,5

Объектҳо: №1 - 50% рағғани муҳсил + 50% бензол; №2 - 50% рағғани муҳсил + 50% бензол + 0,1% дуда; №3 - 50% рағғани муҳсил + 50% бензол + 0,2% дуда; №4 - 50% рағғани муҳсил + 50% бензол + 0,3% дуда; №5 - 50% рағғани муҳсил + 50% бензол + 0,4% дуда; №6 - 50% рағғани муҳсил + 50% бензол + 0,5% дуда.



**Расми 8.** Зичии системаи рағғани муҳсил + бензол дар ҳарорати гуногун бо фраксияи дуда = 5 нм: №1 - 50% рағғани муҳсил + 50% бензол; №2 - 50% рағғани муҳсил + 50% бензол + 0,1% дуда; №3 - 50% рағғани муҳсил + 50% бензол + 0,2% дуда; №4 - 50% рағғани муҳсил + 50% бензол + 0,3% дуда; №5 - 50% рағғани муҳсил + 50% бензол + 0,4% дуда; №6 - 50% рағғани муҳсил + 50% бензол + 0,5% дуда

Дар бензоли химиявӣ тоза ва маҳлули бинарӣ (равгани мусхил ва бензол) то 0,5% дуда ворид карда шудааст. Натиҷаҳо нишон доданд, ки бо баланд шудани ҳарорат зичии маҳлулҳои тадқиқшаванда бо қонуни ростхатта ё экспоненциалӣ тағйир меёбанд. Барои бензол тағйирёбии зичӣ ба 14,53% ҳангоми тағйирёбии ҳарорат дар ҳудуди аз 293 то 393 К мушоҳида мешавад. Иловаҳои зарраҳои наноандозаи дуда ба афзоиши зичии маҳлулҳо оварда мерасонанд.

### **Тадқиқи таъсири ҳарорат ва концентратсияи нанозарраҳои дуда ба тағйирёбии зичии бензол ва маҳлулҳои он дар фишори атмосферӣ**

Омӯзиши таҷрибавии зичии маҳлулҳо бо истифодаи усули пикнометрӣ ва баркашқунии гидростатикӣ дар ҳудуди ҳарорати (293-383) К дар фишори атмосферӣ ва концентратсияҳои гуногуни дудаи наноандоза (5 ва 10 нм) аз 0 то 0,5% гузаронида шудааст. Барои ҳисоб намудани қиматҳои зичӣ, муодилаи ҳолати навъи Тейт дар параметрҳои баланди ҳолат истифода шудааст. Натиҷаҳои тадқиқот дар ҷадвали 5 оварда шудаанд, ки маълумоти пурраро дар бораи вобастагии зичии маҳлулҳо аз ҳарорат, концентратсияи дудаи наноандоза ва усули ҷенкунӣ таъмин мекунанд.

Натиҷаҳои ҷенкунӣ таъсири концентратсияи нанозарраҳои дуда ва ҳароратро ба ин хосияти физикӣ, зичии маҳлулҳои коллоидӣ дар асоси бензол, нишон медиҳанд.

**Ҷадвали 5.** - Қиматҳои ҳисобкунӣ ва таҷрибавии зичӣ ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>)-и маҳлули бензол ва дуда, фраксияи  $d=5$  нм, ҳангоми тағйирёбии ҳарорат ва фишори атмосферӣ

T, K	№1	№2	№3	№4	№5	№6
293,4	879,4	885,6	891,8	897,7	902,7	911,8
303,7	867,1	873,2	879,7	885,6	891,6	896,9
313,4	859,0	865,3	870,4	877,8	882,7	889,6
323,5	846,4	852,5	859,3	864,0	870,6	876,8
333,4	835,6	841,4	847,5	853,6	860,8	870,7
343,3	825,6	832,3	837,4	842,5	848,7	864,6
363,5	806,6	812,3	818,3	824,5	830,5	836,7
383,7	781,5	786,0	792,3	798,2	804,4	810,5

Объектҳо: №1 – бензоли моеъи х. т.; №2 - бензоли моеъи х. т. +0,1% дуда; №3 - бензоли моеъи х. т. +0,2% дуда; №4 - бензоли моеъи х. т. +0,3% дуда; №5 - бензоли моеъи х. т. +0,4% дуда; №6 - бензоли моеъи х. т. +0,5% дуда.

Муайян карда шуд, ки илова кардани нанозарраҳои дуда ба зиёд шудани зичии маҳлулҳо оварда мерасонад, дар ҳолати баланд шудани



харорат ба паст шудани он мусоидат мекунад. Ғайр аз ин, дар тамоми ҳудуди ҳарорат, афзоиши фраксияи зарраҳои наноандозаи дуда инчунин ба афзоиши зичии маҳлулҳо оварда мерасонад. Масалан, дохилкунии нанозарраҳои дуда бо диаметри  $d = 5$  нм дар ҳарорати 293 К ва фишори атмосферӣ, зичии онро 3,68% зиёд менамояд. Натиҷаҳо барои фаҳмидани таъсири нанозарраҳо ва ҳарорат ба ҳосиятҳои физикии системаҳои коллоидӣ аҳамият доранд.

Дар **боби чорум** таҳлили маълумоти таҷрибавӣ, ки ба коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии наномоеъҳо алоқаманд аст, гузаронида шудааст. Ин марҳилаи кор ба ҳосилкунии муодилаи ҳолат ба моделҳои Тейт ва Мамедов Ахундов, ки барои маҳлулҳои омӯхташуда истифода мешавад, оварда расонд. Барои арзишҳои гуногуни ҳарорат ( $T = 293-473$  К) ва фишор ( $P = 0,101-9,81$  МПа), муодилаҳои зикршуда ва концентратсияи то 0,5% зарраҳои карбон (дуда) дар ҳолати моеъи гармидиҳанда таҳия карда шудаанд.

#### **Чамъбасти маълумоти таҷрибавӣ оид ба коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии маҳлулҳои бинарӣ ва тернарӣ**

Моделҳои математикии мувофиқ дар фишори муқаррарии атмосферӣ барои чамъбасти натиҷаҳои ченкуниҳо, ки ба зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳӣ дахл доранд, истифода бурда шуд:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right); \quad \frac{\sigma}{\sigma_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right)$$

дар ин ҷо:  $\rho$ ,  $\sigma$ ,  $\rho_1$ ,  $\sigma_1$  - зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳии маҳлулҳои бинарӣ ва тернарӣ дар ҳароратҳои  $T$  и  $T_1 = 333$ К.

Бо истифода аз бастаи барномаи Matlab ва графикҳои вобастагӣ муодилаҳои зерини аппроксиматсионӣ ҳосил карда шудаанд:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = 1,389 - 0,39\left(\frac{T}{T_1}\right); \quad (4)$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_1} = -0,58\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 0,88\left(\frac{T}{T_1}\right) + 0,69. \quad (5)$$

Дар муодилаҳои (4) ва (5) маълум шуд, ки қиматҳои  $\rho_1$  ва  $\sigma_1$  функсияҳои концентратсияи дуда мебошанд (ҷадвали 6).

#### **Ҷадвали 6.** – Қиматҳои $\rho_1$ и $\sigma_1$ вобаста ба концентратсияи дуда бо $\phi=10$ нм

Объект	№1	№2	№3	№4	№5	№6
$\rho_1, \text{кг/м}^3$	807	811	813	817	820	824
$\sigma_1 10^3, \text{Н/м}$	25,2	36,4	44,5	49,4	54,8	57,2

Объектҳо: №1 - бензоли х.т.; №2 - бензоли х.т.+0,1% дуда; №3 - бензоли х.т.+0,2% дуда; №4 - бензоли х.т.+0,3% дуда; №5 - бензоли х. т. + 0,4% дуда; №6 - бензоли х.т.+0,5% дуда.

Аз муодилаҳои (4) ва (5) ҳосил менамоем:

$$\rho = [1,389 - 0,39(T/T_1)]\rho_1^*, \text{ кг/м}^3; \quad (6)$$

$$\sigma = [-0,58(T/T_1)^2 + 0,88(T/T_1) + 0,69]\sigma_1^*, \text{ Н/м}. \quad (7)$$

Барои чамъбасти қиматҳои дар ҷадвали 6 овардашуда ( $\rho_1$ ,  $\sigma_1$ ) вобастагҳои функционалии зерин ҳосил карда шуданд:

$$\rho_1/\rho_1^* = f(n_{\text{дуда}}/n_{\text{дуда}}^*); \quad (8)$$

$$\sigma_1/\sigma_1^* = f(n_{\text{дуда}}/n_{\text{дуда}}^*). \quad (9)$$

Формулаҳо барои ҳисобкунии бузургҳои дар ҷадвали 6 овардашуда, бо вобастагҳои зерин ифода мешаванд:

$$\rho_1/\rho_1^* = 0,012(n_{\text{сажа}}/n_{\text{сажа}}^*) + 0,988; \quad (10)$$

$$\sigma_1/\sigma_1^* = 0,01(n_{\text{сажа}}/n_{\text{сажа}}^*) + 0,99. \quad (11)$$

Аз муодилаҳои (10) ва (11) ифодаҳои зеринро ҳосил мекунем:

$$\rho_1 = \{0,012(n_{\text{сажа}}/n_{\text{сажа}}^*) + 0,988\}\rho_1^*; \quad (12)$$

$$\sigma_1 = \{0,01(n_{\text{сажа}}/n_{\text{сажа}}^*) + 0,99\}\sigma_1^*. \quad (13)$$

Дар муодилаҳои (12) ва (13) қиматҳои  $\rho_1^*$  и  $\sigma_1^*$  функсияи андозаҳои нанозарраҳо мебошанд, ки ба бензоли моеъ дохил карда шудаанд. Ҳатҳои ҳосилкардашуда бо ифодаҳои зерин тавсиф мешаванд:

$$(\rho_1^*) = (d+839), \text{ кг/м}^3; \quad (14)$$

$$(\sigma_1^*) = (0,9d+41,5) 10^{-3}, \text{ Н/м}. \quad (15)$$

Муодилаҳои (8) ва (9) бо назаргирии ифодаҳои (14) ва (15) намуди зеринро мегиранд:

$$\rho = [1,389 - 0,39(T/T_1)]\{0,012(n_{\text{сажа}}/n_{\text{сажа}}^*) + 0,988(d+839), \text{ кг/м}^3; \quad (16)$$

$$\sigma = [1,44 - 0,44(T/T_1)] * \{0,01(n_{\text{сажа}}/n_{\text{сажа}}^*) + 0,99\} (0,9d+41,5) 10^{-3}, \quad (17)$$

Бо истифода аз муодилаҳои (16) ва (17) мо метавонем таҳлили ададӣ гузаронем, зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳии маҳлулҳои коллоидии бинарӣ ва секомпонентаро дар асоси бензол ва равғани мусхил дар ҳароратҳои гуногун (273-343 К) бо илова кардани нанозарраҳои дуда дар фишори атмосферӣ муайян кунем. Мувофиқи формулаҳои (16) ва (17) барои гузаронидани чунин ҳисобкуниҳо дониستاني қиматҳои ҳарорат ва концентратсияи дуда, ки ба системаҳои бензол ва равғани мусхил ворид карда шудааст, бо фоиз ифода шудааст.

Муодилаи (16) бо назардошти ифодаҳои (14) - (15) намуди зеринро мегирад:

$$\rho = [1,389 - 0,39(T/T_1)] * \{0,069(n_{\text{дуда}}/n_{\text{дуда}}^*)^2 + 0,108(n_{\text{дуда}}/n_{\text{дуда}}^*) + 0,799\} (d+839), \text{ кг/м}^3. \quad (18)$$

Аз натиҷаҳои ҳисобкуниҳои ададии гирифташуда, бо истифода аз муодилаи (18), аз рӯи вобастагии аппроксиматсионии зичӣ, маълум мешавад, ки ҳатогии миёнаи квадратӣ ҳамагӣ 0,6%-ро ташкил медиҳад, ки дақиқии баланди ҳисобкуниҳоро нишон медиҳад.

Коеффитсиенти кашиши сатҳӣ, мувофиқан:

$$\sigma = [2,87 - 1,87(T/T_1)] * \{0,11(n_{\text{дуда}}/n_{\text{сажа}}^*) + 0,89\}(0,17d+25,1)10^{-3}, \text{Н/м.} \quad (19)$$

Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои ададӣ бо истифода аз муодилаи (19) мувофиқати маълумоти таҷрибавиро бо ҳатогии миёнаи 0,34% нишон медиҳанд.

Дар **замима** чадвалҳое оварда шудаанд, ки барои баҳодиҳии дақиқии ченкунии коеффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии наномоеъҳо бо таҳлили муфассали муқоисавии натиҷаҳои ҳисобкуниҳои муаллифӣ ва вобастагиҳои аппроксиматсионӣ ба ҳарорат ва фишор барои коеффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии наномоеъҳо заруранд.

## ХУЛОСАҲО

1. Маҷмӯи қиматҳо оид ба зичӣ ва коеффитсиенти кашиши сатҳии маҳлулҳои бинарӣ ва секомпонента дар асоси рағғани мушхил ва бензол бо иловаи дуда тадқиқ карда шуд. Таҳлил дар шароити гуногуни ҳарорат ва фишор бо истифода аз маҷмӯи васеи усулҳое, ки дар адабиёти иқтибосшуда инъикос ефтаанд, гузаронида шудааст [3-М, 5-М, 6-М, 8-М, 9-М, 10-М, 12-М, 13-М, 14-М, 18-М, 20-М, 22-М].

2. Бори аввал қиматҳои таҷрибавии зичӣ ва коеффитсиенти кашиши сатҳии системаи бензоли моеъ, маҳлулҳои бинарӣ ва секомпонентӣ, фраксияҳои наноандозаи дуда, дар ҳароратҳои  $T = 293\text{-}433 \text{ K}$  ва фишор ( $P = 0,101\text{-}9,81 \text{ МПа}$ ) ба даст оварда шуданд. Ширкатҳои лоиҳакашӣ ин маълумотро барои моделсозии муҳандисӣ ва ҳисобкуниҳо истифода мебаранд [3-М, 5-М, 6-М, 8-М, 9-М, 10-М, 12-М, 13-М, 14-М, 18-М, 20-М, 22-М].

3. Тадқиқотҳо нишон дод, ки зичӣ ва коеффитсиенти кашиши сатҳии маҳлулҳои мавриди назар бо тағйирёбии ҳарорат ва фишор тағйир меёбад. Тағйирёбии фишор дар ҳарорати доимӣ боиси кам шудани параметрҳои таҳқиқшаванда мегардад, дар ҳоле ки афзоиши ҳарорат дар фишори доимӣ боиси зиёд шудани онҳо мегардад. Инчунин муайян карда шуд, ки таъсири фишор ва концентратсияи массивии дуд ба ин параметрҳо бо баланд шудани ҳарорат меафзояд. Ғайр аз он, қонуниятҳои тағйир додани параметрҳои зикршуда ҳам нисбат ба моеъи асосӣ ва ҳам дар ҳатти сершавӣ ошкор карда шуд [3-М, 5-М, 6-М, 8-М, 9-М, 10-М, 12-М, 13-М, 14-М, 18-М, 20-М, 22-М].

4. Ҳангоми таҳлил ва чамъбасти маълумоти таҷрибавӣ оид ба зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳии системаҳои коллоидӣ, ки аз равғани муҳсил, бензол ва дуда иборат мебошанд, муодилаҳои аппроксиматсионӣ ва коррелятсионӣ таҳия карда шуданд. Ин муодилаҳо ба мо имкон медиҳанд, ки байни хусусиятҳои зикршудаи системаҳои тадқиқотӣ робита барқарор кунем, ки барои фаҳмидан ва пешгӯии хосиятҳои онҳо дар шароити гуногун муҳим аст. Муодилаҳои аппроксиматсионӣ ва коррелятсионӣ натиҷаи таҳлили амиқи маълумоти таҷрибавӣ ва моделҳои математикӣ мебошанд, ки вобастагҳои байни коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва таркиби системаҳои коллоидии тадқиқшавандаро инъикос мекунанд [3-М, 5-М, 6-М, 8-М, 9-М, 10-М, 12-М, 13-М, 14-М, 22-М].

5. Муодилаҳои аппроксиматсионӣ ва ҳолати ҳосилкардашуда воситаи муфид барои арзёбии хосиятҳои маҳлулҳои таҳқиқнашуда, аз ҷумла бензол ва равғани муҳсил бо илова кардани дудаи сохтори хурдандоза (5-10 нм) мебошанд, ки ба пешгӯии хусусиятҳои ин системаҳо имкон медиҳад. Ин моделҳо метавонанд дар доираи васеи тағйирёбии параметрҳои ҳолат, аз ҷумла ҳарорат, фишор ва консентратсияи массавии дуда истифода шаванд, имкон медиҳанд, ки ҳисобкуниҳои пешгӯишаванда ва рафтори система бидуни зарурати гузаронидани тадқиқоти таҷрибавӣ арзёбӣ карда шаванд [1-М, 3-М, 5-М, 7-М, 9-М, 10-М, 12-М, 13-М, 15-М, 18-М, 20-М, 22-М, 23-М].

6. Вобастагҳои апроксиматсионӣ ва муодилаҳои ҳолати воридшуда барои наномоеъҳо дар кафедраҳои "Физикаи умумӣ"- и ДДОТ ба номи С. Айнӣ ва "Техника ва энергетикаи гармо"-и ДТТ ба номи академик М. С. Осимӣ барои ҳисоб кардани хусусиятҳои калориекии маҳлулҳои коллоидии тадқиқшаванда фаъолна истифода мешаванд. [1-М, 3-М, 5-М, 7-М, 9-М, 10-М, 12-М, 13-М, 15-М, 18-М, 20-М, 22-М, 23-М, 28-М, 29-М]. Ин моделҳо дар байни донишҷӯён, аспирантон ва магистрантони донишгоҳҳои ДДОТ ба номи С. Айнӣ, ДДБ ба номи Н. Хусрав ва ДТТ ба номи академик М. С. Осимӣ истифода мешаванд (санадҳои татбиқ замима гардидааст).

7. Ҷадвалҳои муфассал тартиб дода шудаанд, ки оид ба зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳии наномоеъҳои коллоидии тадқиқшаванда дар шароити гуногуни ҳарорат (293-433) К, фишор (0.101-9,81) МПа ва консентратсияи массавии дуда маълумот доранд. Ин ҷадвалҳо маълумоти муҳимро пешниҳод мекунанд, ки метавонанд дар ҳисобкуниҳои муҳандисӣ ва тарроҳии системаҳо ва равандҳои мубодилаи гармӣ муфид бошанд. [1-М, 3-М, 5-М, 7-М, 9-М, 10-М, 12-М, 13-М, 15-М, 18-М, 20-М, 22-М, 23-М - 30-М].

## **Тавсияҳо ва дурнамои таҳияи минбаъдаи мавзӯи тадқиқоти рисола**

1. Ҷадвалҳои муфассал дар ҳудуди васеи ҳарорат (300-440 К) ва фишор (0,101-9,81 МПа) таҳия карда шудаанд, ки зичӣ, коэффитсиенти кашиши сатҳии наномоеъҳо ва концентратсияи нанозараҳои дударо фаро мегиранд. Дар равандҳои гуногуни технологӣ ва гармидиҳӣ, ин маълумот метавонад истифода шавад.

2. Вобастагии аппроксиматсионӣ ва муодилаҳои ҳолати бадастовардаи муҳаққикон аз ҷониби донишҷӯён, магистрантон ва аспирантон дар фаъолияти таълимӣ ва илмӣ кафедраҳои "Физикаи умумӣ"- и ДДОТ ба номи С. Айнӣ, "Техника ва энергетикаи гармо"-и ДТТ ба номи академик М. С. Осимӣ, ДДБ ба номи Н. Хусрав барои ҳисоб кардани хусусиятҳои калориявии наномоеъҳо дар доираи курсҳои физикаи умумӣ ва техникаи гармо истифода мешаванд.

3. Натиҷаҳо, инчунин, барои муайянкунии гармиғунҷоиши маҳлулҳо, барои гузаронидани ҳисобкунҳои зарурии фарқиятҳо, натиҷаҳои тадқиқоти дорои нанозараҳои дуда дар муқоиса бо дигар маҳлулҳо истифода бурдан мумкин аст.

4. Натиҷаҳо, инчунин, барои рушди назарияи микроскопии равандҳои интиқол дар ҷунин маводҳо, маълумоти таҷрибавӣ ва ҳисобкунӣ оид ба коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии маҳлулҳои моеъ бо нанозараҳои дуда аҳамият доранд.

5. Вобастагиҳои аппроксиматсионӣ ва муодилаҳои ҳолатро барои пешгӯии хосиятҳои маҳлулҳо дар асоси бензол ва рағани мусҳил бо илова кардани нанозараҳои дуда ҳангоми тағйир додани шароити истифодабарӣ (ҳарорат, фишор, концентратсияи массавии дуда) истифода бурдан мумкин аст.

### **Натиҷаҳои асосии рисола дар нашрияҳои зерин оварда шудаанд: Мақолаҳо дар нашрияҳои тасиявии ҚОА назди Президенти ҶТ ва ҚОА ФР**

[1-М]. **Рачабов, А.Р.** Теплофизические свойства некоторых углеродных материалов / М.М. Сафаров, Х.Х. Назаров, **А.Р. Раджабов** // Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/4 (216),- С.40-45.

[2-М]. **Рачабов, А.Р.** Плотность системы полистирола и бензола в зависимости от время растворимости и концентрации полистирола / М.М. Сафаров, А. Неъматов, **А.Р. Раджабов** // Вестник ТНУ, Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/3 (216), - С.73-77

**[3-М]. Раҷабов, А.Р.** Взаимосвязь между диэлектрической проницаемостью и плотностью растворов системы бензол и диизопропиловый эфир при атмосферном давлении и комнатной температуре / М.М. Сафаров, Д.Ш. Хакимов, **А.Р. Раджабов** // Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. Душанбе, №2 (38) – 2017.- С.22-32.

**[4-М]. Раҷабов, А.Р.** Взаимосвязь между динамической вязкостью и коэффициентом преломления света растворов в зависимости от температуры при атмосферном давлении / М.М. Сафаров, Р.Дж. Давлатов, А.Р. Раджабов // Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. Душанбе, №4(40) – 2017. С.17-27.

**[5-М]. Раҷабов, А.Р.** Влияние бензола на поведение удельной теплоёмкости диизопропилового эфира / М.М. Сафаров, Д.Ш. Хакимов, **А.Р. Раджабов** // Воронежский научно-технический вестник. -2017. - Т.4, №4 (22). – С. 59-67.

**[6-М]. Раҷабов, А.Р.** Анализ применимости уравнения типа Тэйти к различным классам веществ в конденсированном состоянии на примере плотности / М.М. Сафаров, М.М. Гуломов, **А.Р. Раджабов** // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2018. №2: Душанбе, 2018. -С. 92-98.

**[7-М]. Раҷабов, А.Р.** Влияние одностенных углеродных нанотрубок на изменение динамической вязкости растворов системы бензол-диизопропиловый эфир / Д.Ш. Хакимов, **А.Р. Раджабов**, М.М. Сафаров / Вестник Филиала МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе, Серия естественных наук, г. Душанбе. 1(2) 2018. - С. 71-79.

**[8-М]. Раҷабов, А.Р.** Плотность системы «касторовое масло» в зависимости от концентрации бензола при атмосферном давлении и комнатной температуре // М.М. Сафаров, Д.Ш. Хакимов, **А.Р. Раджабов** / Вестник ТНУ, Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2018 № 4. - С.76-83.

**[9-М]. Раҷабов, А.Р.** Исследование теплопроводности и показатель преломления света системы бензола и изопропилового эфира / Д.Ш. Хакимов, М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов** // Вестник ТТУ. Душанбе, 2022, № 4/11. -С. 50.

**[10-М]. Раҷабов, А.Р.** Поверхностное натяжение и плотность коллоидных систем касторового масла и бензола / **А.Р. Раджабов** // Вестник БГУ им. Н. Хусрава. Серия естественных наук, 2/1(108), Бохтар-2023. -С. 89-92.

#### **Патентҳои хурди ҶТ**

**[11-М]. Раҷабов, А.Р.** Устройства для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей / М.М. Сафаров, М.А. Зарипова,

**А.Р. Раджабов** // Патент РТ, № ТЈ 923, 2017. -5 с.

[12-М]. **Раҷабов, А.Р.** Комплексная солнечная установка для получения тепловой и электрической энергии / М.М. Сафаров, Ф. Абдуҷалилзода, **А.Р. Раджабов**, Б.М. Махмадиев // Патент РТ, № ТЈ 919, 2017. -5 с.

### **Мақолаҳо дар маводи конференсияҳо**

[13-М]. **Раҷабов, А.Р.** Вклад нанотрубок и сажи на поведение реологических и термодинамических свойств простых эфиров и хладагентов / Д.Ш. Хакимов, М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов** / 6 МНТК студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосберегающие и эффективность в технических системах”, Тамбов, 3-5 июня 2019. - С. 169 -170.

[14-М]. **Раҷабов, А.Р.** Влияние наночастиц углеродные нанотрубки и сажи на изменение термодинамических свойств простых эфиров и хладагентов / Д.Ш. Хакимов, М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов** / Материалы МК “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, Махачкала, 15- 20 сентября 2019. -С. 180-181.

[15-М]. **Раҷабов, А.Р.** Уравнение типа Тейта для расчета плотности жидкостей, растворов при различных температурах и давлениях / М.М. Гуломов, М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов** / Материалы НПК “8 Ломоносовские чтения” Актуальные проблемы естественных и гуманитарных наук. Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе. -27-28 апреля 2018, -С. 34-38.

[16-М]. **Раҷабов, А.Р.** Определение коэффициента поверхностного натяжения растворов методом Ребиндера / М.М. Сафаров, А. Неъматов, **А.Р. Раджабов** / Сб.15 РКТС-15,15-17 октября 2018г. -С. 137.

[17-М]. **Раҷабов, А.Р.** Влияние концентрации полистирола на поведение коэффициента поверхностного натяжения бензола / М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов**, С.С. Рафиев // Материалы МНПК «Независимость - основа развития энергетики страны», 22-23 декабря 2017 г., г. Бохтар. - С. 102-112.

[18-М]. **Раҷабов, А.Р.** Влияние одностенных углеродных нанотрубок на изменение плотности растворов системы бензол-изопропиловый эфир при нормальном состоянии / М.М. Сафаров, М.М. Гуломов, Б.А., **А.Р. Раджабов** // Материалы 4 МНК «Вопросы физической и координационной химии», 3-4 мая 2019. -С. 221-227.

[19-М]. **Раҷабов, А.Р.** Влияние сажи на изменение плотности системы касторовое масла и бензола в зависимости от времени растворимости / М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов**, Б.А. Тимеркаев //

Материалы РНПК “Математическое и компьютерное моделирование физических процессов”, 25 октября 2019, г. Душанбе. -С. 139-142.

[20-М]. **Рачабов, А.Р.** Поверхностное натяжение системы касторовое масло и бензола при нормальных условиях / М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов**, Д.Ш. Хакимов // Материалы МНК «Перспектива развития науки и образования», ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2019. -С. 45-48

[21-М]. **Рачабов, А.Р.** Изменение поверхностного натяжения системы касторовое масло и бензола в зависимости от времени растворения / М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов**, Д.Ш. Хакимов // Матер. МНПК” Электроэнергетика Таджикистана”, 19.12.2019, Филиал МЭИ в г. Душанбе. -С. 267-270.

[22-М]. **Рачабов, А.Р.** Поверхностное натяжение системы касторовое масло и бензол при нормальных условиях / М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов**, Д. Ш. Хакимов, Б.А. //Материалы МНПК “Перспектива развития науки и образования“. ТТУ имени акад. М.С. Осими, Душанбе, 2019. - С. 45-48.

[23-М]. **Рачабов, А.Р.** Влияние сажи на изменение поверхностное натяжение системы касторовое масла-бензола при атмосферном давлении и комнатной температуры / М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов**, Д.Ш. Хакимов //Материалы РНПК «Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физики». ТНУ, Душанбе. 2020. -С. 83-86.

[24-М]. **Рачабов, А.Р.** Исследование поверхностного натяжения системы касторового масла и бензола при различном времени растворения / М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов** и др. // Материалы 10 НПК” Ломоносовские чтения”, Душанбе, 25-26 сентября 2020г.- С. 58-62.

[25-М]. **Рачабов, А.Р.** Плотность системы касторового масла и бензола в зависимости от времени растворения / М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов**, Х. Х. Назарзода // Сб. РНПК «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан», 12-14 сентября 2020 г. - С. 175-178.

[26-М]. **Rajabov, A.R.** Experimental study of the density of ternary systems based on castor oil depending on the dissolution time / М.М. Safarov, **A.R. Rajabov**, S.S. Abdunazarov // Proceeding of the 1<sup>th</sup> ISPC, №3(39), 26-28, Desember, 2020, Manchester, Great Britan, - pp. 1466-1470 (РИНЦ).

[27-М]. **Рачабов, А.Р.** Поверхностное натяжение коллоидных систем касторового масла и бензола / М.М. Сафаров, **А.Р. Раджабов**,



Д.Ш. Хакимов // Сб. 2 МК “Газоразрядная плазма и синтез наноструктур” Россия, Казань, КНИТУ-КАИ, 1-4 декабря 2021г. - С. 316-318.

[28-М]. **Рачабов, А.Р.** Влияние сажи на изменение коэффициента поверхностного натяжения системы касторового масла и бензола / **А.Р. Раджабов, Д.Ш. Хакимов, Б.А. Тимеркаев** // Сб. тр. I МНПК «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», 30-31 марта 2022 г., Душанбе. - С. 182-186.

[29-М]. **Rajabov, A.R.** Surface Tension of Colloid Systems of Castor Oil and Benzene at  $P=0.101$  MPa / **M.M. Safarov, A.R. Rajabov, D.S. Hakimov** // Journal of Physics: Conference Series, doi:10.1088/1742-6596 / 2270 /1/ 012006, - бр.

[30-М]. **Рачабов, А.Р.** Влияние сажи на изменение коэффициента поверхностного натяжения и плотности жидкого касторового масла / **М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, Б.А. Тимеркаев** // Материалы XIII МТФШ “Теплофизика и информационных технологии”, 17-20 октября 2022 г. Душанбе-Тамбов. - С. 106-109.

#### АННОТАЦИЯ

*на кандидатскую диссертацию Раджабова Абдуджаббора Рузимадовича на тему: «Влияние сажи на изменения коэффициента поверхностного натяжения и плотности системы бензола и касторового масла», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».*

**Цель работы:** экспериментальное изучение коэффициента поверхностного натяжения и плотности бинарных и тернарных системы «сажа +бензол + касторовое масло (до 0,5%)» при варьировании температуры в диапазоне от 293К до 473К и давления от 0,101 МПа до 9,81 МПа.

**Объект исследования:** системы растворов, включающих бензол, технический углерод и касторовое масло.

На основе экспериментальных исследований получены экспериментальные данные о коэффициенте поверхностного натяжения и плотности растворов в зависимости от температуры в диапазоне от 293 до 473 К и давления от 0,101 до 9,81 МПа. Данные также включают анализ эффекта добавления сажи в пределах до 0,5%. С целью прогнозирования плотности и коэффициента поверхностного натяжения бинарных и тернарных растворов, были разработаны эмпирические уравнения, корреляционные выражения и уравнения состояния. Была установлена взаимосвязь между характеристиками растворов при различных температурах (от 293 до 473 К) и давлениях (от 0,101 до 9,81 МПа). Созданы методики вычисления в системе «бензол + касторовое

масло + сажа», коэффициента поверхностного натяжения и плотности коллоидных растворов и определены параметры уравнения состояния типа Тейта для рассматриваемых коллоидных растворов.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из 170 страниц компьютерного текста, который включает 149 библиографических наименований. Работе состоит из четырех глав, 41 таблиц и 42 рисунка, выводы, приложения.

По результатам работы опубликовано 30 статей из которых, 10 работ, опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан, из них одна статья написана единолично, 18 в материалах республиканских и международных конференций, получено 2 малых патента Республики Таджикистан.

**Ключевые слова:** бензол, касторовое масло, сажа, плотность, коэффициент поверхностного натяжения, температура, давление, концентрация, наножидкость.

### ШАРҲИ МУХТАСАРИ

**рисолаи номзадии Рачабов Абдучаббор Рузимадович дар мавзӯи: "Таъсири дуда ба тағйирёбии коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии системаи бензол ва равғани мусхил (кастор)", ки барои дарёфти дараҷаи илмӣи номзоди илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 01.04.14 - Физикаи ҳарорат ва назарияи техникаи гармо пешниҳод шудааст.**

**Мақсади кор:** тадқиқи таҷрибавии коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии системаи дукомпонентӣ ва секомпонентии “дуда+бензол + равғани мусхил (то 0,5%) хангоми тағйирёбии ҳарорат аз 293 К то 473 К ва фишор аз 0,101 МПа то 9,81 МПа.Объекти тадқиқот: системаҳои маҳлулҳо, аз ҷумла бензол, карбони техникӣ ва равғани кастор.

Дар асоси тадқиқоти таҷрибавӣ маълумоти таҷрибавӣ оид ба коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии маҳлулҳо, аз ҷумла вобаста ба тағйирёбии ҳарорат дар доираи аз 293 то 473 К ва фишор аз 0,101 то 9,81 МПа ба даст оварда шудааст. Маълумот инчунин таҳлили таъсири илова кардани дударо дар доираи то 0,5% дар бар мегирад. Бо мақсади пешгӯии зичӣ ва коэффитсиенти кашиши сатҳии маҳлулҳои бинарӣ ва тернарӣ, муодилаҳои эмпирикӣ, ифодаҳои коррелятсионӣ ва муодилаҳои ҳолат таҳия карда шуданд. Алоқамандии байни хосиятҳои маҳлулҳо дар ҳарорат (аз 293 то 473 К) ва фишорҳои гуногун (аз 0,101 то 9,81 МПа) муқаррар карда шудааст. Усулҳои ҳисобкунӣ дар системаи “бензол + равғани мусхил + дуда”, коэффитсиенти кашиши сатҳӣ ва зичии маҳлулҳои коллоидӣ таҳия шудаанд ва параметрҳои муодилаи ҳолати навъи Тейт барои маҳлулҳои коллоидии баррасишаванда муайян карда шудаанд.

**Соҳтор ва доираи кор.** Рисола аз 186 саҳифаи матни компютерӣ иборат аст, ки 149 номгӯи библиографиро дар бар мегирад. Кор аз чор боб, 42 ҷадвал ва 42 расм, хулосаҳо, замимаҳо ки 13 саҳифаро дар бар мегирад, иборат аст.

Аз рӯи натиҷаҳои қор 30 мақола нашр гардидааст, ки 10-тои он дар маҷаллаҳои илмии тавсиянамудаи ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр гардида, аз онҳо як мақола танҳо навишта шуда, 18-тои он дар маводи конференсии ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ навишта шуда, 2 патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ба даст оварда шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** бензол, рағғани қастор, дуда, зичӣ, коэффитсиенти қашиши сатҳӣ, ҳарорат, фишор, консентратсия, наномоеъ.

#### ABSTRACT

**for the PhD thesis of Rajabov Abdujabbor Ruzimadovich on the topic: "The effect of soot on changes in the surface tension coefficient and density of the benzene and castor oil system", submitted for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 01.04.14 – "Thermophysics and theoretical thermal engineering".**

**The purpose of the work:** experimental study of the surface tension coefficient and density of binary and ternary systems "soot + benzene + castor oil (up to 0.5%)" with temperature variation in the range from 293K to 473K and pressure from 0.101 MPa to 9.81 MPa.

**Object of research:** systems of solutions including benzene, carbon black and castor oil.

Based on experimental studies, experimental data were obtained on the coefficient of surface tension and density of solutions depending on temperature in the range from 293 to 473 K and pressure from 0.101 to 9.81 MPa. The data also includes an analysis of the effect of adding soot in the range of up to 0.5%. In order to predict the density and surface tension coefficient of binary and ternary solutions, empirical equations, correlation expressions and equations of state were developed. The relationship between the characteristics of solutions at different temperatures (from 293 to 473 K) and pressures (from 0.101 to 9.81 MPa) was established. Methods for calculating the surface tension coefficient and density of colloidal solutions in the "benzene + castor oil + soot" system have been developed and the parameters of the Tate-type equation of state for the colloidal solutions under consideration have been determined.

**The structure and scope of the work.** The dissertation work consists of 170 pages of computer text, which includes 149 bibliographic titles. The work consists of four chapters, 41 tables and 42 figures, conclusions, and appendices.

**According to the results of the work,** 30 articles were published, of which 10 works were published in scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission under the President of the Republic of Tajikistan, one of them was written alone, 18 in the materials of republican and international conferences, 2 small patents of the Republic of Tajikistan were obtained.

**Keywords:** benzene, castor oil, carbon black, density, surface tension coefficient, temperature, pressure, concentration, nanofluid.

Подписано в печать . . . 2024 г. Формат 60x80.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times New Roman Tj.  
Усл. печ. л. 3,25. Тираж 100 экз.  
ООО АРШАМ