

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН  
ТАДЖИКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ САДРИДДИНА АЙНИ**

*На правах рукописи*



УДК 536.12 (575.3)

**РАФИЕВ Саидбег Самиевич**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ВНЕДРЕННЫХ НАНОПОРОШКА  
ГИДРАЗИНА**

**Специальность 01. 04. 14. Теплофизика и теоретическая теплотехника**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Душанбе – 2024

**Работа выполнена на кафедре «Общая физика» Таджикского государственного педагогического университета имени Садриддина Айни**

**Научный руководитель:** **Назарзода Хайрулло Холназар (Назаров Хайрулло Холназарович)** - доктор технических наук, доцент, ректор Таджикского государственного университета коммерции.

**Официальные оппоненты:** **Баранов Игорь Владимирович** – доктор технических наук, профессор, директор Образовательного центра «Энергоэффективные инженерные системы» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО» (г. Санкт-Петербург)

**Назаров Холмурод Марипович** - доктор технических наук, профессор, директор Филиала Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной Академии наук Таджикистана в Согдийской области;

**Ведущая организация:** **Технологический университет Таджикистана (г. Душанбе)**

Защита диссертации состоится «15» апреля 2024 года в «11:00» часов на заседании диссертационного совета **6D.KOA-041** при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими, по адресу: 734042, г. Душанбе, проспект акад. Раджабовых 10а (Зал заседаний диссертационных советов).

E-mail: [d.s6d.koa.041@yandex.ru](mailto: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 и её авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими и на официальном сайте университета <http://ttu.tj>.

Автореферат разослан «   »        2024 г.

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



**Тагоев С.А.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Развитие физики жидкого состояния питается сведениями о теплофизических и термодинамических свойствах жидкостей и растворов. Эти сведения оказывают весомый вклад в области изучения механизмов переноса тепла, межчастичного взаимодействия, моделирования структуры жидких веществ, изучения процессов образования молекулярных комплексов и их разрушения, решения проблем смешиваемости и растворимости, а также связанных с этими процессами изменения свойств веществ.

Этиленгликоль и его водные растворы с нанопорошком гидразина с технической точки зрения интересны тем, что их можно использовать в строительной, машиностроительной и других областях с применением различного рода сорбентов, растворителей и вяжущих веществ. В связи с этим, применение подобных веществ требует комплексного исследования их теплофизических и термодинамических свойств, которые позволят определить наиболее рациональную область их эксплуатации, что несомненно является актуальной проблемой, требующая научно-обоснованный подход к ее решению.

В настоящей работе исследования посвящены экспериментально-теоретическому решению данного вопроса, тематика которого охватывает изучение физико-химических свойств (плотности, теплопроводности и др.), реологических (динамической и кинематической вязкости) и кинетических свойств этиленгликоля и их водных растворов с добавками нанопорошка гидразина при различных температурах и давлениях, способствующие их эффективному применению в качестве теплоносителя, либо рабочего вещества в процессах массо- и теплопереноса, а также при разработке математических моделей данных процессов. В данной работе также рассмотрены возможности получения корреляционных зависимостей, устанавливающих взаимосвязь между перечисленными параметрами.

**Объект исследования:** этиленгликоль и его водные растворы с различными концентрациями нанопорошка гидразина.

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросами исследования основных теплофизических, термодинамических и реологических свойств химически чистых жидкостей и растворов, а также с различным массовым содержанием нанодобавок в условиях разных параметров состояния занимаются как отечественные, так и зарубежные ученые. Например, исследования К.Д. Гусейнова (Баку), В.Я. Рудняка, В.М. Терехова, (Новосибирск) Чои, Д. Боне (Германия), Дж. Никос (Греция), Тонгфан Сан, Ань Хуан (Китай) и др., а также теоретические работы Гамильтона, Кроссера, Хашина - Штрикмана, Максвелла, Кихары и Вика - Чендлера - Андерсена и др. Механизм переноса частично исследован, однако все же остаются не раскрытыми вопросы касательно причин и механизмов этих свойств для отдельных классов и групп органических жидкостей как в чистом, так и с содержанием наночастиц.

**Цель диссертационной работы:** Комплексное экспериментально-теоретическое исследование физико-химических свойств (коэффициента эффективной теплопроводности, плотности, реологических и кинетических свойств) растворов этиленгликоля при различных параметрах состояния и концентрации нанопорошка гидразина.

Для того, чтобы достичь поставленной цели необходимо решить нижеприведенные **задачи:**

– обосновать необходимость использования методов нагретой нити, гидростатического взвешивания, капиллярного вискозиметра при экспериментальном исследовании теплофизических, реологических и кинетических свойств объектов исследования;

– провести комплексное экспериментально-теоретическое исследование теплофизических (плотность, теплопроводность), реологических (коэффициенты динамической и кинематической вязкости) и кинетических свойств объектов исследования при различных параметрах состояния и концентрации нанопорошка гидразина;

– получить эмпирические уравнения, устанавливающие зависимость теплофизических, реологических и кинетических свойств объектов исследования от параметров состояния и концентрации нанопорошка гидразина.

#### **Научная новизна:**

1. Созданы экспериментальные установки для определения теплопроводности наножидкостей (малый патент № ТЖ 923, 2017. – 5 с.) и коэффициента адсорбции наноматериалов (малый патент № ТЖ 1279, 2021. – 9 с.).

2. Получены данные по коэффициенту эффективной теплопроводности, плотности, коэффициентов динамической и кинематической вязкости этиленгликоля и его водных растворов с различными концентрациями нанопорошка гидразина в интервале температуры (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа.

3. На основе экспериментальных данных получены расчетные данные теплопроводности, вязкости, плотности и критерия Прандтля для этиленгликоля и его водных растворов с различными концентрациями нанопорошка гидразина в интервале температуры (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа.

4. Путем обработки и соответствующего обобщения результатов экспериментальных измерений, с целью получения возможности численного определения коэффициента эффективной теплопроводности, плотности, коэффициентов динамической и кинематической вязкости этиленгликоля и его водных растворов с различной концентрацией составных компонентов в интервале температуры (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа, нами был получен ряд аппроксимационных уравнений.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

1. Составлены таблицы, в которых представлена подробная информация по теплопроводности, плотности, коэффициентов динамической и кинематической вязкости этиленгликоля и его водных растворов с различными концентрациями нанопорошка гидразина в условиях изменения температуры в пределе (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа, рекомендуемые проектным организациям и промышленным предприятиям для планирования и проведения соответствующих химико-технологических процессов.

2. Результаты исследований по теплопроводности, плотности, коэффициентов динамической и кинематической вязкости этиленгликоля и его водных растворов с различными концентрациями нанопорошка гидразина в интервале температуры (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа внедрены в Институте промышленности Министерства промышленности и новых технологий РТ, в Таджикский государственный педагогический университет им. Садриддина Айни, в Таджикский технический университет им. академика М. С. Осими (акты внедрения прилагаются).

3. Представленные результаты опытов в форме справочного материала в процессах изучения двух – и трёхкомпонентных систем технических растворов можно использовать при создании математических и физических моделей при инженерных и конструкторских расчетах для установления и выбора оптимальных режимов работы различных механизмов и устройств.

4. Используя полученные данные на основе экспериментов по плотности, теплопроводности, реологическим свойствам ряда исследованных образцов в условиях атмосферного давления и изменения температуры получен ряд эмпирических выражений и уравнение состояния (в условиях изменения и давления и температуры опыта). Впервые для исследованной группы наножидкостей для расчета теплопроводности использованы уравнения типа Гейта, Мамедова и Ахундова, а также численным способом были получены коэффициенты для них.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность результатов исследований обеспечивается:

- применением приборов и устройств, прошедших соответствующую апробацию, которые с удовлетворительной точностью воспроизводят результаты измерений;
- удовлетворительным соответствием полученных результатов с результатами, полученными в ходе экспериментов другими методиками анализа;
- полным метрологическим обеспечением измерительных установок, а также правильным использованием теории эксперимента и погрешностей измерения и удовлетворительным соответствием расчетных и экспериментальных данных по исследованным параметрам.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- созданные экспериментальные установки для определения теплопроводности наножидкостей (малый патент № ТЖ 923, 2017. – 5 с.) и коэффициента адсорбции наноматериалов (малый патент № ТЖ 1279, 2021. – 9 с.);
- полученные данные по коэффициенту эффективной теплопроводности, плотности, коэффициентов динамической и кинематической вязкости этиленгликоля и его водных растворов с различными концентрациями нанопорошка гидразина в интервале температуры (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа;
- расчетные данные теплопроводности, вязкости, плотности и критерия Прандтля для этиленгликоля и его водных растворов с различными концентрациями нанопорошка гидразина в интервале температуры (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа;
- полученные эмпирические уравнения для расчета коэффициента эффективной теплопроводности, плотности, коэффициентов динамической и кинематической вязкости этиленгликоля и его водных растворов с различными концентрациями нанопорошка гидразина в интервале температуры (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа.

**Личный вклад автора** заключается в выборе соответствующих методик при постановке задач исследования, в обработке, изучении и анализе литературы, посвященной по направлению исследования, в выполнении комплекса теоретико-опытных исследований по кинетическим, реологическим и теплофизическим свойствам объектов исследования и их обработке, в установлении закономерностей поведения образцов, а также в подведении итогов работы. Проведение исследований, подготовка и публикация статей в научных журналах была произведена автором при поддержке научного руководителя.

**Апробация работы.** Основные результаты представленной научной работы были представлены на следующих **международных конференциях и симпозиумах**: 10 школа - семинар молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е. Алемасова “Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении”, Казань (2016); 10 Международная теплофизическая школа “Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий”, Душанбе-Тамбов, (2016); Международная конференция «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», г. Махачкала (2017); 7 Международная научно-практическая конференция «Независимость - основа развития энергетики страны», Бохтар (2017); 1-я научно - практическая Международная конференция “Информационные технологии в управлении и моделировании мехатронных систем”, Тамбов (2017); Научно-практическая конференция “Ломоносовские чтения”, Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе (2017); Научно - практическая конференции “8 - е Ломоносовские чтения”, Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе (2018); Международный водно-энергетический форум - 2018. КГЭУ, Казань (2018); 4 Международная научная конференция «Вопросы физической и координационной химии», Душанбе (2019); 6 Международная научно - техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосберегающие и эффективность в технических системах”, Тамбов (2019); Международная научная конференция «Современные проблемы естественных и гуманитарных наук и их роль в укреплении научных связей между странами», посвящённая 10-летию Филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Ду-

шанбе (2019); 29 Международная научная конференция “Научные тенденции: вопросы точных и технических наук”, Санкт Петербург (2020); IARIA, 2 CFP, ICQNM - 2020, Ispane, Valenciya (2020); 10 научно - практическая конференция “Ломоносовские чтения”, Душанбе (2020).

**По результатам работы автор имеет 30 научных публикаций.** Из них 6 опубликованы в журналах, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан, включая одну единоличную (без соавторов) и 19 тезисов докладов. Получено 5 малых патента Республики Таджикистан.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа содержит введение, пять глав, выводы, перечень использованной литературы (158 наименований) и приложение. Работа объемом в 202 страницы содержит 42 таблицы и 46 рисунков, а приложение представлено на 42 страницах.

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

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

В **введении** обосновать актуальность выбранной темы исследования, ее научное и практическое значение.

### **Глава 1. ФИЗИКО - ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИДРАЗИНА И ЕГО РАСТВОРИТЕЛЕЙ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)**

В **первой главе** дан краткий обзор литературы, посвященной изучению теплофизических, реологических и кинетических характеристик технических растворов, а также представлены результаты по изучению практического применения результатов исследования различных авторов и соответствующий обзор литературы, посвященной исследованию гидразина и этиленгликоля.

### **Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ**

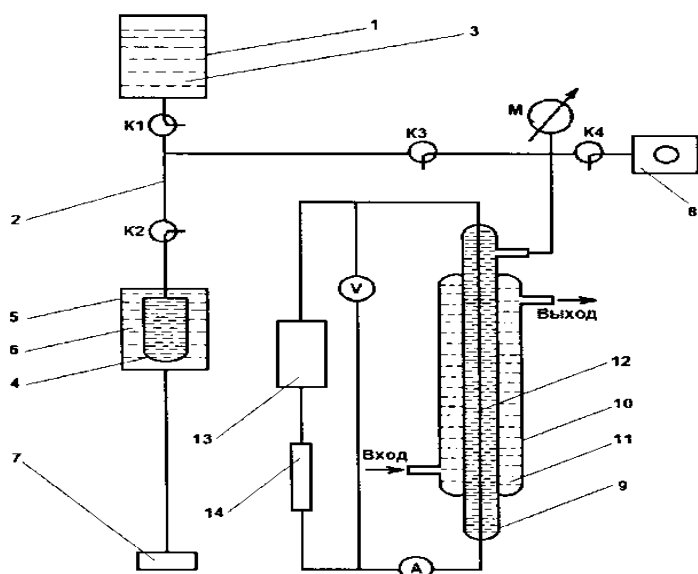
**Вторая глава** посвящена детальному описанию экспериментальных установок, использованных в процессе выполнения исследовательской работе. В этой главе представлено полное описание схем, характеристик, предназначение и порядок выполнения работ на них. С помощью серии проведенных экспериментов на данных установках с учетом изменения параметров состояния была установлена степень влияния концентрации нанопорошка гидразина на теплофизические и термодинамические свойства исследованных растворов.

#### **2.1. Устройство для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей (метод нагретой нити)**

Для измерения теплопроводности нами был выбран метод нагретой нити. установка, основанная на данном методе состоит из вакуумного насоса, измерительной трубки, манометра, внутреннего сосуда, который состоит в соединении с насосом и манометром. измерительная трубка на протяжении опыта устанавливается внутри термостата (сосуд с термостатирующей жидкостью). Внутренний сосуд снабжен нагревателем для создания соот-

ветствующей разницы температур. Нагреватель имеет источник постоянного питания, резистор, вольт- и амперметр. Также установка имеет ячейку из нержавеющей стали для размещения образца исследования, которая в свою очередь состоит в соединении с полиэтиленовым мешочком, размещенном в заполненном глицерином пережимном сосуде. Пережимной сосуд, в свою очередь, имеет соединение с грузопоршневым манометром посредством труб. Измерительная трубка устанавливается в термостате с термостатирующей средой (воздух). Нагреватель имеет соединение с источником питания, резистором, амперметром и вольтметром.

Основным отличием прототипа от предложенного нами устройства является отсутствие возможности исследования газов, а также реализация опытов в зависимости от давления. Техническое решение, а именно дополнительное оснащение установки прижимным сосудом с полиэтиленовым мешочком и грузопоршневым манометром позволило достигнуть желаемого результата (рисунок 1).



**Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки для измерения теплопроводности наножидкостей: 1 - нержавеющая стальная емкость; 2 - трубка; 3- образец; 4 - полиэтиленовый мешочек; 5 - прижимной сосуд; 6 - глицерин; 7 - грузопоршневой манометр типа МП – 2500; 8- вакуумный насос; 9 -внутренний сосуд; 10 - внешний сосуд; 11 - термостатирующая среда; 12- никелевый нагреватель; 13 - источник питания; 14 – резистор (малый патент РТ №ТJ 923, 2017, 5 с.)**

Принцип работы установки. Емкость 1 наполняется исследуемой, а внешний сосуд термостатирующей жидкостями. Затем после соединения электрической цепи к источнику тока, используя ампер- и вольтметр задают мощность нагревателя в условиях атмосферного давления и комнатной температуре:

$$W=I \cdot U, \quad (1)$$

где:  $W$  - мощность (Вт);  $I$  - сила тока (А);  $U$  - напряжение (В).

С помощью нижепредставленной формулы (2) можно вычислить как сопротивление в зависимости от температуры, так и температуру в измерительной ячейке:

$$R=R_0(I+\alpha(T-T_0)), \quad (2)$$

где:  $R$ ,  $R_0$ - сопротивление нагревателя (никель) и его сопротивление при комнатной температуре (Ом);  $\alpha$  - коэффициент теплового расширения от сопротивления (1/К);  $T_0$ ,  $T$  - температура комнатная и опыта (К).

Располагая перечисленными значениями (мощность, разность температур, удельное сопротивление) теплопроводность образца моно вычислить следующей формулой:

$$\lambda_{cp} = \frac{W \ln \frac{T_1}{T_2}}{2\pi L (T_1 - T_2)}, \quad (3)$$

где:  $\lambda_{cp}$  – коэффициент теплопроводности опытного вещества [Вт/(м·К)],  $W$  – мощность нагревателя (Вт);  $T_1 - T_0$  – разность температур (К);  $L$  – длина проводника (м);  $r_0$  – радиус нагревателя (мм);  $r_1$  – внутренний радиус внешнего цилиндра (мм):

$$\lambda = \frac{R_1 c m \delta}{2} \quad (4)$$

## 2.2. Опытные установки для экспериментального исследования плотности, вязкости жидких веществ при атмосферном давлении

На сегодняшний день не существует каких-либо универсальных уравнений состояния, с помощью которых можно было бы решить конкретно поставленную задачу. Поэтому достижение данной цели возможно лишь путем экспериментальных исследований.

Методы, которые чаще всего используются при определении  $P - \rho - T$  зависимости жидких веществ делятся на две категории: те, которые обеспечивают постоянство веса опытной жидкости, а ее объем изменяется и те, которые основаны на гидростатическом взвешивании. В процессе экспериментального исследования наших образцов, нами использовано второй метод, но с учетом их специфики (рисунок 2). Выбор нами данной методики заключается в простоте и относительно высокой точности результатов. Поставленная задача требовала подбор установки, способной проводить эксперименты в значительной области изменения параметров состояния, включая нижнюю пограничную область, жидкое и двухфазное состояние вещества. Таким образом, наш выбор был остановлен на методе гидростатического взвешивания (основоположники метода являются профессор И. Ф. Голубева и его ученики).

Расчетная формула имеет вид:

$$\rho = \frac{G_1 - (G_1 - G_2)}{V_{II} - V_H}, \text{ кг/м}^3, \quad (5)$$

здесь  $\rho$  – плотность опытного вещества при заданной температуре,  $\text{кг/м}^3$ ;  $G_1$  – вес кварцевого поплавка на воздухе;  $G_2$  – вес кварцевого поплавка, погруженного в опытную жидкость;  $V_{II}$  – объем кварцевого поплавка;  $V_H$  – объем манганиновой проволоки.

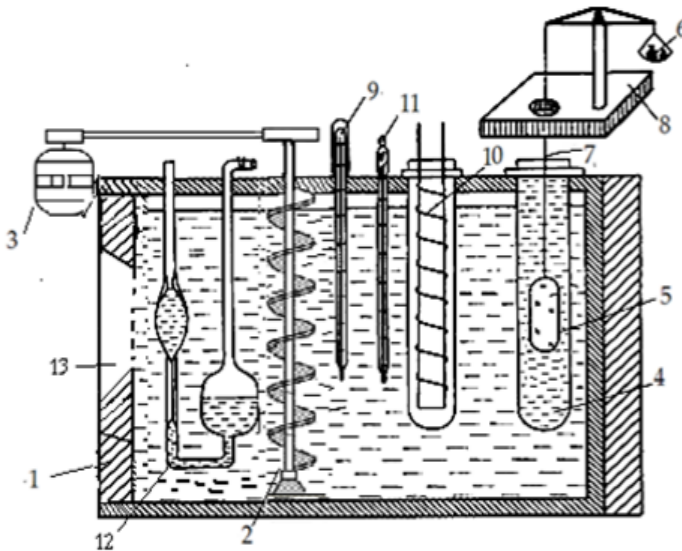
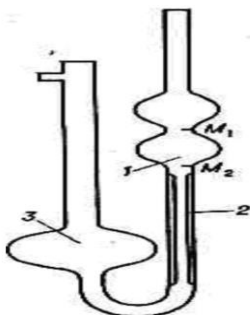


Рисунок 2 - Схематическое изображение опытной установки для экспериментального исследования плотности жидких веществ при атмосферном давлении: 1 - термостат; 2 - мешалка; 3 - электродвигатель; 4 - камера с исследуемым веществом; 5 - кварцевый поплавок; 6 - уравнивающие разновесы; 7 - манганиновая проволока; 8 - аналитические весы; 9 - ртутный термометр; 10 - нагреватель; 11 - контактный термометр; 12 - вискозиметр Освальда; 13 - окошко

## 2.3. Метод измерения коэффициента динамической вязкости жидкостей и растворов



Динамическую вязкость образцов мы исследовали при помощи капиллярного вискозиметра (рисунок 3).

Рисунок 3. Общий вид стеклянного вискозиметра: 1 - расширения; 2 - капилляр; 3 - емкость;  $M_1, M_2$  – отметки измерения времени



## 2.4. Экспериментальная установка для определения коэффициент адсорбции и массоотдачи зернистых материалов (малый патент РТ №ТJ 1279, 2021, - 5с, № ТJ 1280, 2021, - 7с)

На рисунке 4 представлено опытное устройство, служащее для исследования таких кинетических свойств, как коэффициент адсорбции и массопередачи. Его основными составляющими являются сосуд цилиндрический диаметром 5 и высотой 8 см со съемной сеткой площадью ячеек 1 мм<sup>2</sup>, секундомер, электронные весы (класс точности 0,001г). Опыт проводится следующим образом: на электронных весах взвешиваются по-отдельности сосуд с водой и сетка с образцом. Затем сетка устанавливается в сосуде и проводится увлажнение образца на протяжении 30 минут, фиксируемое секундомером. В такой последовательности через каждые последующие 30 минут проводится взвешивание до полного увлажнения образца, т.е. достижения им момента насыщенности.

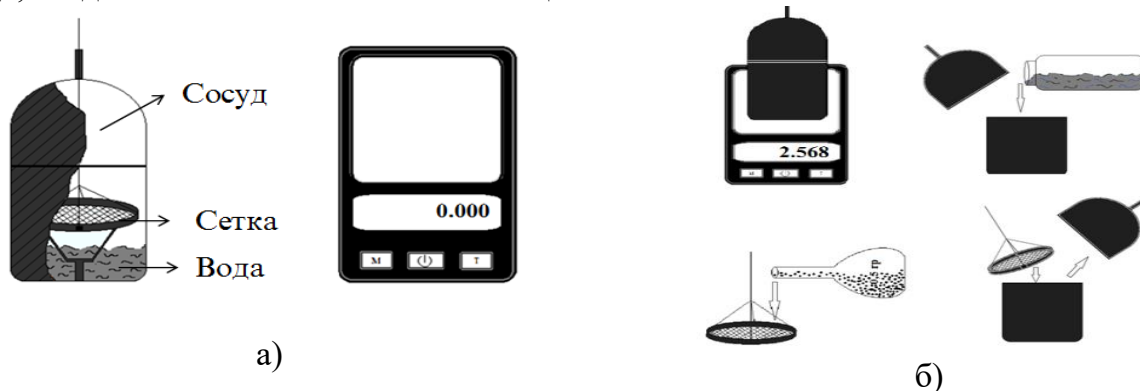


Рисунок 4 - Экспериментальная установка для определения коэффициента адсорбции и массопередачи: а – установка; б – электронные весы

Коэффициенты адсорбции и массопередачи рассчитываются по (малые патенты РТ за номерами №ТJ 824, 2016 и №ТJ 825, 2016):

$$\Gamma = \left[ \frac{m - m_0}{\mu \cdot m_0} \right], \text{ (МОЛЬ/КГ)} \quad (6)$$

$$\beta = \left[ \frac{m - m_0}{S \cdot t} \right], \text{ (КГ/М}^2\text{С).} \quad (7)$$

Достоверность результатов по коэффициенту адсорбции, набухания и массопереноса проверялась с помощью измерения контрольных образцов (Патенты РТ за номерами №ТJ 490, 2010; №ТJ 824, 2016; №ТJ 825, 2016).

## Глава 3. МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРАЗИНА В КОНДЕНСАТНО – ПИТАТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОРРОЗИИ

В третьей главе приводится способ гидразинная обработка питательная воды электрических станции. Гидразинная обработка вместе с термической деаэрацией питательной воды котлоагрегата является основным мероприятием для предохранения металла пароконденсатного тракта от коррозии, возникающей из-за присутствия кислорода и удаления окислов железа в питательной и котловой воде и кислорода в конденсаторе турбин. обычно обработка гидразином рекомендована всем ТЭС, работающих на прямоточных котлах высокого давления.

## Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ ГИДРАЗИНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

В глава посвящена результатам опытного исследования кинетических термодинамических и теплофизических свойств растворов нанопорошка гидразина, а также степень их

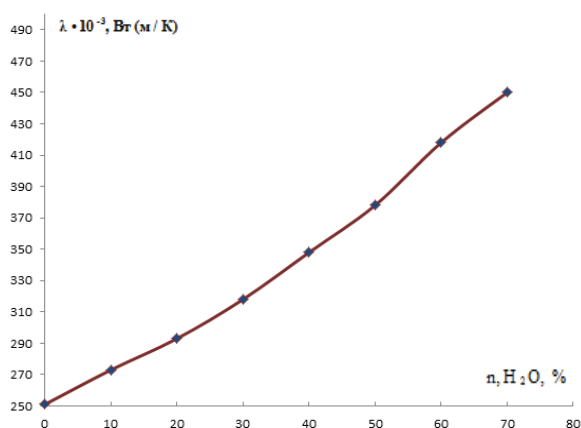
влияния на физико-химические свойств изученных веществ. С помощью экспериментально полученных данных динамической вязкости и плотности исследованных растворов рассчитаны коэффициент кинематической вязкости жидких растворов при различных параметрах состояния и концентрации внедренных в теплоносителях нанопорошка гидразина. Кроме того, зная расчетные данные по динамической и кинематической вязкости рассчитаны критерии Прандтля.

#### 4.1. Результаты опытного изучения коэффициента теплопроводности технических растворов гидразина при различных температурах и атмосферном давлении

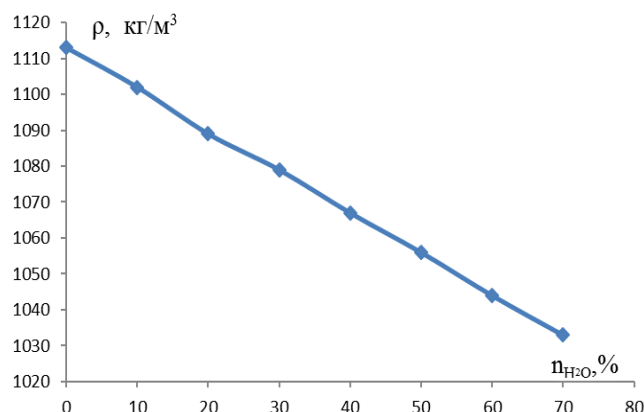
Технические растворы в жидком состоянии, в том числе и гидразин и этиленгликоль очень широко применяются в технике, например, в качестве восстановителя для защиты от коррозии и отложений нагревательных и охлаждающих сред теплоэнергетических оборудования. Надо отметить, что водный раствор этиленгликоля (50% этиленгликоль и 50% воды) чаще применяется на практике. Образцы исследования состоят из химически чистых этиленгликоля и нанопорошка гидразина. Итоги измерения коэффициентов теплопроводности, динамической вязкости и плотности растворов при различных температурах и атмосферном давлении в виде графиков роиллюстрированы на рисунках 5 и 6. Для выявления концентрации воды на ТФС и реологические свойств изучаемых растворов (двухкомпонентная система) на соответствующих координатах получены следующие функциональные зависимости:

$$\lambda = f(n_{H_2O}); \rho = f(n_{H_2O}); \eta = f(n_{H_2O}); \nu = f(n_{H_2O}).$$

Графики этих зависимостей приведены ниже (рисунки 4 - 7).



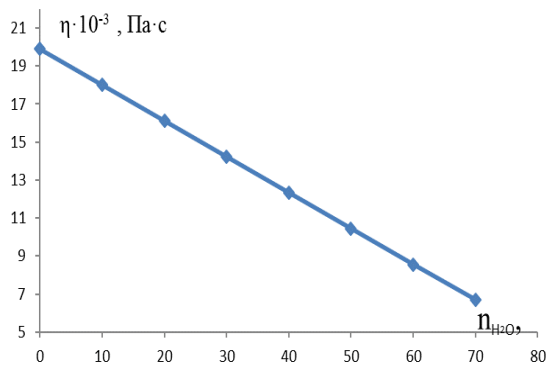
**Рисунок 4** - Зависимость коэффициента теплопроводности жидкого этиленгликоля от концентрации воды при атмосферном давлении и комнатной температуре



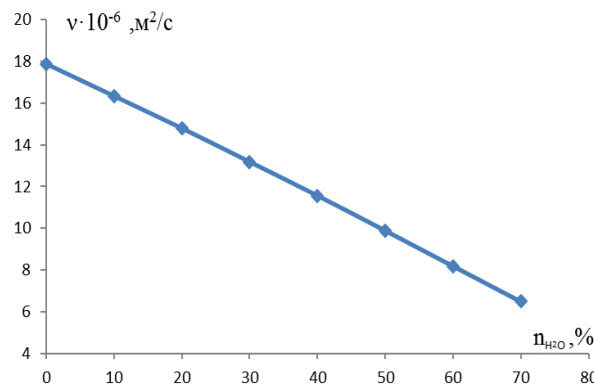
**Рисунок 5** - Зависимость плотности жидкого этиленгликоля от концентрации воды при атмосферном давлении и комнатной температуре.

В соответствии с рисунком 4, теплопроводность раствор растет на 79,2%. По нашему мнению, это связано с изменением плотности структуры жидких растворов

Данные рисунка 5 показывают, что повышение содержания воды в этиленгликоле (двухкомпонентный раствор) понижает плотность системы практически по линейному закону (в среднем до 7,19 %). По нашему предположению, это связано с изменением объема жидких растворов.



**Рисунок 6** - Динамическая вязкость этиленгликоля в жидком состоянии в зависимости от концентрации воды при атмосферном давлении и комнатной температуре



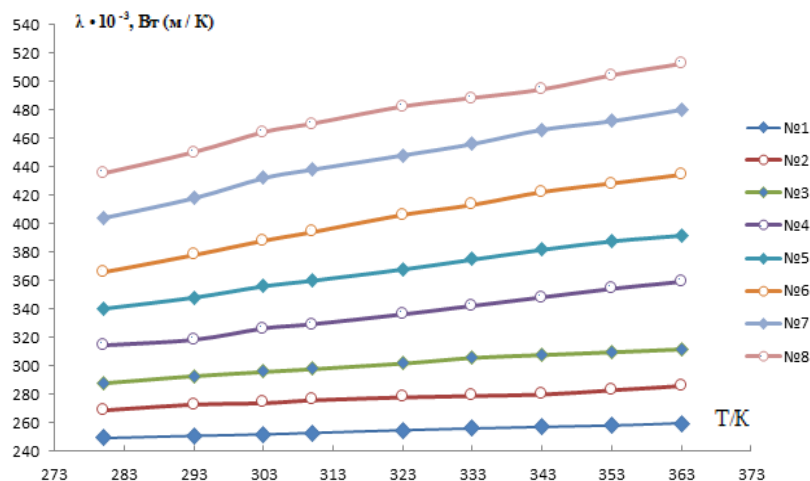
**Рисунок 7** - Зависимость коэффициента кинематической вязкости жидкого этиленгликоля от концентрации воды при атмосферном давлении и комнатной температуре

Как видно из рисунков 6 и 7, с ростом концентрации воды и динамическая, и кинематическая вязкости этих систем уменьшаются почти по линейному закону, т.е. при добавке воды в этиленгликоль до 70 % в интервале от 0 до 70 % воды изменение динамической и кинематической вязкости будет уменьшаться по линейному закону.

#### 4.2. Теплопроводность двухкомпонентных растворов на основе этиленгликоля при различных температурах, атмосферном давлении и изменении концентрации воды.

Теплопроводность двухкомпонентных растворов системы этиленгликоль и вода в интервале температуры (280 - 363) К при атмосферном давлении ( $p = 0,101$  МПа) было измерено экспериментальной установкой, работающей методом нагретой нити и запатентованной нами (малый патент Республики Таджикистан № TJ 923, Душанбе, 2017. - 5с., авторы М.М. Сафаров и др.)

Результаты данных, полученных по этому методу и теорией Максвелла, представлены в виде зависимости  $\lambda = f(T, n_{H_2O})$  (рис. 8).

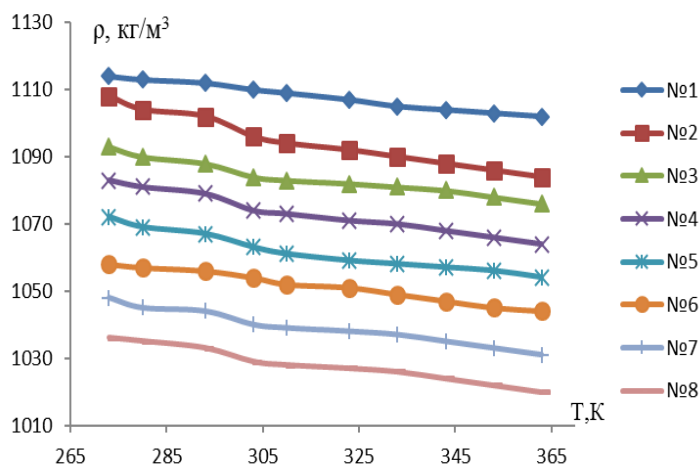


**Рисунок 8** - Зависимость коэффициента теплопроводности  $\lambda$  жидкого этиленгликоля от температуры при атмосферном давлении и различных концентрациях воды:  
 №1 - (100 %  $C_2H_6O_2$ ); №2 - (90 %  $C_2H_6O_2$  + 10 %  $H_2O$ ); №3 - (80 %  $C_2H_6O_2$  + 20 %  $H_2O$ ); №4 - (70 %  $C_2H_6O_2$  + 30 %  $H_2O$ ); №5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ ); №6 - (50 %  $C_2H_6O_2$  + 50 %  $H_2O$ ); №7 - (40 %  $C_2H_6O_2$  + 60 %  $H_2O$ ); №8 - (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ )

Как видно из результатов экспериментального и теоретического определения значений коэффициента теплопроводности двухкомпонентных растворов с изменением температуры от 280 до 363 К растет почти по линейному закону. Например, у водного раствора под номером 2 - (90 %  $C_2H_6O_2$  + 10 %  $H_2O$ ) эффективная теплопроводность с повышением температуры растет на 6,3%, для восьмого раствора (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ ) теплопроводность с повышением температуры увеличивается на 17,7 %.

### 4.3. Плотность двухкомпонентных растворов на основе этиленгликоля при различных температурах, атмосферном давлении и изменении концентрации воды

Опытное устройство, представленное на рисунке 2, нами было применено для экспериментального исследования плотности растворов при атмосферном давлении и комнатной температуре (рис. 9).



**Рисунок 9** - Зависимость плотности  $\rho$  жидкого этиленгликоля от температуры при атмосферном давлении и различных концентрациях воды (обозначения как на рисунке 8).

Как видно из результатов экспериментального и теоретического определения значений плотности двухкомпонентных растворов (рис. 9), изменением температуры от 273 до 363 К плотность уменьшается почти по линейному закону. Например, у раствора под номером 2 (90 %  $C_2H_6O_2$  + 10 %  $H_2O$ ) с повышением температуры плотность падает на 2,21 %, для восьмого раствора (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ ) плотность уменьшается на 1,57 %.

### 4.4. Коэффициенты динамической и кинематической вязкости двухкомпонентных растворов на основе жидкого этиленгликоля при атмосферном давлении и изменении концентрации воды в них

Динамическая вязкость двухкомпонентных растворов системы этиленгликоль и воды в интервале температуры (280 - 363) К и атмосферном давлении ( $p = 0,101$  МПа) была измерена экспериментальной установкой, работающей методом капиллярного вискозиметра Освальда и теоретическими предположениями, предложенными Тейта. Результаты, полученные этим методом и теорией Тейта представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** - Коэффициент динамической вязкости ( $\eta \cdot 10^{-3}$  Па·с) растворов на основе этиленгликоля и воды при различных температурах и атмосферном давлении

T, К / Растворы	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
280	20,26	19,65	17,46	16,49	14,82	13,19	12,05	10,46
293	19,91	18,01	16,12	14,23	12,34	10,45	8,56	6,67
303	13,22	11,97	10,72	9,48	8,24	6,58	5,10	4,35
310	10,23	9,01	8,08	7,15	6,23	4,85	3,98	3,42
323	6,65	6,04	5,43	4,82	4,21	3,62	3,02	2,38
333	4,95	4,50	4,05	3,61	3,16	2,69	2,23	1,82
343	-	3,06	2,55	2,40	2,25	1,85	1,44	1,03
353	-	2,10	1,48	1,33	1,18	1,10	1,02	0,75
363	-	1,98	1,32	1,17	1,02	0,79	0,66	0,54

Примечание: №1 - (100 %  $C_2H_6O_2$ ); №2 - (90 %  $C_2H_6O_2$  + 10 %  $H_2O$ ); №3 - (80 %  $C_2H_6O_2$  + 20 %  $H_2O$ ); №4 - (70 %  $C_2H_6O_2$  + 30 %  $H_2O$ ); №5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ ); №6 - (50 %  $C_2H_6O_2$  + 50 %  $H_2O$ ); №7 - (40 %  $C_2H_6O_2$  + 60 %  $H_2O$ ); №8 - (30% $C_2H_6O_2$  + 70% $H_2O$ ).

Как видно из результатов экспериментального определения значения коэффициента динамической вязкости двухкомпонентных растворов (таблица 1), при изменении температуры от 280 до 363 К, уменьшается по закону гиперболы. Например, у водного раствора под номером 2 - (90 %  $C_2H_6O_2$  + 10 %  $H_2O$ ) коэффициент динамической вязкости уменьшается в 8,92 раза, для восьмого раствора (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ ) это изменение составляет 18,4 раза. Кинематическую вязкость веществ можно рассчитать нижеприведенным выражением, если известны его динамическая вязкость и плотность:

$$v = \frac{\eta}{\rho}, \quad \text{м}^2/\text{с}, \quad (8)$$

где,  $\eta$ - динамическая вязкость, Па·с,  $\rho$ - плотность изучаемых веществ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ .

Реологические характеристики при нормальных условиях определяются капиллярным вискозиметром и денсиметром.

**Таблица 2.** - Коэффициент кинематической вязкости ( $v\cdot 10^{-6}$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ ) растворов на основе этиленгликоля и воды при различных температурах и атмосферном давлении

Т, К / Растворы	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
280	18,21	17,79	16,02	14,94	13,86	12,69	11,53	10,11
293	17,88	16,34	14,80	13,19	11,57	9,89	8,19	6,49
303	11,91	10,89	9,99	9,45	8,72	7,35	5,96	4,93
310	8,62	8,06	7,46	6,67	5,87	4,80	3,83	3,36
323	6,16	5,53	5,02	4,52	4,08	3,49	2,94	2,58
333	4,38	4,13	3,69	3,34	2,89	2,57	2,15	1,77
343	-	2,81	2,46	2,22	2,02	1,81	1,57	1,25
353	-	1,98	1,79	1,46	1,12	1,06	0,99	0,73
363	-	1,83	1,23	1,11	0,97	0,81	0,64	0,53

Примечание: №1 - (100 %  $C_2H_6O_2$ ); №2 - (90 %  $C_2H_6O_2$  + 10 %  $H_2O$ ); №3 - (80 %  $C_2H_6O_2$  + 20 %  $H_2O$ ); №4 - (70 %  $C_2H_6O_2$  + 30 %  $H_2O$ ); №5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ ); №6 - (50 %  $C_2H_6O_2$  + 50 %  $H_2O$ ); №7 - (40 %  $C_2H_6O_2$  + 60 %  $H_2O$ ); №8 - (30% $C_2H_6O_2$  + 70% $H_2O$ ).

По итогам расчетов (таблица 2) видно, что кинематическая вязкость двухкомпонентных растворов с изменением температуры от 280 до 363 К, уменьшается по закону гиперболы. Например, у водного раствора под номером 2 (90 %  $C_2H_6O_2$  + 10 %  $H_2O$ ) коэффициент кинематической вязкости уменьшается в 8,72 раза, для восьмого раствора (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ ) это изменение доходит до 18,1 раза.

#### 4.5. Влияние концентрации нанопорошка гидразина на изменение теплопроводности двухкомпонентных растворов (этиленгликоль-воды) при различных температурах и давлениях

Как уже ранее было отмечено, для очистки теплоэнергетического оборудования от отложений, в том числе железа, меди и др. применяют водный раствор гидразина. Для указанных целей применяют как гидразингидрат, так и гидразинсульфат. В связи с этим мы перед собой ставили задачу создать физическую модель и рассчитать процесс теплообмена в этих моделях. Известно, что при расчете процессов тепломассообмена необходимо определить теоретическим, экспериментальным или косвенным способом теплофизические, термодинамические характеристики и кинетические свойства нанопорошка гидразина и их водных растворов при различных температурах, концентрации воды и этиленгликоля.

Как было отмечено, в диссертационном исследовании были созданы 7 образцов, состоящих из двух компонентов, т.е. этиленгликоля и воды. Для очистки поверхностей теплоэнергетического оборудования от пленок металлов и их оксидов предлагаются четыре из них №5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ ); №6 -(50 %  $C_2H_6O_2$  + 50 %  $H_2O$ ); №7 - (40 %  $C_2H_6O_2$  + 60 %  $H_2O$ ); №8 -(30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ ), у которых полностью исследована теплопроводность, плотность, динамические и кинематические характеристики в интервале темпе-

ратуры (273 - 373)К и давления (0,101 - 14,42) МПа). Основные теплофизические и реологические свойства перечисленных образцов при нормальных условиях приведены ниже (таблица 3).

**Таблица 3.** - Основные теплофизические и реологические свойства образцов исследования при нормальных условиях

Растворы	Условные обозначения	Теплопроводность, $10^3$ Вт/(м·К)	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент динамической вязкости, $10^3$ Па·с	Коэффициент кинематической вязкости, $10^{-6}$ м <sup>2</sup> /с
№5	60 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> +40 % H <sub>2</sub> O	391	1067	12,34	11,57
№6	50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> +50 % H <sub>2</sub> O	425	1056	10,45	9,89
№7	40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> +60 % H <sub>2</sub> O	459	1044	8,56	8,19
№8	30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> +70 % H <sub>2</sub> O	494	1033	6,67	6,49

Согласно данным, приведенным в таблице 3 можно заключить следующие факты: изменение теплофизических и реологических характеристик растворов для использования в процессе гидразинной обработки технологических аппаратов в теплоэнергетике также наблюдаются при добавке этиленгликоля. В основном изменения характеризуются уменьшением изучаемых характеристик за исключением коэффициента эффективной теплопроводности растворов. Этот факт подтверждается теорией коллоидных растворов.

**Таблица 4.** – Теплопроводность ( $\lambda \cdot 10^3$ , Вт/ (м·К) =  $f$  (Т, p H<sub>2</sub>O)) двухкомпонентных растворов (№5) на основе этиленгликоля при высоких параметрах состояния

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
	<i>№5 - (60 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 40 % H<sub>2</sub>O)</i>				
280	340	343	346	348	353
293	348	351	354	357	360
303	356	359	362	365	368
310	360	361	366	370	373
323	368	371	374	377	381
333	375	378	381	384	388
343	382	385	389	392	395
353	388	390	393	396	400
363	392	395	399	403	406
373	-	398	402	405	409
383	-	401	404	407	410

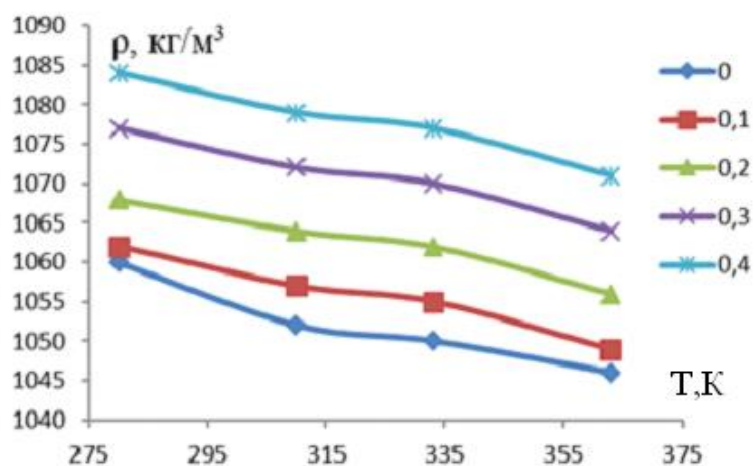
На основе данных по таблице 4 можно заключить, что теплопроводность образцов без нанопорошка гидразина с повышением температуры, давления и концентрации нанопорошка гидразина растут почти по линейному закону.

#### 4.6. Влияние концентрации нанопорошка гидразина на изменение плотности двухкомпонентных растворов (этиленгликоль - вода) при различных температурах и давлениях

Плотность растворов, как было ранее отмечено, определена экспериментальными приборами, а плотность растворов при изменении температуры и давления была рассчитана с использованием уравнения типа Тейта. Результаты экспериментально - теоретически полученных данных по плотности растворов представлены в виде таблице под номерами №5, №8 в таблице 5.

**Таблица 5.** - Плотность ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> =  $f$  (Т, Р, n H<sub>2</sub>O)) двухкомпонентных основных растворов (№5, №8) на основе этиленгликоля без внедрения в них нанопорошка гидразина при различных температурах и давлениях

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
<i>№5 - (60 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 40 % H<sub>2</sub>O)</i>					
273	1072	1087	1102	1117	1132
280	1069	1084	1099	1114	1129
293	1067	1082	1097	1112	1127
303	1063	1078	1093	1108	1123
310	1061	1076	1091	1106	1121
323	1059	1074	1089	1104	1119
333	1058	1073	1088	1103	1118
343	1057	1072	1087	1102	1117
353	1056	1071	1086	1101	1116
363	1054	1069	1084	1099	1114
<i>№8 - (30 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O)</i>					
273	1036	1054	1072	1090	1108
280	1035	1053	1071	1089	1107
293	1033	1051	1069	1087	1105
303	1029	1047	1065	1083	1101
310	1028	1046	1064	1082	1100
323	1027	1045	1063	1081	1099
333	1026	1044	1062	1080	1098
343	1024	1042	1060	1078	1096
363	1020	1038	1056	1074	1092

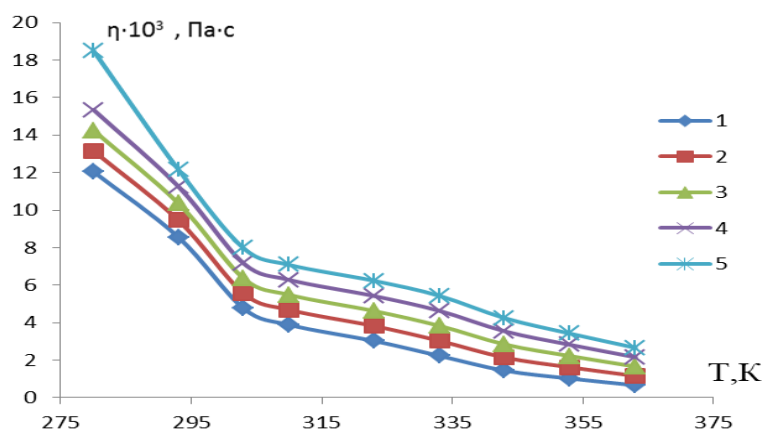


**Рисунок 10** - Изменение плотности системы растворов в зависимости от температуры при различных концентрациях нанопорошка

Согласно графику 10 и данным таблицы 5, плотность растворов повышается по мере возрастания концентрации нанопорошка гидразина увеличивается. Для первых измерений это изменение носит линейный характер, а для последующих изменение наблюдается согласно параболическому закону. Например, добавка 0,2 % нанопорошка гидразина повышает плотность раствора на ~1,4 %, а добавка 0,4 % на ~ 2,04 %. По нашему мнению, подобного характера изменения зависят от процесса растворения гидразина.

#### 4.7. Экспериментальные исследования динамической и кинематической вязкости водных растворов этиленгликоля (№5, №6, №7, №8) в зависимости от концентрации гидразина, температуры и давления

Динамическая вязкость растворов изучены при помощи капиллярного вискозиметра с погрешностью 2,6 % при доверительной вероятности  $\alpha=0,95$ . Результаты исследований представлены на рисунке 11.



Для определения коэффициента кинематической вязкости обычно используют экспериментально полученные данные по динамической вязкости и плотности изучаемых веществ, которые при нормальных условиях измеряются при помощи вискозиметра и денсиметра. Результаты вычисления кинематической вязкости водных растворов этиленгликоля с и без добавки нанопорошка гидразина при изменении температуры и давления опыта представлены в таблице 6.

**Таблица 6.** - Коэффициент кинематической вязкости ( $\nu \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с} = f(T, P, n_{\text{H}_2\text{O}})$ ) двухкомпонентных водных растворов этиленгликоля (№5, №8) с внедрением в них нанопорошка гидразина (0,4 %) при различных температурах и давлениях

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
<i>№5 - [(60 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 40 % H<sub>2</sub>O) + 0,4 % N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>]</i>					
280	15,35	16,21	17,07	17,87	18,67
293	11,97	12,69	13,42	14,74	17,06
303	8,59	9,18	9,76	11,61	11,45
310	6,49	7,36	7,82	9,09	9,34
323	4,40	5,53	5,87	6,56	7,24
333	3,38	4,39	4,75	5,43	6,1
343	2,36	3,25	3,63	4,29	4,96
353	1,72	2,46	2,95	3,55	4,16
363	1,07	1,67	2,26	2,81	3,35
<i>№8 - [(30 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O) + 0,4 % N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>]</i>					
280	10,84	11,77	12,70	13,58	14,46
293	7,78	8,61	9,43	10,22	11,00
303	4,72	5,44	6,16	6,85	7,54
310	3,60	4,35	5,09	5,80	6,50
323	2,48	3,26	4,03	4,75	5,46
333	1,78	2,52	3,25	3,93	4,61
343	1,08	1,77	2,46	3,11	3,75
353	0,82	1,40	1,98	2,55	3,12
363	0,56	1,03	1,50	1,99	2,49



Как видно из результатов, приведенных в таблице 6, с ростом концентрации нанопорошка гидразина в растворе системы этиленгликоля и воды коэффициент кинематической вязкости растет по линейному закону.

#### 4.8. Коэффициент адсорбции нанопорошка гидразина

Как уже отмечалось, для изучения кинетических свойств наших растворов мы воспользовались установкой, описанной в главе 2.4 (рисунок 4), общая относительная погрешность измерения которой при  $\alpha = 95\%$  составляет 0,01 %. Результаты исследования коэффициента адсорбции нанопорошка гидразина в виде графика представлена ниже (рис. 12). Для проведения опытов выбрана 6 проб нанопорошка гидразина. Для удобства их применения мы обозначили образцы порядковым номером: №1 - 0,5 г; №2 - 1 г; №3 - 1,5 г; №4 - 2 г; №5 - 2,5 г; №6 - 3 г.

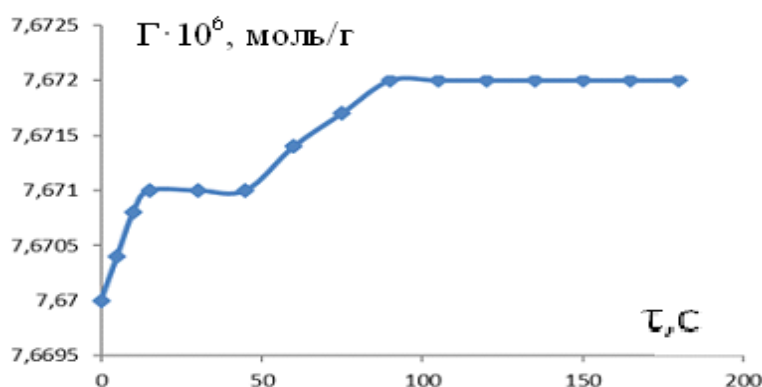


Рисунок 12 - График зависимости коэффициента адсорбции образца №4 от времени выдержки в сетке прибора

Как видно из рисунка 12, график зависимости имеет ступенчатый вид и напоминает процесс кристаллизации твердых тел.

#### 4.9. Влияние нанопорошка гидразина на изменение критерия Прандтля водных растворов этиленгликоля при атмосферном давлении и различных температурах

Согласно проведенным исследованиям теплофизических параметров и теоретическим обоснованиям нашим ниже представлены соответствующие результаты для водных растворов этиленгликоля с добавлением нанопорошка гидразина (№8 - (30 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O) + 0,4 % N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) при разных значениях температуры и атмосферном давлении, в частности теплопроводность, плотность, а также коэффициенты динамической и кинематическая вязкости и число Прандтля (таблица 7).

Таблица 7. - Теплофизические свойства растворов системы этиленгликоля и воды с внедрением в них 0,4 % нанопорошка гидразина в зависимости от температуры при атмосферном давлении (№8 (30 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O) + 0,4 % N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)

T, K	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\lambda, 10^3$ $\text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	$\eta \cdot 10^3$ , $\text{Па} \cdot \text{с}$	$\alpha \cdot 10^7$ $\text{м}^2 / \text{с}$	$\nu \cdot 10^6$ , $\text{м}^2 / \text{с}$	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$
280	1064	509	11,54	3,68	10,84	29,45
293	1062	522	7,36	3,72	7,78	20,91
303	1058	530	4,90	3,76	4,79	12,74
310	1057	548	3,80	3,80	3,60	9,47
323	1056	556	2,62	3,82	2,48	6,49
333	1055	564	2,01	3,84	1,79	4,66
343	1054	570	1,14	3,86	1,08	2,90
353	1050	575	0,83	3,90	0,82	2,10
363	1049	579	0,59	3,94	0,56	1,42

## Глава 5. АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМ И РЕОЛОГИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ РАСТВОРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ СОСТОЯНИЯ

**Пятая глава** посвящена анализу и соответствующим методикам обработки и обобщения полученных экспериментально данных. Представлены расчетные способы таких параметров как плотность, теплопроводности адсорбирующие свойства образцов исследования в зависимости от концентрации нанопорошка гидразина.

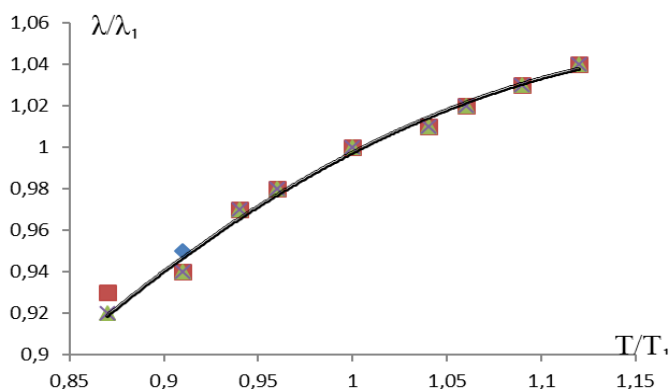
### 5.1. Обработка данных по результатам экспериментального исследования теплопроводности растворов системы этиленгликоля и воды с внедрением в них нанопорошка гидразина

Результаты опытного исследования теплопроводности образцов при атмосферном давлении и разных температурах были обобщены следующим образом.

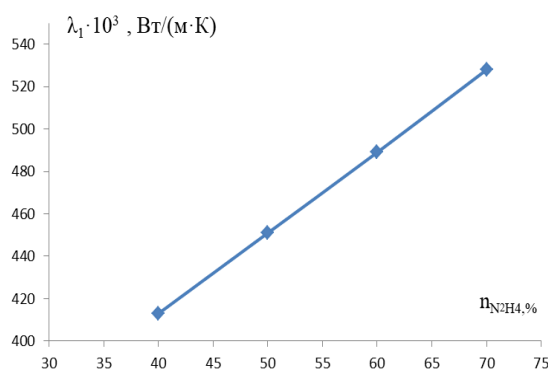
$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (9)$$

где,  $\lambda$  и  $\lambda_1$ -коэффициент теплопроводности исследуемых образцов при различных температурах  $T, K$  и  $T_1, K$ ;  $T_1=323 K$ .

Выполнимость выражения (9) в виде графической зависимости представлено на рисунке 13. Путем соответствующего анализа было установлено, что  $\lambda_1$  являются значениями, характеризующими концентрацию гидразина в растворе (рис 14).



**Рисунок 13.** - Относительная теплопроводность ( $\lambda/\lambda_1$ ) опытных образцов в зависимости от относительной температуры ( $T/T_1$ ): №5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ ); №6 - (50 %  $C_2H_6O_2$  + 50 %  $H_2O$ ); №7 - (40 %  $C_2H_6O_2$  + 60 %  $H_2O$ ); №8 - (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ )



**Рисунок 14.** - Зависимость  $\lambda_1$  образцов от концентрации нанопорошка гидразина ( $n$ )

Кривая на рисунке 13 имеет следующее выражение:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = \left[ -1,073 \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 2,613 \left(\frac{T}{T_1}\right) - 0,542 \right] \quad (10)$$

а прямая на рисунке 14 имеет вид:

$$\lambda_1 = (3,83n^2 + 259,6)10^{-3}, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}). \quad (11)$$

При соответствующей подстановке получим:

$$\lambda = \left[ -1,073 \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 2,613 \left(\frac{T}{T_1}\right) - 0,542 \right] (3,83n^2 + 259,6)10^{-3}, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (12)$$

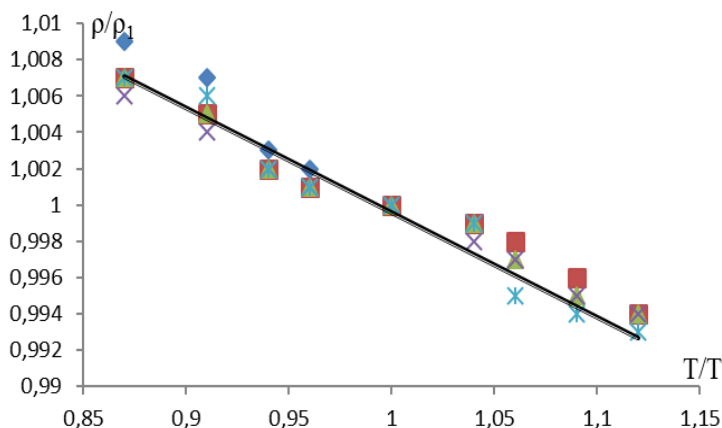
Полученное уравнение (12) служит для численного определения теплопроводности образцов (№5, №6, №7, №8) при различных температурах и концентрации воды с погрешностью около 3,29 %.

## 5.2. Обработка опытных данных плотности изучаемых растворов

Данные по плотности, полученные при атмосферном давлении и разных температурах мы обобщили следующим образом (рисунок 15):

$$\frac{\rho}{\rho_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (13)$$

где,  $\rho$  и  $\rho_1$  -плотность опытных образцов при различных температурах  $T$ ,  $K$  и  $T_1$ ,  $K$  соответственно;  $T_1 = 323 K$ .



**Рисунок 15.** - Относительная плотность ( $\rho/\rho_1$ ) опытных образцов в зависимости от относительной температуры ( $T/T_1$ )

На основе графоаналитической обработки данных (рис. 16) по плотности растворов системы этиленгликоля, воды и нанопорошка гидразина с учетом эмпирических уравнений для  $\rho_1$ , получили общую аппроксимационную зависимость в следующем виде:

$$\rho = \left[-0,057 \left(\frac{T}{T_1}\right) + 1,057\right] \cdot [16,294 \ln(n_{N_2H_4}) + 1141,3], \text{ кг/м}^3 \quad (14)$$

Используя (14), можно вычислить плотность растворов (№5, №6, №7, №8), как с нанопорошком гидразина, так без него при различных температурах и концентрации воды со средней погрешностью - 0,09 % (таблица 8).

**Таблица 8.** - Сравнение опытных с расчетными данными водных растворов этиленгликоля с добавлением нанопорошка гидразина (№8 - (30% $C_2H_6O_2$ +70%  $H_2O$ ) + 0,3% $N_2H_4$ ) при различных температурах и атмосферном давлении

T, K	280	293	303	310	323	333	343	363
$\rho, \text{кг/м}^3$ , эксперимент	1129	1128	1123	1122	1121	1120	1116	1114
$\rho, \text{кг/м}^3$ , расчёт по уравнению (14)	1129	1126,5	1124,1	1120	1120,8	1118,2	1115	1113
$\Delta, \%$	0	0,14	0,09	0,18	0,02	0,16	0,09	0,08
Среднее значение погрешности расчета уравнением (14), %	0,09							

## 5.3. Данные опытных исследований динамической вязкости растворов на основе этиленгликоля, воды и нанопорошка гидразина и их обработка

Результатов опытного исследования динамической вязкости образцов при атмосферном давлении и разных температурах выполнено так:

$$\frac{\eta}{\eta_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (16)$$

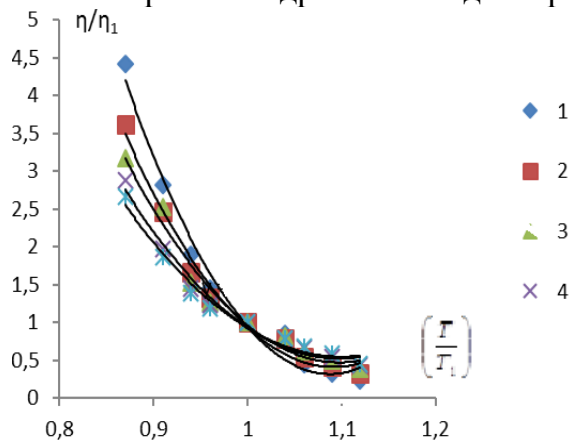
где,  $\eta$  и  $\eta_1$  -коэффициент динамической вязкости исследуемых образцов при различных температурах  $T$ ,  $K$  и  $T_1$ ,  $K$ ;  $T_1=323 K$ .

Выполнимость функциональной зависимости (16) представлена ниже (рисунок 16). Данный график наглядно иллюстрирует совпадение результатов с общей кривой, которая в свою очередь описывается следующим выражением:

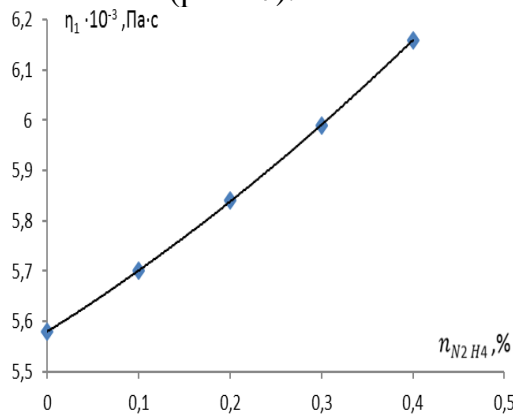
$$\frac{\eta}{\eta_1} = \left[ A \cdot \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 - B \left( \frac{T}{T_1} \right) + C \right], \quad (17)$$

здесь А, В и С - коэффициенты уравнения.

Анализом  $\eta_1$  было установлено, что оно носит концентрационный характер изменения нанопорошка гидразина в водном растворе этиленгликоля (рис 17).



**Рисунок 16** - Относительная динамическая вязкость ( $\eta/\eta_1$ ) растворов этиленгликоля и воды с добавкой нанопорошка гидразина от относительного изменения температуры  $T/T_1$ : 1 - 0,1 %  $N_2H_4$ ; 2 - 0,2 %  $N_2H_4$ ; 3 - 0,3 %  $N_2H_4$ ; 4 - 0,4 %  $N_2H_4$



**Рисунок 17** - Зависимость  $\eta_1$  образцов от концентрации нанопорошка гидразина в водном растворе этиленгликоля

Для кривой на рисунке 17, было получено следующее уравнение:

$$\eta_1 = \left[ 0,8757 (n_{N_2H_4})^2 + 1,1357 (n_{N_2H_4}) + 5,5797 \right] 10^{-3}, \text{Па} \cdot \text{с} \quad (17)$$

Подставив уравнение (16) в (17) получим:

$$\eta = \left[ A \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 - B \left( \frac{T}{T_1} \right) + C \right] \cdot \left[ 0,7857 (n_{N_2H_4})^2 + 1,1357 (n_{N_2H_4}) + 5,5797 \right] 10^{-3}, \text{Па} \cdot \text{с} \quad (18)$$

Таким образом, полученное выражение (18), можно использовать для численного определения динамической вязкости опытных исследованных образцов с изменением температуры при атмосферном давлении. Чтобы выполнить соответствующий расчет надо знать концентрацию нанопорошка и расчетную температуру опыта. Расчет с помощью данного уравнения производится с погрешностью до - 7,32 %, а для некоторых точек погрешность составляет до 15,6 %.

#### 5.4. Обработка экспериментальных данных по кинематической вязкости растворов на основе этиленгликоля с различной концентрацией нанопорошка гидразина

Результаты расчетного исследования кинематической вязкости образцов при атмосферном давлении и разных температурах были обобщены следующим образом:

$$\frac{\nu}{\nu_1} = f \left( \frac{T}{T_1} \right) \quad (19)$$

где,  $\nu$  и  $\nu_1$  - кинематическая вязкость растворов при различных температурах  $T, K$  и  $T_1, K$ ;  $T_1=323K$ .

$$\nu = \left[ A \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 - B \left( \frac{T}{T_1} \right) + C \right] \cdot [-0,0714(n_{N_2H_4})^2 + 0,1586(n_{N_2H_4}) + 5,4086] 10^{-6}, \text{ м}^2 / \text{с} \quad (20)$$

Таким образом, полученное выражение (20), можно использовать для численного определения кинематической вязкости опытных исследованных образцов с изменением температуры при атмосферном давлении. Чтобы выполнить соответствующий расчет надо знать концентрацию нанопорошка и расчетную температуру. Погрешность расчета кинематической вязкости в данном случае доходит до 9,01 %, лишь для некоторых точек она доходит до 18 %.

**В приложении представлены** таблицы с итогами сравнительного анализа экспериментально полученных с расчетными данными, полученных с помощью эмпирических уравнений по теплопроводности, кинематической и динамической вязкости и коэффициенту адсорбции исследуемых объектов. Приводится акты о внедрении результатов исследовательской работы.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Выполнена соответственная модернизация опытного устройства, предназначенного для исследования ТФС жидких веществ (теплопроводность, плотность, динамическая и кинематическая вязкость) при изменении температуры (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа. Кроме того, с учетом специфических свойств изучаемых веществ нами было усовершенствованы опытные устройства для измерения теплопроводности (метод регулярного теплового режима) и плотности (метод гидростатического взвешивания) [7-А, 8-А, 10-А, 11-А].

2. Согласно опытам, было установлено, что в диапазоне изменения температуры от 273 до 363 К наблюдается рост теплопроводности растворов в среднем до 13,75 %. [1-А, 15-А, 19-А, 24-А].

3. Установлено, что, если добавить 0,1 % нанопорошка гидразина в водный раствор этиленгликоля это приведет к росту теплопроводности на 11,9 %. Если добавка нанопорошка гидразина в растворе составит 0,4 % при  $T = 363 \text{ К}$ ,  $P = 14,42 \text{ МПа}$ , то теплопроводность раствора в целом повысится до 17,4 %. [1-А, 4-А, 15-А, 21-А, 24-А]

4. Используя экспериментальные данные по теплопроводности и плотности растворов был произведен расчет ряда термодинамических параметров при изменении температуры от 273 до 363 К и давления от 0,101 до 14,41 МПа с учетом добавки нанопорошка гидразина в раствор до 0,4 %. Также в работе была показана пригодность расчетных методов теплопроводности, вязкости, плотности и критерия Прандтля [1-А, 3-А, 4-А, 6-А, 17-А].

5. Используя результаты экспериментов и соответствующие теоретические закономерности был проведен анализ, обработка и их обобщение, на основе которых были получены аппроксимирующие уравнения, модифицированный вариант уравнения Тейта. На основе полученных эмпирических и полуэмпирических уравнений можно численно определить теплопроводность ( $\sigma_\lambda = 3,6 \%$ ), динамическую вязкость ( $\sigma_\eta = 4,5 \%$ ) и кинематическую вязкость ( $\sigma_\nu = 3,5 \%$ ) растворов в зависимости от температуры, давления, а также концентрации нанопорошка гидразина в растворе [1-А, 2-А, 3-А, 6-А, 17-А].

6. Установлено, что при добавке до 0.4% нанопорошка гидразина в водный раствор этиленгликоля (30% этиленгликоль + 70% вода) в интервале температуры 280-363 К, кинематическая вязкость уменьшается на 94,8%, а при растворении гидразинового нанопорошка в этом же диапазоне температуры плотность уменьшается на 1,4%. [1-А, 3-А, 6-А, 17-А, 27-А].

7. На основе экспериментов установлено, что добавление 0.4% нанопорошка гидразина в водный раствор этиленгликоля (30% этиленгликоль + 70% вода) в интерва-

ле температуры 280 – 363 К теплопроводность растет на 13,75 %, а температуропроводность растет на 6,6%. [1-А, 4-А, 15-А, 24-А].

8. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований приняты к использованию и внедрены в учебный процесс Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими в г. Душанбе, Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни и в Институте промышленности Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан (акты о внедрении результатов прилагаются) [1-А – 30-А].

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

1. Составлены соответствующие таблицы по ТФС (теплопроводность, плотность) и реологическим (динамическая и кинематическая вязкость) свойствам трехкомпонентных систем порошка гидразина в зависимости от его массы в интервале температуры от 270 К до 363 К и коэффициента адсорбции нанопорошков гидразина при комнатной температуре, которые предлагаются в качестве справочных при расчете тепло- и массообменных процессов и аппаратов.

2. Предложенное аппроксимационное уравнение предлагается к применению как для численного определения, так и для соответствующего прогнозирования ТФС и реологических свойств неисследованных тернарных систем в виде порошка в зависимости от изменения параметров состояния и концентрации составных компонентов исследуемых систем.

3. Результаты исследования внедрены в Институте промышленности Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан, ТТУ имени академика М.С. Осими и ТГПУ имени Садриддина Айни при расчете теплофизических и термодинамических процессов, а также в качестве справочных данных и в учебном процессе (акты внедрения приведены в приложении к диссертации).

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

#### **Материалы опубликованных в журналах входящих в перечень ВАК РТ:**

[1-А]. **Рафиев, С.С.** Влияние воды на изменение коэффициента поверхностного натяжения этиленгликоля при атмосферном давлении /М.М. Сафаров, Х.Х. Назарзода, **С.С. Рафиев**, М.М. Гуломов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук, Душанбе, 2017, №2,- С.97 - 101.

[2-А]. **Рафиев, С.С.** Способ обобщения коэффициента адсорбции зернистых материалов (способ Сафарова М.М.) / С.С. Абдуназаров, Х.Х. Назарзода, **С.С. Рафиев** и др. // Вестник ТНУ. Серия естественных наук, Душанбе, 2017, №1/2,- С.132 -137.

[3-А]. **Рафиев, С.С.** Анализ применимости уравнение Тейта к различным классам веществ в конденсированном состоянии на примере плотности. II. Вычисление плотности. / М.М. Сафаров, Т.Р.Тиллоева, **С.С. Рафиев**, и др. // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. Душанбе - 2018, №2, - С. 92 - 98.

[4-А]. **Рафиев, С.С.** Модель цилиндрического контакта с плоской подложкой и расчет эффективной теплопроводности нанонити. / М.М. Сафаров, **С.С. Рафиев**, Д.Ш. Хакимов, и др.// Вестник ТНУ. Серия естественных наук. Душанбе, 2018, №2, - С.122 - 127.

[5-А]. **Рафиев, С.С.** Коэффициент адсорбции нанопорошка гидразина в адсорбенте воды при различном времени увлажнения. / **С.С. Рафиев**, М.М. Сафаров, Ш. З. Нажмудинов. // Вестник ТУТ. Душанбе, 2019, №2, (37) - С.22 - 28.

[6-А]. **Рафиев, С.С.** Кинематическая вязкость теплоносителей, внедренных в них нанопорошка гидразина. / **С.С. Рафиев**. // Вестник БГУ имени Носира Хусрава (научный журнал) серия естественных наук. Бохтар, 2021, №2/4 (93) – С. 54 - 58.

### Изобретение:

[7-А]. Сафаров, М.М. Устройства для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей. / М.М. Гуломов, С.С. Рафиев, Д.Ш. Раджабова, А.Р. Раджабов и др. // Малый патент Республики Таджикистан № ТЖ 923, 2017. – 5 с.

[8-А]. Сафаров, М.М. Комплексная солнечная установка для получения тепловой и электрической энергии / С.С. Рафиев, Х.Х. Назарзода, Д.Ш. Раджабова, А. Р. Раджабов, Б.М. Махмадиев и др. / Малый патент Республики Таджикистан № ТЖ 919, 2017. – 5 с.

[9-А]. Рафиев, С.С. Устройства слежения за солнцем. / Абдурахмонов А.Я., Абдуллоев Б.Т., Рафиев С.С. Назарзода Х.Х. и др. // Малый патент Республики Таджикистан №1202, 2018. -5 с.

[10-А]. Рафиев, С. С. Способ определения коэффициента адсорбции наноматериалов. / Сафаров М. М., Абдуназаров С. С, Рафиев С.С, и др. / Малый патент Республики Таджикистан № ТЖ 1279, 2021. – 9 с.

[11-А]. Сафаров, М. М. Установка для автоматизированного определения теплопроводности твердых тел / Саидзода К. Б., Рафиев С.С, Сафаров Ш. Р и др. // Малый патент Республики Таджикистан № ТЖ 1185, 2021. -7с.

### Публикация в других изданиях:

[12-А]. Рафиев, С. С. Адсорбционные, теплофизические, термодинамические свойства некоторых наночастиц и их влияние на поведение теплоносителей / М.М. Сафаров, Т.Р. Тиллоева, З.Ю. Норов, С.С. Рафиев и др. // 10 школа - семинар молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е. Алемасова “Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в энергомашиностроении”, Казань, 2016. - С. 217 - 220.

[13-А]. Rafiev, S. S. Influence of carbon nanotubes, nanometallic to exchange thermophysical and thermodynamics properties of hydrazinehydrate (rocket fuel) in dependence temperature and pressures/ М.М. Safarov, H.A. Zoirov, S.S. Rafiev e.t.// Conference book, 10 ICTP “Thermophysical properties measurements in the quality control of substances, materials and products». Dushanbe-Tambov, 3-8 october 2016. - P. 201-218.

[14-А]. Rafiev, S. S. Computer modeling of heat transfer process for nanofluids / М.М. Safarov, M.M. Gulomov, D.Sh. Rajabova, S.S. Rafiev et. // 4 International computer simulation, China, 2017, - p. 56.

[15-А]. Рафиев, С.С. Влияние наночастиц на изменение теплопроводности, температуропроводности диэтилового эфира включая критическое и за критической области параметров состояния./ М. М. Сафаров, М. М. Гуломов, Дж. Ф. Собиров, С. С. Рафиев, и др. // Материалы между-народной конференции фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. / Махачкала, 6 - 9 сентября 2017. - С.433 - 436.

[16-А]. Rafiev, S. S. Thermodynamic properties of nano fluids in dependence temperature and pressures. / М.М. Safarov, M.A. Zaripova, T.R. Tilloeva, S.S. Rafiev e.t. // 6<sup>th</sup> Rostock International Conference: THERMAL 2017 “Thermophysical Properties for Technical Thermodynamics” Institute of Technical Thermodynamics University of Rostock, Germany, 17–18 July 2017, - P. 77.

[17-А]. Рафиев, С. С. Уравнение типа Гейта для расчета плотности жидкостей, растворов при различных температурах и давлениях./ М.М. Сафаров, М.М. Гуломов, С.С. Рафиев и др. // Материалы МНПК “8 Ломоносовских чтения”, Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г, Душанбе, 27 - 28 апреля 2018 - С.34 - 38.

[18-А]. Рафиев, С.С. Физико - химические и адсорбционные свойства жидкого гидразина и хлорида гидразина. / М.М. Сафаров, С.С. Рафиев, Ш.Р. Сафаров, З.К. Хусайнов. // МНПК “Актуальные проблемы преподавания математики и естественных наук в кредитной системе обучения” КТГУ имени Носира Хусрава, Бохтар, 2018 - С. 458 - 461.

[19-А]. Рафиев, С.С. Определение коэффициента поверхностного натяжения растворов методом Ребиндера / М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, С.С. Рафиев. // Международный вод-

ноэнергетический форум - 2018, КГЭУ, Т. 1. 29 октября - 2 ноября 2018, Казань, Россия - (2018). - С.137 (Scopus).

[20-А]. **Рафиев, С.С.** Влияние металлических наночастиц на изменение реологических свойств углеводородов. / М.М. Сафаров, Х.Х. Ойматова, Ш.Р. Сафаров, С.С. **Рафиев, С.С.** Джумьяев и др. // 6 МНТК студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосберегающие и эффективность в технических системах”, Тамбов, 3 - 5 июня 2019, - С. 72 - 73.

[21-А]. **Рафиев, С.С.** Влияние нанопорошка гидразина на изменение энтропии тернарных систем кремниевой кислоты и многослойных углеродных нанотрубок / М. М. Сафаров, Ш. Р. Сафаров, С.С. **Рафиев** и др. // Материалы 4 МНК «Вопросы физической и координационной химии», 3 - 4 мая 2019. - С. 195 - 202.

[22-А]. **Рафиев, С.С.** Вклад нанотрубок и сажи на поведение реологических и термодинамических свойств простых эфиров и хладагентов. / М.М. Сафаров, Б.А. Тимеркаев, С.С. **Рафиев** и др. / 6 МНТК студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосберегающие и эффективность в технических системах”, Тамбов, 3 - 5 июня 2019, - С. 169 - 170.

[23-А]. **Рафиев, С.С.** Комплексная солнечная установка для получения тепловой и электрической энергии. / Ф. Абдужалилзода, М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, С.С. **Рафиев**, и др. // Материалы Международной конференции “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, Махачкала, 15 - 20 сентября 2019, - С.420 - 422.

[24-А]. **Рафиев, С.С.** Влияние нанопорошка гидразина на изменение энтропии, удельной теплоты плавления тернарных систем. / Х.Х. Ойматова, Ш.Р. Сафаров, С.С. **Рафиев**, М.М. Сафаров, Б.А.Тимеркаев и др. // МНК «Современные проблемы естественных и гуманитарных наук и их роль в укреплении научных связей между странами», Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе (10 - 11 октября 2019г.). - С. 109 - 113.

[25-А]. **Рафиев, С.С.** Математические модели динамики адсорбции нанопорошка гидразина. / М.М. Сафаров, С.С. **Рафиев**. // Материалы МНК «Актуальные проблемы преподавания математики и естественных наук в кредитной системы обучения КТГУ имени Носира Хусрава, (г. Бохтар, 18-19 октября соли 2019). - С.66-68.

[26-А]. **Рафиев, С.С.** Расчет одного из основного термодинамических потенциалов (энергии Гельмгольца) тернарных систем. / Ш.Р.Сафаров, Х.Х. Ойматова, С.С. **Рафиев**, М.М. Сафаров. // Сборник научных трудов 29 МНК “Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук”, Санкт Петербург 12 июля 2020 г. - 2020. - С.19 - 20 (doi: 10. 18411 /sciencepublic – 12 – 07 – 2020 - 03) idsp: science public – 12 – 07 – 2020 - 03, Scopus

[27-А]. **Rafiev, S.S.** Effect of hydrazine nanopowder on change of adsorption properties of ternary systems during water vapour wetting at room temperature / H.H. Oymatova, Sh.R. Safarov, **S.S. Rafiev**. // IARIA, 2CFP, ICQNM - 2020, 15-19 November, 2020, Ispane, Valenciya, 2020. - p.34.

[28-А]. **Рафиев, С.С.** Влияние нанопорошка гидразина на изменение адсорбционных свойства тернарных систем в процессе увлажнения паров воды при комнатной температуре. / Х.Х. Ойматова, Ш.Р. Сафаров, С.С. **Рафиев**. // Материалы 10 МНПК «Ломоносовские чтения», Ч.1., Душанбе, 25 - 26 сентября 2020г. - С.53 - 58.

[29-А]. **Рафиев, С.С.** Расчет одного из основных термодинамических потенциалов (энергии Гельмгольца) тернарных систем. / Ш.Р. Сафаров, Х.Х. Ойматова, С.С. **Рафиев**, М.М. Сафаров, М.А. Файзова. // Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук (Сборник научных трудов), Санкт - Петербург, 2020, - С. 19 - 21.

[30-А]. **Рафиев, С. С.** Влияние нанопорошка гидразина на изменение энергии Гиббса в тернарных системах. / Х.Х. Ойматова, Ш.Р. Сафаров, Дж. Ф. Собиров, М.М. Сафаров, С.С. **Рафиев**. // Сборник трудов. Инновация, Наука, Образования, (научный журнал) М. 2021, №27, - С.917 - 925.



**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН  
ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ОМУЗГОРИИ ТОҶИКИСТОН  
БА НОМИ САДРИДДИН АЙНӢ**

*Бо ҳуқуқи дастнавис*



*РУД 513.12 (575.3)*

**РАФИЕВ Саидбег Самиевич**

**ТАДҚИҚИ ХОСИЯТҲОИ ГАРМОФИЗИКӢ ВА ТЕРМОДИНАМИКИИ  
ГАРМИБРАНДАҲОИ НАНОХОКАИ ГИДРАЗИН ВОРИДКАРДАШУДА**

**Ихтисоси 01.04.14 – Физикаи ҳарорат ва назарияи техникаи гармо**

**АВТОРЕФЕРАТИ**  
**рисола барои дарёфти дараҷаи илмӣ**  
**номзади илмҳои техникӣ**

**Душанбе – 2024**

**Рисола дар кафедраи «Физикаи умумӣ»-и Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни иҷро шудааст.**

**Рохбари илмӣ:** **Назарода Хайрулло Холназар (Назаров Хайрулло Холназарович)** - доктори илмҳои техникӣ, дотсент, ректори Донишгоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон

**Муқарризони расмӣ:** **Баранов Игорь Владимирович** – доктори илҳои техникӣ, профессор, директори Маркази омузишии “Самаранокии системаҳои муҳандисӣ” - и МФДА ТО «Донишгоҳи миллии тадқиқоти ТИМО (ш. Санкт-Петербург)

**Назаров Холмурод Марипович**, - доктори илҳои техникӣ, профессор, директори Филиали Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии Академияи миллии илҳои Тоҷикистон дар вилояти Суғд.

**Муассисаи пешбар:** **Донишгоҳи технологии Тоҷикистон (ш. Душанбе)**

Ҳимояи диссертатсия «15» апрели соли 2024, соати «11:00» дар ҷаласаи шурои диссертатсионии **6D.KOA-041**, назди Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, дар суроғай зерин баргузор мегардад: 734042, ш. Душанбе, хиёбони акад. Раҷабовҳо 10 (толори маҷлисҳои шуроҳои диссертатсионӣ).

e-mail: [d.s6d.koa.041@yandex.ru](mailto:d.s6d.koa.041@yandex.ru)

Тақризхоро ба автореферат (дар ду нусха), ки бо мӯҳри муассиса тасдиқ шудаанд, хоҳиш менамоем ба суроғай зерин равон намоед: 734042, ш. Душанбе, хиёбони акад. Раҷабовҳо 10, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осими, ба котиби илмии шурои диссертатсионии 6D. KOA-041, н.и.т., дотсент Тағоев С.А.

Бо рисола ва автореферати он дар китобхонаи донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М. С. Осимӣ ва дар сайти расмии донишгоҳ шинос шудан мумкин аст: <http://ttu.tj>.

Автореферат санаи «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ с. 2024 ирсол шуд.

**Котиби илмии шурои диссертатсионии 6D. KOA-041, н.и.т., дотсент**



**Тағоев С.А.**

## ТАВСИФҲОИ УМУМИИ РИСОЛА

**Мухимияти мавзӯ.** Рушди физикаи ҳолати моеъ аз маълумот дар бораи хосиятҳои гармофизикӣ ва термодинамикии моеъҳо ва маҳлулҳо сарчашма мегирад. Ин маълумот дар соҳаи омӯзиши механизмҳои гармиинтиқолдиҳӣ, таъсири байниҳамдигарии зарраҳо, моделсозии сохтори моддаҳои моеъ, омӯзиши равандҳои ташаккули маҷмуаи молекулавӣ ва вайроншавии онҳо, ҳалли мушкилоти омехта ва ҳалшавандагӣ, инчунин равандҳои ба онҳо алоқаманди тағйиребии хосиятҳои моддаҳо саҳми назаррас дорад.

Этиленгликол ва маҳлулҳои оби он бо ҳокаи наногидразин аз ҷиҳати техникӣ бо он ҷолибанд, ки онҳо метавонанд дар сохтмон, мошинсозӣ ва дигар соҳаҳо бо истифода аз намудҳои гуногуни сорбентҳо, ҳалқунандаҳо ва часпонандаҳо истифода шаванд. Аз ин рӯ, истифодаи чунин моддаҳо тадқиқи маҷмӯи хосиятҳои гармофизикӣ ва термодинамикии онҳоро талаб мекунад, ки ба муайян кардани соҳаи оқилонаи истифодаи онҳо имкон дода, бешубҳа муҳим аст ва муносибати илмӣ-асоснокро ба ҳалли он талаб мекунад.

Дар кори мазкур тадқиқот ба ҳалли таҷрибавӣ-назариявии ин масъала бахшида шудааст, ки мавзӯи он омӯзиши хосиятҳои физикию химиявӣ (зичӣ, гармигузаронӣ ва ғайра), хосиятҳои реологӣ (часпакии кинематикӣ ва динамикӣ) ва кинетикии этиленгликол ва маҳлулҳои оби он бо иловаҳои наноҳокаи гидразин дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун, ки ба истифодаи самараноки онҳо ҳамчун гармибаранда ё ҷисми корӣ мусоидат мекунад, дар равандҳои интиқоли масса ва гармӣ, инчунин ҳангоми таҳияи моделҳои математикии ин равандҳоро дар бар мегирад. Дар ин кор инчунин имкониятҳои ба даст овардани вобастагиҳои коррелясионӣ, ки муносибати байни параметрҳои номбаршударо муқаррар мекунад, баррасӣ карда мешаванд.

**Маводоҳои тадқиқотӣ:** этиленгликол ва маҳлулҳои оби он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин.

**Дарачаи таҳияи мавзӯи тадқиқот.** Масъалаҳои тадқиқи хосиятҳои асосии гармофизикӣ, термодинамикӣ ва реологии моеъҳо ва маҳлулҳоро дар шакли тоза ва бо миқдори гуногуни нанозарраҳо дар ҳарорат ва фишори гуногун на танҳо олимони ватанӣ, инчунин олимони хориҷӣ низ машғуланд. Масалан, тадқиқоти К.Д. Гусейнов (Боку), В.Я. Рудняк, В.М. Терехов (Новосибирск), Чои, Д. Боне (Олмон), Ч. Никос (Юнон), Тонгфан Сан, Ан Хуан (Хитой) ва ғайра, инчунин корҳои назариявии Гамилтон, Кроссер, Хашин - Штрикман, Максвелл, Кихара ва Викс – Чендлер - Андерсен ва ғайра. Механизми интиқол қисман таҳқиқ карда шудааст, аммо саволҳо оид ба сабабҳо ва механизмҳои ин хосиятҳо барои гурӯҳҳои алоҳидаи моеъҳои органикии тоза ва ҳам бо иловаи нанозарраҳо ошкор карда нашудаанд.

**Мақсади рисола:** тадқиқи комплекси таҷрибавӣ-назариявии хосиятҳои физикию химиявӣ (коэффитсиенти гармигузаронӣ, зичӣ, хосиятҳои реологӣ ва кинетикӣ)-и маҳлулҳои оби этиленгликол ҳангоми параметрҳои гуногуни ҳолат ва концентратсияи наноҳокаи гидразин.

Барои ноил шудан ба ҳадафи гузошташуда, **вазифаҳои** дар поён овардашуда бояд ҳал карда шаванд:

- асоснок кардани зарурияти истифодаи усулҳои нокили тафсон, усули гидростатикӣ, вискозиметри капиллярӣ ҳангоми тадқиқи таҷрибавии хосиятҳои гармофизикӣ, реологӣ ва кинетикии маводҳои тадқиқот;

- гузаронидани тадқиқоти комплекси таҷрибавӣ-назариявии хосиятҳои гармофизикӣ (зичӣ, гармигузаронӣ), реологӣ (коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикӣ) ва хосиятҳои кинетикии маводҳои тадқиқот ҳангоми параметрҳои гуногуни ҳолат ва концентратсияи наноҳокаи гидразин;

- ба даст овардани муодилаҳои эмпирикӣ, ки вобастагии хосиятҳои гармофизикӣ, реологӣ ва кинетикии маводҳои тадқиқотиро аз параметрҳои ҳолат ва концентратсияи наноҳокаи гидразин муқаррар мекунанд.

#### **Навгони илмӣ:**

1. Дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои муайян кардани гармигузаронии наномоеъҳо сохта шудаанд (патенти хурди ҚТ № ТҶ 923, 2017. 5 с.) ва коэффитсиенти адсорбсияи наномаводҳо (патенти хурди ҚТ ТҶ 1279, 2021. 9 с.).

2. Қиматҳои таҷрибавии коэффитсиенти гармигузаронӣ, зичӣ, коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикии этиленгликол ва маҳлулҳои оби он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин дар ҳудудҳои ҳарорати (273-363) К ва фишори (0,101-14,42) МПа ба даст оварда шудааст.

3. Дар асоси маълумоти таҷрибавӣ қиматҳои ҳисобшудаи гармигузаронӣ, часпакӣ, зичӣ ва адади Прандтл барои этиленгликол ва маҳлулҳои оби он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин дар ҳудуди ҳарорати (273-363) К ва фишори (0,101-14,42) МПа ба даст оварда шудааст.

4. Дар асоси қоркард ва ҷамъбасти маълумотҳои таҷрибавӣ муодилаҳои эмпирикӣ барои ҳисоб кардани коэффитсиенти гармигузаронӣ, зичӣ, коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикии этиленгликол ва маҳлулҳои оби он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин дар ҳудуди ҳарорати (273 - 363) К ва фишори (0,101 - 14,42) МПа ҳосил карда шудаанд.

#### **Аҳамияти назариявӣ ва амалии рисола:**

1. Ҷадвалҳои муфассали гармигузаронӣ, зичӣ, коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикии этиленгликол ва маҳлулҳои оби он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин дар ҳудудҳои ҳарорати (273-363) К ва фишори (0,101 - 14,42) МПа тартиб дода шудаанд, ки онҳоро ба ташкилотҳои лоиҳавӣ барои татбиқ дар равандҳои гуногуни химиявӣ дар соҳаи энергетикаи гармо ва мошинсозӣ тавсия додан мумкин аст.

2. Натиҷаҳои тадқиқот оид ба гармигузаронӣ, зичӣ, коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикии этиленгликол ва маҳлулҳои оби он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин дар ҳудудҳои ҳарорати (273 - 363) К ва фишори (0,101 - 14,42) МПа дар Институти саноати Вазорати саноат ва технологияҳои нави ҚТ, дар ДДОТ ба номи С. Айнӣ, дар ДТТ ба номи акад. М. С. Осимӣ ҳангоми ҳисоб кардани реакторҳои моделӣ ва равандҳои технологӣ ҷорӣ карда шудаанд ва маълумоти таҷрибавӣ ҳамчун маълумотнома истифода мешаванд (санадҳои татбиқ замима гардидааст).

3. Маълумоти таҷрибавии бадастомада ба сифати маълумотнома барои тадқиқи системаҳои маҳлулҳои техникаи ду ва секомпонента метавонанд ҳангоми сохтани моделҳои математикӣ ва физикӣ дар ҳисобкунӣҳои муҳандисӣ ва конструкторӣ барои муқаррар ва интихоби речаҳои самараноки механизмҳо ва дастгоҳҳои гуногун истифода шаванд.

4. Бо истифода аз маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба зичӣ, гармигузаронӣ ва хосиятҳои реологӣ гурӯҳи маҳлулҳои тадқиқшуда дар фишор ва тағйирёбии ҳарорати таҷрибаҳои муодилаҳои эмпирикӣ ва муодилаи ҳолат (дар шароити тағйирёбии фишор ва ҳарорати таҷриба) ба даст оварда шудаанд. Бори аввал барои гурӯҳи тадқиқшудаи наномоеъҳо муодилаҳои навии Тейта, Мамедов ва Ахундов истифода шудаанд ва инчунин коэффитсиентҳои онҳо бо усули ҳисобкунӣ ба даст оварда шудааст.

5. Дастгоҳҳои сохташуда барои ҷен кардани зичӣ, гармигузаронӣ (усули нокили тафсон, гармкунии монотонӣ, усули гидростатикӣ)-и маҳлулҳои дар Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айнӣ, дар Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими, инчунин дар Институти саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон истифода мешаванд (санадҳои татбиқ замима карда шудааст).

**Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо.** Дурустии натиҷаҳои тадқиқот таъмин карда мешаванд:

- бо истифодаи асбобҳо ва дастгоҳҳо, ки аз озмоиши дахлдор гузаштаанд, ки натиҷаҳои ҷенкуниро бо дақиқии қаноатбахш такрор мекунад;
- мувофиқати қаноатбахши натиҷаҳои бадастомада бо натиҷаҳои дар ҷараёни таҷрибаҳо бо усулҳои дигари таҳлил ба даст овардашуда;
- таъмини пурраи метрологии асбобҳои ҷенкунӣ, инчунин истифодаи дурусти назарияи озмоиш ва ҳатогиҳои ҷенкунӣ ва мувофиқати қаноатбахши маълумоти ҳисобкунӣ ва таҷрибавӣ аз рӯи параметрҳои тадқиқшуда.

**Ба ҳимоя пешниҳод мешаванд:**

- дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои муайян кардани гармигузаронии наномоеъҳо (патенти хурди ҚТ № ТҶ 923, 2017. 5 с.) ва коэффитсиенти адсорбсияи наномаводҳо (патенти хурди ҚТ № ТҶ 1279, 2021. 9 с.);
- қиматҳои таҷрибавӣ оид ба коэффитсиенти гармигузаронӣ, зичӣ, коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикии этиленгликол ва маҳлулҳои оби он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин дар ҳудуди ҳарорати (273-363) К ва фишори (0,101-14,42) МПа;
- қиматҳои ҳисобшудаи коэффитсиенти гармигузаронӣ, часпакӣ, зичӣ ва адади Прандтл барои этиленгликол ва маҳлулҳои оби он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин дар ҳудуди ҳарорати (273 - 363) К ва фишори (0,101 - 14,42) МПа;
- муодилаҳои эмпирикӣ барои ҳисоб кардани коэффитсиенти гармигузаронӣ, зичӣ, коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикии этиленгликол ва маҳлулҳои оби он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин дар ҳудуди ҳарорати (273-363) К ва фишори (0,101-14,42) МПа.

**Саҳми шахсии муаллиф** дар интихоби усулҳои дахлдор ҳангоми гузоштани вазифаҳои тадқиқот, коркард, омӯзиш ва таҳлили адабиёти ба самти тадқиқот бахшидашуда, иҷрои маҷмӯи тадқиқоти назариявӣ - таҷрибавӣ оид ба ҳосиятҳои гармофизикии маводҳои тадқиқоти ва коркарди онҳо, муқаррар кардани қонуниятҳои рафтори намунаҳо, инчунин ҷамъбасти қор мебошад. Тадқиқот, таҳия ва нашри мақолаҳо дар маҷаллаҳои илмӣ аз ҷониби муаллиф бо дастгирии роҳбари илмӣ анҷом дода шудааст.

**Баррасии натиҷаҳои рисола.** Натиҷаҳои асосии қори илмии пешниҳодшуда дар **конфронсҳо ва симпозиумҳои байналмилалӣ** зерин пешниҳод карда шуданд: 10 школа - семинар молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е. Алемасова “Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении”, Казань (2016); 10 Международная теплофизическая школа “Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий”, Душанбе-Тамбов, (2016); Международная конференция «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», г. Махачкала (2017); 7 Международная научно-практическая конференция «Независимость - основа развития энергетики страны», Бохтар (2017); 1-я научно - практическая Международная конференция “Информационные технологии в управлении и моделировании мехатронных систем”, Тамбов (2017); Научно-практическая конференция “Ломоносовские чтения”, Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе (2017); Научно - практическая конференции “8 - е Ломоносовские чтения”, Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе (2018); Международный водно-энергетический форум - 2018. КГЭУ, Казань (2018); 4 Международная научная конференция «Вопросы физической и координационной химии», Душанбе (2019); 6 Международная научно - техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосберегающие и эффективность в технических системах”, Тамбов (2019); Международная научная конференция «Современные проблемы естественных и гуманитарных наук и их роль в укреплении научных связей между странами», посвящённая 10 - летию Филиала

МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе (2019); 29 Международная научная конференция “Научные тенденции: вопросы точных и технических наук”, Санкт Петербург (2020); IARIA, 2 CFP, ICQNM - 2020, Ispane, Valenciya (2020); 10 научно - практическая конференция “Ломоносовские чтения”, Душанбе (2020).

**Аз рӯи натиҷаҳои рисола** 30 корҳои илмӣ нашр гардидааст, ки 6-тои он дар маҷаллаҳои тавсиянамудаи КОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, аз ҷумла як нашрияти ягона (бе ҳаммуаллифон) ва 19 тезиси мақолаҳо нашр шуда, 5 патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон гирифта шудааст.

**Соҳтор ва ҳаҷми кор.** Рисола аз муқаддима, панҷ боб, хулосаҳо, рӯйхати адабиёти истифодашуда (158 номгӯ) ва замима иборат аст. Рисола дар 204 саҳифаи матни компютерӣ оварда шуда ва 42 ҷадвал, 46 расм дорад (замима дар 47 саҳ.).

**Мутобиқати шиносномаи ихтисос.** Дар мавзӯ, усулҳои тадқиқоти аз тарафи муқаррароти илмӣ пешниҳод шудаи рисола ба шиносномаи ихтисоси кормандони илмии 01.04.14 - “Физикаи ҳарорат ва назарияи техникаи гармо” мувофиқ мебошад, дар қисми банди 5 “Тадқиқи таҷрибавӣ ва назариявии конвексияи якфаза, озод ва маҷбури дар ҳудудҳои васеи гармибарандаҳо, параметрҳои речави ва геометрии сатҳҳои гарми-интиқолдиҳандаҳо” дар пункти 7 “тадқиқи таҷрибавӣ ва назариявии равандҳои интиқоли якҷояи гармӣ ва масса дар маҳлулҳои бинари ва бисеркампонента бо иловаи нано-зараҷаҳои саҳт аз ҷумла наномоеъҳои аз ҷиҳати химиявӣ таъсиркунанда”.

## МАЗМУНИ АСОСИИ РИСОЛА

Дар муқаддима аҳамияти мавзӯи тадқиқотии интихобшуда, аҳамияти илмӣ ва амалии онро асоснок карда шудааст.

### Боби 1. ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКИҶО ХИМИЯВИИ ГИДРАЗИН ВА МАҲЛУЛҲОИ ОН (ШАРҲИ АДАБИЁТ)

Дар боби якум шарҳи мухтасари адабиёт оид ба омӯзиши хосиятҳои гармофизикӣ, реологӣ ва кинетикии маҳлулҳои техникӣ оварда шудааст, инчунин натиҷаҳо оид ба омӯзиши татбиқи амалии натиҷаҳои тадқиқоти муаллифони гуногун ва баррасии дахлдори адабиёт оид ба омӯзиши гидразин ва этиленгликол пешниҳод карда мешаванд.

### Боби 2. УСУЛҲОИ ТАҶРИБАВИИ ТАДҚИҚИ ХОСИЯТҲОИ ГАРМОФИЗИКӢ ВА РЕОЛОГИИ МАҲЛУЛҲО ДАР ШАРОИТҲОИ ГУНОГУН

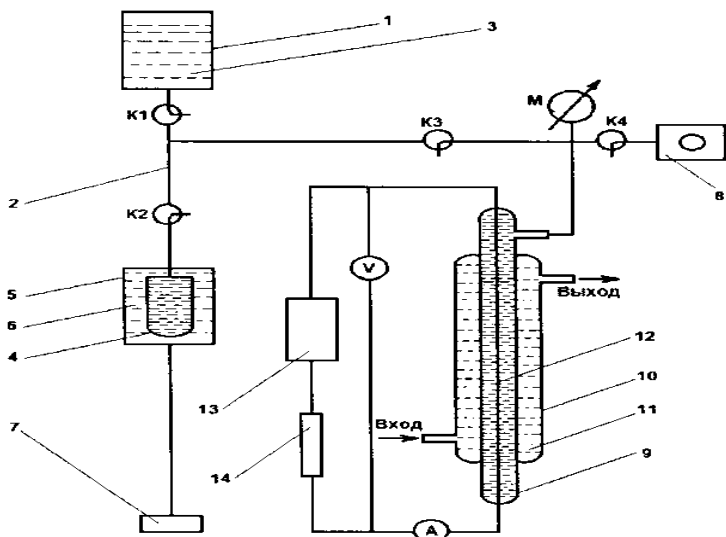
**Боби дуюм ба тавсифи схемаҳо ва тартиби кори дастгоҳҳо ва асбобҳои бахшида шудааст, ки хангоми тадқиқи гармигузаронӣ, часпакии динамикӣ ва зичӣ вобаста ба параметрҳои гуногуни ҳолат (ҳарорат, фишор) ва консентратсияи гидразин истифода мешаванд. Дараҷаи таъсири наноҳокаи гидразин ба тағйирёбии хосиятҳои термодинамикӣ ва гармофизикӣ (коэффитсиенти гармигузаронӣ, коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикӣ)-и маҳлулҳои техникӣ нишон дода шудааст.**

#### 2.1. Дастгоҳ барои муайян кардани коэффитсиенти гармигузаронии нано - моеъҳо (усули ноқили тафсон)

Унсурҳои асосии дастгоҳ барои муайян кардани коэффитсиенти гармигузаронии наномоеъҳо (усули ноқили тафсон) аз насоси вакуумӣ ва манометр иборат мебошад, ки тавассути ҷуммак бо зарфи дохилии найчаи ченкунанда пайваست карда шудаанд, ки дар навбати худ дар зарфи моеъи термостатикӣ (зарфи беруна) ҷойгир карда шудааст. Дар зарфи дохилӣ гармкунак (мӯяки тафсон) ҷойгир аст, ки бо манбаи таъминоти барқи доимӣ, резистор, амперметр ва вольтметр пайваст шудаанд. Дар дастгоҳ зарфи аз пӯлоди зангназананда сохташуда бо намунаи тадқиқотӣ пур карда мешавад. Зарф тавассути ҷуммакҳо бо халтаҳои полиэтиленӣ пайваст карда шудааст, ки дар зарфи пур аз глицерин, ки бо манометри борпоршенӣ пайваст аст, ҷойгир карда шудааст. Насоси вакуумӣ ва

манометр ба зарфи дохилии найчаи ченкунӣ пайваст карда шудаанд. Найчаи ченкунанда инчунин дар зарф бо муҳити термостатикӣ (ҳаво) ҷойгир карда шудааст. Дар зарфи дохилӣ гармкунаки никелӣ дар шакли ноқил ҷойгир карда шудааст, ки занҷири барқиро сарбаст менамояд. Гармкунак бо манбаи барқ, резистор, амперметр ва вольтметр пайваст гардидааст.

Фарқи асосии прототип аз дастгоҳи пешниҳодкардаи мо ин набудани имконияти тадқиқи газҳо ва инчунин татбиқи таҷрибаҳо вобаста ба фишор мебошад. Ҳалли техникӣ, яъне таҷҳизоти иловагии насбкунӣ бо зарфи фишордиҳанда бо ҳалтаи полиэтиленӣ ва манометри бордор имкон дод, ки ба натиҷаи дилхоҳ ноил шавад (расми 1).



**Расми 1 – Тарҳи дастгоҳи таҷрибавӣ барои ченкунии гармигузаронии наномоеъҳо:**  
**1 – зарфи пӯлодини зангназананда; 2 – найча; 3 - намуна; 4 – ҳалтачаи полиэтиленӣ; 5 – зарфи фишордиҳанда; 6 – глитсерин; 7 – манометри борпоршени МП – 2500; 8 - насоси вакуумӣ; 9 - зарфи дохилӣ; 10 – зарфи берунӣ; 11 – муҳити доиминиғдорандаи ҳарорат; 12 – гармкунаки барқии никелӣ; 13 – манбаи таъминоти барқ; 14 – резистор (патенти хурди ҶТ №ТJ 923, 2017, 5 с.)**

Дастгоҳ чунин кор мекунад. Пешаки зарфи (1) бо намунаи тадқиқотӣ ва зарфи беруна бо муҳити доиминиғдорандаи ҳарорат (ҳаво) пур карда мешавад. Баъди пайвастании занҷири электрикӣ аз рӯи ношондодҳои вольтметр ва амперметра тавоноии гармкунаки барқӣ дар ҳарорати хона ва фишори атмосферӣ бо формулаи (1) муайян карда мешавад:

$$W=IU, \quad (1)$$

дар ин ҷо:  $W$  - тавоноӣ (Вт);  $I$  – қувваи ҷараён (А);  $U$  - шиддат (В).

Бо формулаи (1) тавоноии гармкунак ва бо формулаи (2) муқовимати онро вобаста ба ҳарорат муайян мекунанд. Аз рӯи формулаи (2) инчунин ҳароратро дар ячейкаи ченкунӣ муайян кардан мумкин аст:

$$R=R_0(I+\alpha(T-T_0)), \quad (2)$$

дар ин ҷо:  $R$  – муқовимати ноқили никелӣ (Ом);  $R_0$  - муқовимати ноқили никелӣ дар ҳарорати хона (Ом);  $\alpha$  – коэффитсиенти васеъшавии ҳароратии муқовимат (1/К);  $T_0$  - ҳарорати хона (К);  $T$  - ҳарорати таҷриба ҳангоми зина ба зина гармкунӣ (К).

Аз рӯи қиматҳои тавоноӣ ва муқовимати хоси гармкунак бо муайян кардани фарқи ҳароратҳо, коэффитсиенти гармигузаронии намунаҳо бо ифодаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$\lambda_{cp} = \frac{W \ln \left( \frac{T_1}{T_2} \right)}{2\pi L (T_1 - T_2)}, \quad (3)$$

дар ин ҷо:  $\lambda_{cp}$  – коэффитсиент гармигузаронии намунаи тадқиқотӣ [Вт/(м·К)],  $W$  – тавоноии гармкунаки никелӣ (Вт);  $T_1 - T_0$  – фарқи ҳароратҳо (К);  $L$  – дарозии ноқил (м);  $r_0$  – радиуси ноқили никелӣ (мм);  $r_1$  – радиуси дохилии силиндри берунӣ (мм):

$$\lambda = \frac{R_1 c m \delta}{2} \quad (4)$$

## 2.2. Дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои тадқиқи таҷрибавии зичӣ, часпакии наномоеъҳо дар фишори атмосферӣ

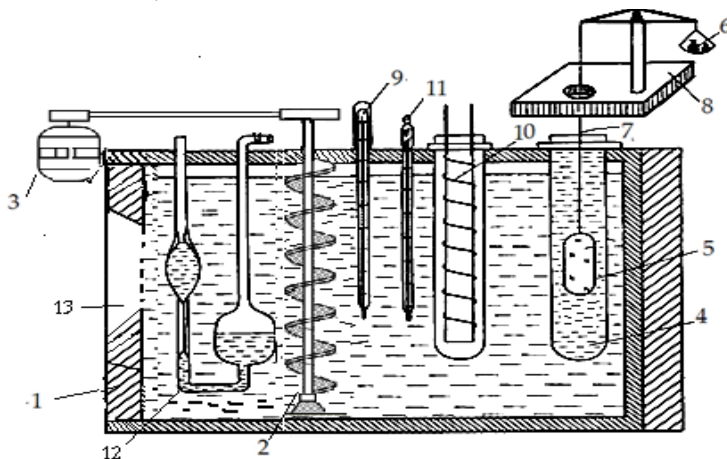
То имрӯз ягон муодилаи ҳолати универсалӣ вучуд надорад, ки бо ёрии он масъалаи мушаххас ҳал карда шавад. Аз ин рӯ, расидан ба ин ҳадаф танҳо тавассути тадқиқоти таҷрибавӣ имконпазир аст.

Усулҳое, ки ҳангоми муайян кардани вобастагии  $\rho - \rho - T$ -и моддаҳои моеъ бештар истифода мешаванд, ба ду категория тақсим мешаванд: онҳое, ки доимии вазни моеъи таҷрибавиро таъмин мекунанд ва ҳаҷми он тағйир меёбад ва онҳое, ки ба баркашии гидростатикӣ асос ёфтаанд. Дар ҷараёни омӯзиши таҷрибавии намунаҳои худ мо аз усули дуҷум истифода намудем, аммо бо назардошти хусусиятҳои онҳо (расми 2). Интиҳоби ин усул аз соддагӣ ва дақиқии нисбатан баланди натиҷаҳо иборат аст. Вазифаи гузошташуда интиҳоби дастгоҳро талаб мекард, ки дар соҳаи назарраси тағйир додани параметрҳои ҳолат, аз ҷумла минтақаи сарҳадии поёнӣ, ҳолати моеъ ва ҳолати дуфазаи модда озмоишҳо гузаронида шавад. Ҳамин тариқ, интиҳоби мо дар усули баркашии гидростатикӣ қарор гирифт (асосгузори усул профессор И.Ф. Голубев ва шогирдони ӯ мебошанд).

Формулаи ҳисобкунӣ чунин аст:

$$\rho = \frac{G_1 - (G_1 - G_2)}{V_{II} - V_H}, \quad \text{кг/м}^3 \quad (5)$$

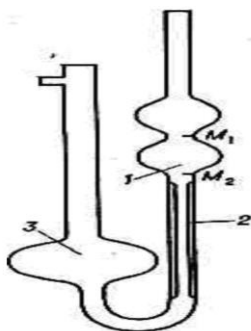
дар ин ҷо:  $\rho$  – зичии моддаи тадқиқотӣ дар ҳаарорати додашуда,  $\text{кг/м}^3$ ;  $G_1$  – вазни шиновараки квартсӣ дар ҳаво;  $G_2$  – вазни шиновараки квартсӣ, ки дар моеъи тадқиқшаванда ғутонида шудааст;  $V_{II}$  – ҳаҷми шиновараки квартсӣ;  $V_H$  – ҳаҷми ресмони манганинӣ.



**Расми 2.** - Дастгоҳи таҷрибавӣ барои таҷқиқи таҷрибавии зичии моддаҳои моеъ дар фишори атмосфера: 1 – термостат; 2 – омехтакунанда; 3 муҳаррики барқӣ; 4 – камера бо моддаи тадқиқшаванда; 5 – шиновараки квартсӣ; 6 – борҳои мувозинаткунанда; 7 – ресмон (сим)-и манганинӣ; 8 – тарозуи аналитикӣ; 9 – термометри симобӣ; 10 – гармкунак; 11 – ҳарорат-санҷи контактӣ; 12 – вискозиметри Освалд; 13 – тирезача

## 2.3. Усули ченкунии коэффитсиенти часпакии динамикии моеъҳо ва маҳлулҳо

Коэффитсиенти часпакии динамикии намунаҳои тадқиқотиро мо бо ёрии вискозиметри капиллярӣ тадқиқ намудем (рисунок 3).



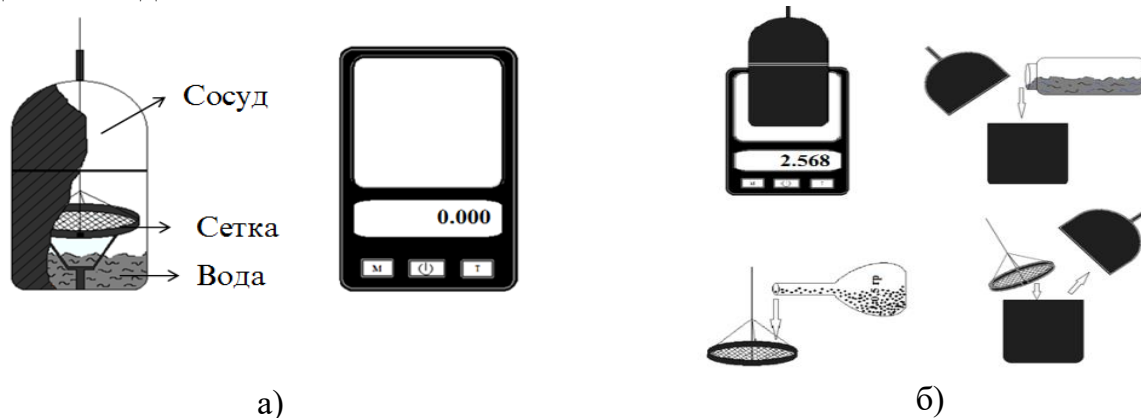
**Расми 3.** Намуди умумии вискозиметри шишагӣ: 1 - васеъшавӣ; 2 - капилляр; 3 - зарф;  $M_1$ ,  $M_2$  нишонаҳои ченкунии вақт

## 2.4. Дастгоҳи таҷрибавӣ барои муайян кардани коэффитсиенти адсорбсия ва массаи маводи донадор (патенти хурди ЧТ № TJ 1279, 2021, -5 с., № TJ 1280, 2021, -7 с.)

Ҳосиятҳои кинетикии намунаҳои таҷрибавиро дар дастгоҳи дар расми 4 овардашуда тадқиқ карда шудааст. Дастгоҳи ихтироот кардашуда, ду қисми асосиро дар бар мегирад:



1) зарфи цилиндри бо тури ҷудошаванда; 2) сониясанҷ ва тарозуи электронӣ (бо сахҳии ченкунӣ 0,001 г). Хусусиятҳои геометрии зарф чунин аст: диаметр ~ 5 см, баландӣ - 8 см, диаметри тур ба диаметри дохилии зарф баробар аст ва масоҳати ҳар як ячейкаи тур 1 мм<sup>2</sup> аст. Тартиби гузаронидани таҷриба чунин аст: бо ёрии тарозу массаи зарф пеш ва баъд аз пур кардани он бо об чен карда мешавад. Ба ҳамин тарз массаи намунаҳоро бо тур муайян мекунанд. Тур бо намуна дар дохили зарф ҷойгир карда мешавад ва вақти намноккунӣ бо ёрии сониясанҷ сабт карда мешавад. Ин тартиби ченкуни ҳар баъди ҳар 30 дақиқа иҷро карда мешавад.



**Рисунок 4** – Дастгоҳи таҷрибавӣ барои муайян намудани коэффитсиенти адсорбсия ва массаинтиқолдиҳӣ: а – дастгоҳ; б – тарозуи электронӣ

Формулаҳо барои ҳисоб кардани коэффитсиентҳои адсорбсия ва массаинтиқолдиҳии наноҳокаи тадқиқшаванда аз рӯи маълумоти аз таҷрибаҳо гирифташуда чунин намуд доранд (патентҳои хурди ҚТ №ТJ 824, 2016 ва №ТJ 825, 2016).

$$\Gamma = \left[ \frac{m - m_0}{\mu \cdot m_0} \right], \text{ (моль/кг);} \quad (6)$$

$$\beta = \left[ \frac{m - m_0}{S \cdot t} \right], \text{ (кг/м}^2\text{с).} \quad (7)$$

Барои санҷиши қиматҳои гирифташуда аз рӯи коэффитсиентҳои адсорбсия, варамкунӣ ва массаинтиқолдиҳӣ бо усули пешниҳодшуда дар дастгоҳи таҷрибавӣ, ки аз ҷониби профессор М.М. Сафаров ва шогирдони ӯ таҳия шудааст (патентҳои ҚТ №ТJ 490, 2010; №ТJ 824, 2016 ва №ТJ 825, 2016), ченкуниҳо гузаронида шудаанд.

### **Боби 3. УСУЛҲОИ ИСТИФОДАИ ГИДРАЗИН ДАР РОҲИ КОНДЕНСАТӢ – ТАЪМИНОТӢ БАРОИ ПЕШГИРИИ КОРРОЗИЯ**

**Дар боби сеюм** усули коркарди гидразинии оби таъминоти нерӯгоҳҳои барқии ҳароратӣ оварда шудааст. Коркарди гидразинӣ дар якҷоягӣ бо деаэрасияи ҳароратии оби таъминоти дастгоҳи дегӣ чораи қатъии ҳифзи метали роҳи буғӣ-конденсатӣ аз зангзании оксигенӣ мебошад ва инчунин барои кам кардани миқдори оксидҳои оҳан дар обҳои таъминотӣ ва дегӣ истифода мешавад. Он инчунин барои хорич кардани оксиген дар конденсатори турбина истифода мешавад. Коркарди оби таъминотӣ бо гидразин ҳатман дар ҳамаи нерӯгоҳҳои барқии ҳароратии дорои дегҳои бо фишори баланд коркунанда, хусусан ҳангоми кори нокифояи деаэраторҳои ҳароратӣ тавсия дода мешавад.

## Боби 4. ОМУҶИШИ ХОСИЯТҲОИ ГАРМОФИЗИКӢ ВА ТЕРМОДИНАМИКИИ МАҲЛУЛҲОИ ГИДРАЗИН ВОБАСТА БА ҲАРОРАТ ВА КОНСЕНТРАТСИЯИ МАҲЛУЛҲО

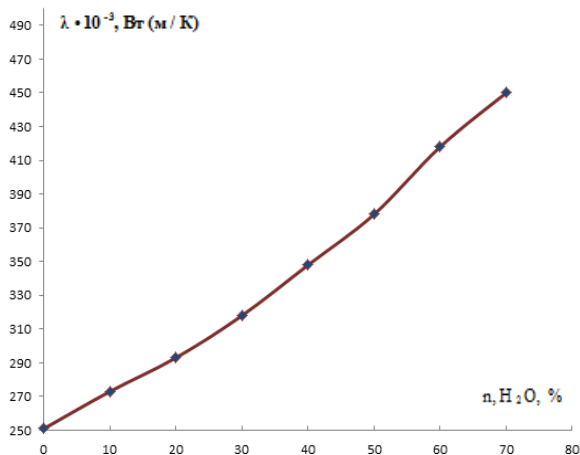
Дар боби чорум қиматҳои таҷрибавии хосиятҳои термодинамикӣ, гармофизикӣ ва реологии маҳлулҳои наноҳокаи гидразин, инчунин дараҷаи таъсири онҳо ба хосиятҳои физикию химиявии моддаҳои тадқиқшаванда оварда шудаанд. Бо ёрии маълумоти таҷрибавӣ гирифташудаи часпакии динамикӣ ва зичии маҳлулҳои тадқиқшуда коэффитсиенти часпакии кинематикӣ маҳлулҳои моеъ ҳангоми параметрҳои гуногуни ҳолат ва консентратсияи наноҳокаи гидразин, ки дар гармибарандаҳо ворид карда мешаванд, ҳисоб карда шудааст. Илова бар ин, бо донишдони маълумоти ҳисобшуда оид ба часпакии динамикӣ ва кинематикӣ адади Прандтл ҳисоб карда шудааст.

### 4.1. Натиҷаҳои омуҷиши таҷрибавии коэффитсиенти гармигузаронии маҳлулҳои техникӣ гидразин дар ҳароратҳои гуногун ва фишори атмосферӣ

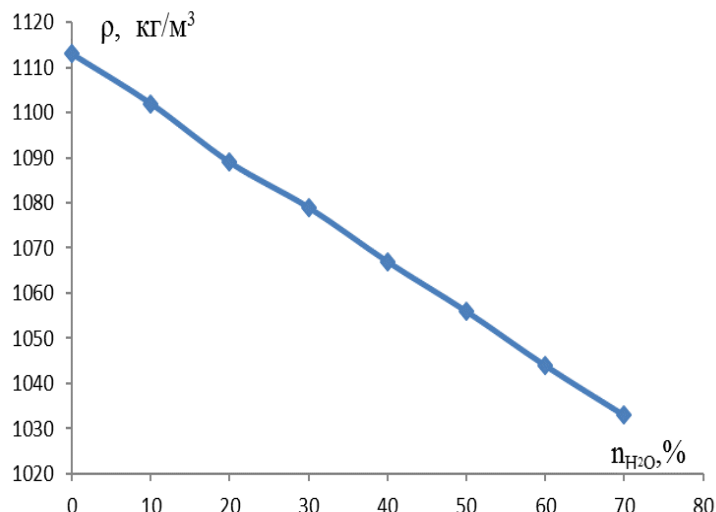
Маҳлулҳои техникӣ дар ҳолати моеъ, аз ҷумла гидразин ва этиленгликол дар техника хеле васеъ истифода мешаванд, масалан, ҳамчун барқароркунанда барои муҳофизат аз коррозия ва тағшиншавӣ дар муҳитҳои гарм ва хунуккунандаи таҷҳизоти гармоэнергетикӣ. Бояд қайд кард, ки маҳлули обии этиленгликол (50% этиленгликол ва 50% об) бештар дар амалия истифода мешавад. Намунаҳои омухтаи мо этиленгликоли аз ҷиҳати химиявӣ тоза ва наноҳокаи гидразин тайёр карда шудаанд. Натиҷаҳои тадқиқи коэффитсиентҳои гармигузаронӣ ва часпакии динамикӣ, инчунин зичии намунаҳо дар ҳароратҳои гуногун ва фишори атмосферӣ дар мувофиқан расмҳои 5 ва 6 нишон дода шудаанд. Барои ошкор кардани таъсири консентратсияи об ба тағйиребии хосиятҳои гармофизикӣ ва реологии системаи маҳлулҳои дукомпонентӣ (этиленгликол ва об) дар координатаҳои мувофиқ вобастагҳои функционалии зерин сохта шудаанд:

$$\lambda = f(n_{\text{H}_2\text{O}}); \rho = f(n_{\text{H}_2\text{O}}); \eta = f(n_{\text{H}_2\text{O}}); \nu = f(n_{\text{H}_2\text{O}}).$$

Графики ин вобастагҳо дар поён оварда шудаанд (расмҳои 4 - 7).



**Расми 4** - Вобастагии коэффитсиенти гармигузаронии этиленгликоли моеъ аз консентратсияи об дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати хона

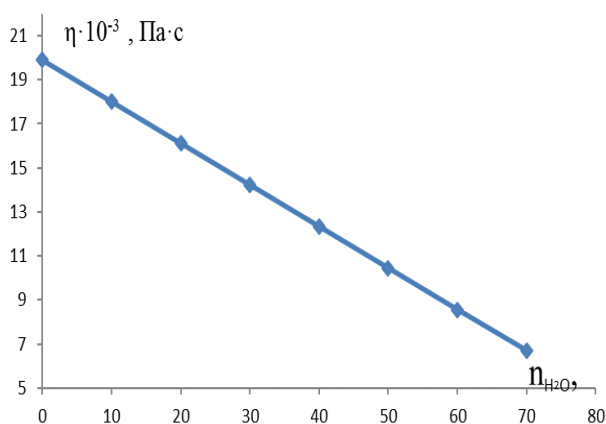


**Расми 5** - Вобастагии зичии этиленгликоли моеъ аз консентратсияи об дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати хона

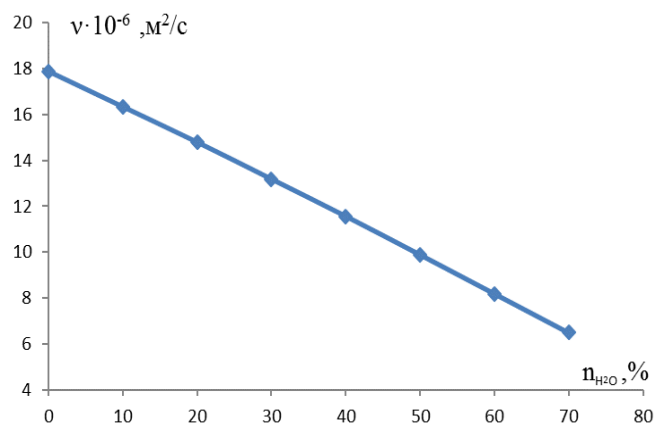
Мувофиқи расми 4, гармигузаронии маҳлул бо афзоиши консентратсияи об то 79,2% меафзояд. Ба андешаи мо, ин ба тағйиребии зичии сохтори маҳлулҳои моеъ вобаста аст.

Маълумоти расми 5 нишон медиҳад, ки афзоиши миқдори об дар этиленгликол (маҳлули дукарата) зичии системаро амалан тибқи қонуни хаттӣ (ба ҳисоби миена то 7,19%) паст мекунад. Ба гумони мо, ин ба тағйирёбии ҳаҷми маҳлулҳои моеъ вобаста аст.

Тавре ки аз расмҳои 6 ва 7 дида мешавад, бо афзоиши консентратсияи об дар этиленгликол (маҳлули дукарата) ҳам часпакии динамикӣ ва ҳам кинематикии ин системаҳо қариб аз рӯи қонуни хаттӣ қоҳиш меёбад, яъне ҳангоми илова кардани об ба этиленгликол то 70% дар фосилаи аз 0 то 70% об тағйирёбии часпакии динамикӣ ва кинематикӣ аз рӯи қонуни хаттӣ қоҳиш меёбад.



**Расми 6** - Часпакии коэффитсиенти часпакии динамикии этиленгликоли моеъ вобаста ба консентратсияи об дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати хона

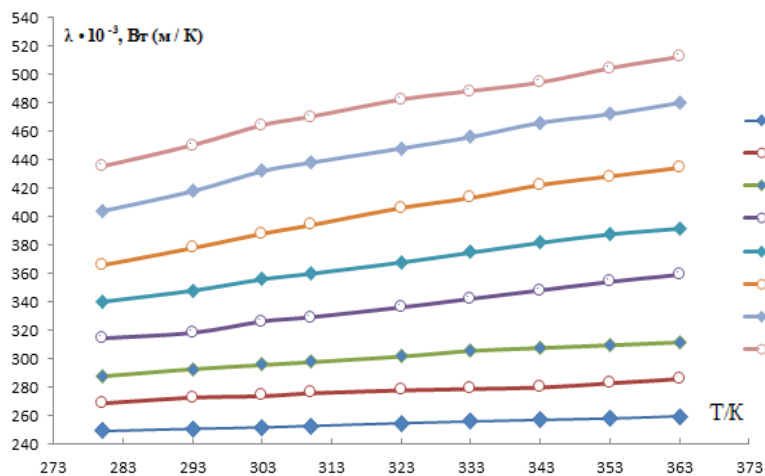


**Расми 7** - Вобастагии коэффитсиенти часпакии кинематикии этиленгликоли моеъ аз консентратсияи об дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати хона

#### 4.2. Гармигузаронии маҳлулҳои дукомпонентӣ дар асоси этиленгликол дар ҳарорати гуногун, фишори атмосферӣ ва тағйирёбии консентратсияи об

Гармигузаронии маҳлулҳои дукомпонентии системаи этиленгликол ва об дар ҳудуди ҳарорати (280-363) К ҳангоми фишори атмосферӣ ( $p = 0,101 \text{ МПа}$ ) бо ёрии дастгоҳи таҷрибавӣ, ки бо усули ноқили тафсон кор мекунад ва аз ҷониби мо патент гирифта шудааст, чен карда шуд (патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон №ТJ 923, Душанбе, 2017. 5с., муаллифон М.М. Сафаров ва ғайра.)

Натиҷаҳои маълумоте, ки аз ин усул ва назарияи Максвелл ба даст оварда шудаанд, дар шакли вобастагӣ нишон дода шудааст. (расми 8).

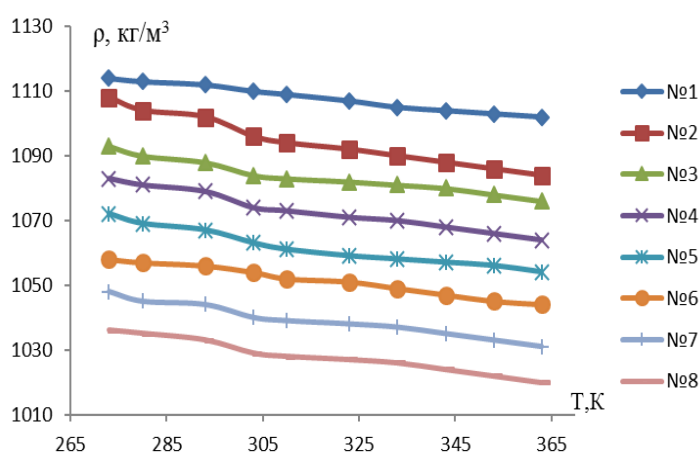


**Расми 8** - Вобастагии коэффитсиенти гармигузаронии этиленгликоли моеъ аз ҳарорат дар фишори атмосферӣ ва бо консентратсияҳои гуногуни об: №1 - (100 %  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ ); №2 - (90 %  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2 + 10 \%$   $\text{H}_2\text{O}$ ); №3 - (80 %  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2 + 20 \%$   $\text{H}_2\text{O}$ ); №4 - (70 %  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2 + 30 \%$   $\text{H}_2\text{O}$ ); №5 - (60 %  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2 + 40 \%$   $\text{H}_2\text{O}$ ); №6 - (50 %  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2 + 50 \%$   $\text{H}_2\text{O}$ ); №7 - (40 %  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2 + 60 \%$   $\text{H}_2\text{O}$ ); №8 - (30 %  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2 + 70 \%$   $\text{H}_2\text{O}$ )

Тавре, ки аз натиҷаҳои муайянкунии таҷрибавӣ ва назариявии қиматҳои коэффициентҳои гармигузаронии маҳлулҳои дукомпонентӣ ҳангоми тағйирёбии ҳарорат аз 280 то 363 К дида мешавад, онҳо қариб аз рӯи қонуни хаттӣ меафзоянд. Масалан, дар маҳлули рақами 2 ( $90\%C_2H_6O_2 + 10\%H_2O$ ) гармигузарони бо баландшавии ҳарорат 6,3% меафзояд, барои маҳлули рақами 8 ( $30\%C_2H_6O_2 + 70\%H_2O$ ) гармигузаронӣ бо баландшавии ҳарорат 17,7% меафзояд.

#### 4.2. Зичии маҳлулҳои дукомпонентӣ дар асоси этиленгликоли моеъ дар ҳарорати гуногун, фишори атмосферӣ ва тағйирёбии консентратсияи об дар онҳо (маълумоти таҷрибавӣ)

Дастгоҳи таҷрибавӣ, ки дар расми 2 пешниҳод шудааст, аз ҷониби мо барои тадқиқи таҷрибавии зичии маҳлулҳо дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати хона истифода шудааст (расми 9).



**Расми 9** - Вобастагии зичии этиленгликоли моеъ аз ҳарорат дар фишори атмосферӣ ва консентратсияҳои гуногуни об: (Ишораҳо ба монанди расми 8)

Тавре ки аз натиҷаҳои муайянкунии таҷрибавӣ ва назариявии қиматҳои зичии маҳлулҳои дукомпонентӣ (расми 9) дида мешавад, бо тағйирёбии ҳарорат аз 273 то 363 К зичӣ қариб аз рӯи қонуни хаттӣ кам мешавад. Масалан, дар маҳлули рақами 2 ( $90\%C_2H_6O_2 + 10\%H_2O$ ) бо баландшавии ҳарорат дар ҳудуди додасуда зичӣ 2,21%, барои маҳлули рақами 8 ( $30\%C_2H_6O_2 + 70\%H_2O$ ) зичӣ 1,57% кам мешавад.

#### 4.4. Коэффициентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикии маҳлулҳои дукомпонентӣ дар асоси этиленгликоли моеъ ҳангоми фишори атмосферӣ ва тағйирёбии консентратсияи об

Часпакии динамикии маҳлулҳои дукомпонентии системаи этиленгликол ва об дар ҳудуди ҳарорати (280-363) К ва фишори атмосферӣ ( $p = 0,101$  МПа) бо ёрии дастгоҳи таҷрибавӣ, ки бо усули вискозиметри капиллярии Освалд ва фарзияҳои назариявии пешниҳодкардаи Тейта кор мекунад, чен карда шуд. Натиҷаҳои бо ёрии ин усул ва назарияи Тейта ҳосилкардашуда дар ҷадвали 1 оварда шудаанд.

**Ҷадвали 1.** - Коэффициентҳои часпакии динамикӣ ( $\eta, 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$ )-и маҳлулҳо дар асоси этиленгликол ва об ҳангоми ҳароратҳои гуногун ва фишори атмосферӣ

T, K / Маҳлулҳо	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
280	20,26	19,65	17,46	16,49	14,82	13,19	12,05	10,46
293	19,91	18,01	16,12	14,23	12,34	10,45	8,56	6,67
303	13,22	11,97	10,72	9,48	8,24	6,58	5,10	4,35
310	10,23	9,01	8,08	7,15	6,23	4,85	3,98	3,42
323	6,65	6,04	5,43	4,82	4,21	3,62	3,02	2,38
333	4,95	4,50	4,05	3,61	3,16	2,69	2,23	1,82
343	-	3,06	2,55	2,40	2,25	1,85	1,44	1,03
353	-	2,10	1,48	1,33	1,18	1,10	1,02	0,75

363	-	1,98	1,32	1,17	1,02	0,79	0,66	0,54
-----	---	------	------	------	------	------	------	------

Эзоҳ: №1 - (100 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>); №2 - (90 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 10 % H<sub>2</sub>O); №3 - (80 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 20 % H<sub>2</sub>O);  
 №4 - (70 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 30 % H<sub>2</sub>O); №5 - (60 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 40 % H<sub>2</sub>O); №6 - (50 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 50 % H<sub>2</sub>O);  
 №7 - (40 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 60 % H<sub>2</sub>O); №8 - (30%С<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70%Н<sub>2</sub>O).

Тавре ки аз натиҷаҳои муайянкунии таҷрибавии коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои дукомпонентӣ (ҷадвали 1) дида мешавад, ҳангоми тағйирёбии ҳарорат аз 280 то 363 К, тибқи қонуни гипербола коҳиш меёбад. Масалан, дар маҳлули рақами 2 (90%С<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 10%Н<sub>2</sub>O) коэффитсиенти часпакии динамикӣ 8,92 маротиба коҳиш меёбад, барои маҳлули ҳаштум (30%С<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70%Н<sub>2</sub>O) ин тағйирот 18,4 маротиба аст. Агар часпакии динамикӣ ва зичии он маълум бошад, часпакии кинематикии моддаҳоро бо ифодаи зерин ҳисоб кардан мумкин аст:

$$v = \frac{\eta}{\rho}, \quad \text{м}^2/\text{с}, \quad (8)$$

дар ин ҷо:  $\eta$  - коэффитсиент часпакии динамикӣ, Па·с,  $\rho$  - зичии маводи тадқиқшаванда, кг/м<sup>3</sup>.

Ҳосиятҳои реологӣ дар шароити муқаррарӣ бо вискозиметри капиллярӣ ва денсиметр муайян карда мешаванд.

**Ҷадвали 2.** - Коэффитсиенти часпакии кинематикӣ ( $v \cdot 10^{-6}$ , м<sup>2</sup>/с) маҳлулҳо дар асоси этиленгликол ва об дар ҳарорати гуногун ва фишори атмосфера

Т, К / Маҳлулҳо	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
280	18,21	17,79	16,02	14,94	13,86	12,69	11,53	10,11
293	17,88	16,34	14,80	13,19	11,57	9,89	8,19	6,49
303	11,91	10,89	9,99	9,45	8,72	7,35	5,96	4,93
310	8,62	8,06	7,46	6,67	5,87	4,80	3,83	3,36
323	6,16	5,53	5,02	4,52	4,08	3,49	2,94	2,58
333	4,38	4,13	3,69	3,34	2,89	2,57	2,15	1,77
343	-	2,81	2,46	2,22	2,02	1,81	1,57	1,25
353	-	1,98	1,79	1,46	1,12	1,06	0,99	0,73
363	-	1,83	1,23	1,11	0,97	0,81	0,64	0,53

Эзоҳ: №1 - (100 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>); №2 - (90 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 10 % H<sub>2</sub>O); №3 - (80 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 20 % H<sub>2</sub>O);  
 №4 - (70 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 30 % H<sub>2</sub>O); №5 - (60 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 40 % H<sub>2</sub>O); №6 - (50 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 50 % H<sub>2</sub>O);  
 №7 - (40 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 60 % H<sub>2</sub>O); №8 - (30%С<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70%Н<sub>2</sub>O).

Аз натиҷаҳои таҷриба (ҷадвали 2) дида мешавад, ки часпакии кинематикии маҳлулҳои дукампанента ҳангоми тағйирёбии ҳарорат аз 280 то 363 К мувофиқи қонуни гипербола кам мешавад. Масалан, барои маводи рақами 2 (90 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 10 % H<sub>2</sub>O) коэффитсиенти часпакии динамики то 8,72 маротиба кам мешавад, барои маҳлули рақами 8 (30 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O) ин натиҷа 18,1 маротиба кам мешавад.

#### 4.5. Таъсири консентратсияи нанохокаи гидразин бо тағйирёбии гармигузаронии маҳлулҳои дукомпоненти (этиленгликол-об) дар ҳароратҳо ва фишорҳои гуногун

Тавре, ки қаблан қайд карда шуд, барои тоза кардани таҷҳизоти гармоэнергетикӣ аз тағшинҳо, аз ҷумла оҳан, мис ва ғайра маҳлули обии гидразин истифода мешавад. Барои мақсадҳои зикршуда ҳам гидразингидрат ва ҳам гидразинсулфат истифода мешаванд. Дар робита ба ин, мо дар назди худ вазифа гузоштем, ки модели физикӣ эҷод кунем ва раванди мубодилаи гармиро дар ин моделҳо ҳисоб кунем. Маълум аст, ки ҳангоми ҳисоб кардани равандҳои мубодилаи масса ва гармӣ бояд бо усулҳои назариявӣ, таҷрибавӣ ё ғайримустақим ҳосиятҳои гармофизикӣ, термодинамикӣ ва ҳосиятҳои кинетикии нанохокаи гидразин ва маҳлулҳои обии онҳо дар ҳароратҳои гуногун, консентратсияи об ва этиленгликол муайян карда шаванд.

Тавре ки қайд карда шуд, мо барои тадқиқот 7 намунаи тадқиқотӣ аз ду ҷузъ, яъне этиленгликол ва об тайёр намудем. Барои тоза кардани сатҳи таҷҳизоти гармоэнергетикӣ аз пардаи металлҳо ва оксидҳои онҳо чортои онҳо пешниҳод карда мешаванд: №5 (60 %  $C_2H_6O_2 + 40\% H_2O$ ); №6 (50 %  $C_2H_6O_2 + 50\% H_2O$ ); №7 (40 %  $C_2H_6O_2 + 60\% H_2O$ ); №8 (30 %  $C_2H_6O_2 + 70\% H_2O$ ), ки дар онҳо гармигузаронӣ, зичӣ, коэффитсиенти часпакии динамикӣ ва кинематикӣ дар ҳудуди ҳарорати (273-373)К ва фишори (0,101-14,42) МПа пурра тадқиқ карда шудааст. Хосиятҳои асосии гармофизикӣ ва реологии намунаҳои номбаршуда дар шароити муқаррарӣ дар зер оварда шудаанд (ҷадвали 3).

**Ҷадвали 3.** - Хосиятҳои асосии гармофизикӣ ва реологии намунаҳои тадқиқотӣ дар шароити муқаррарӣ

Маҳ-лулҳо	Ишораи шартӣ	Гармигузаронӣ, $10^3$ Вт/(м·К)	Зичӣ, кг/м <sup>3</sup>	Коэффитсиенти часпакии динамикӣ, $10^{-3}$ Па·с	Коэффитсиенти часпакии кинематикӣ, $10^{-6}$ м <sup>2</sup> /с
№5	60 % $C_2H_6O_2 + 40\% H_2O$	391	1067	12,34	11,57
№6	50 % $C_2H_6O_2 + 50\% H_2O$	425	1056	10,45	9,89
№7	40 % $C_2H_6O_2 + 60\% H_2O$	459	1044	8,56	8,19
№8	30 % $C_2H_6O_2 + 70\% H_2O$	494	1033	6,67	6,49

Мувофиқи маълумоти дар ҷадвали 3 овардашуда, далелҳои зеринро метавон хулоса кард: тағйирёбии хосиятҳои гармофизикӣ ва реологии маҳлулҳо барои истифода дар раванди коркарди гидразини дастгоҳҳои технологӣ дар энергетикаи гармо инчунин ҳангоми илова кардани этиленгликол низ мушоҳида карда мешавад. Тағйиротҳо асосан бо коҳиши хосиятҳои тадқиқшуда, ба истиснои коэффитсиенти гармигузаронии самараноки маҳлулҳо, хос мебошанд. Ин далелро назарияи маҳлулҳои коллоидӣ тасдиқ мекунад.

**Ҷадвали 4.** - Гармигузаронӣ ( $\lambda$ ,  $10^3$ , Вт/ (м·К) =  $f$  (Т,  $n H_2O$ )) -и маҳлули дукомпонента (№5) дар асоси этиленгликол дар параметрҳои баланди ҳолат

Т, К	Фишор, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
	<i>№5 (60 % <math>C_2H_6O_2 + 40\% H_2O</math>)</i>				
280	340	343	346	348	353
293	348	351	354	357	360
303	356	359	362	365	368
310	360	361	366	370	373
323	368	371	374	377	381
333	375	378	381	384	388
343	382	385	389	392	395
353	388	390	393	396	400
363	392	395	399	403	406
373	-	398	402	405	409
383	-	401	404	407	410

Дар асоси маълумоти ҷадвали 4 метавон хулоса кард, ки гармигузаронии намунаҳо бе нанохокаи гидразин бо баланд шудани ҳарорат, фишор ва консентратсияи нанохокаи гидразин қариб тибқи қонуни ҳаттӣ меафзояд.

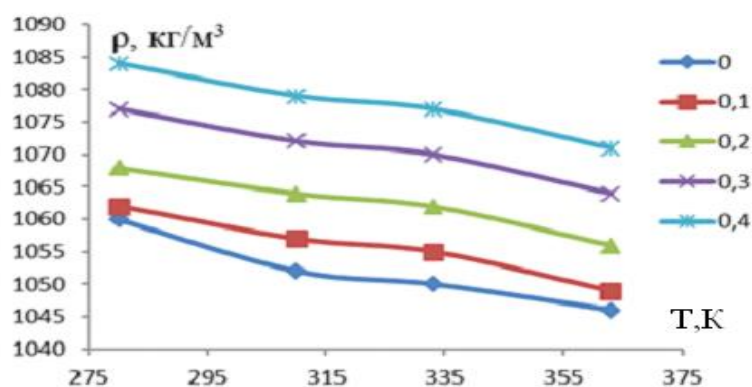
#### 4.6. Таъсири консентратсияи нанохокаи гидразин ба тағйирёбии зичии маҳлулҳои дукомпонентӣ (этиленгликол - об) дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун

Зичии маҳлулҳо, тавре ки қаблан қайд карда шуд, бо ёрии дастгоҳи таҷрибавӣ муайян карда шуд ва зичии маҳлулҳо ҳангоми тағйирёбии ҳарорат ва фишор бо истифода аз

муодилаи навъи Тейт ҳисоб карда шуд. Натиҷаҳои маълумоти таҷрибавӣ-назариявӣ гирифташуда барои зичии маҳлулҳои №5 ва №8 дар ҷадвали 5 оварда шудаанд.

**Ҷадвали 5.** - Зичӣ ( $\rho, \text{кг/м}^3 = f(T, P, n \text{H}_2\text{O})$ ) -и маҳлулҳои дукомпонентӣ (№5, №8) дар асоси этиленгликол бе дохилкунии наноҳокаи гидразин дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун

T, K	Фишор, P, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
<i>№5 - (60 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 40 % H<sub>2</sub>O)</i>					
273	1072	1087	1102	1117	1132
280	1069	1084	1099	1114	1129
293	1067	1082	1097	1112	1127
303	1063	1078	1093	1108	1123
310	1061	1076	1091	1106	1121
323	1059	1074	1089	1104	1119
333	1058	1073	1088	1103	1118
343	1057	1072	1087	1102	1117
353	1056	1071	1086	1101	1116
363	1054	1069	1084	1099	1114
<i>№8 - (30 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O)</i>					
273	1036	1054	1072	1090	1108
280	1035	1053	1071	1089	1107
293	1033	1051	1069	1087	1105
303	1029	1047	1065	1083	1101
310	1028	1046	1064	1082	1100
323	1027	1045	1063	1081	1099
333	1026	1044	1062	1080	1098
343	1024	1042	1060	1078	1096
363	1020	1038	1056	1074	1092

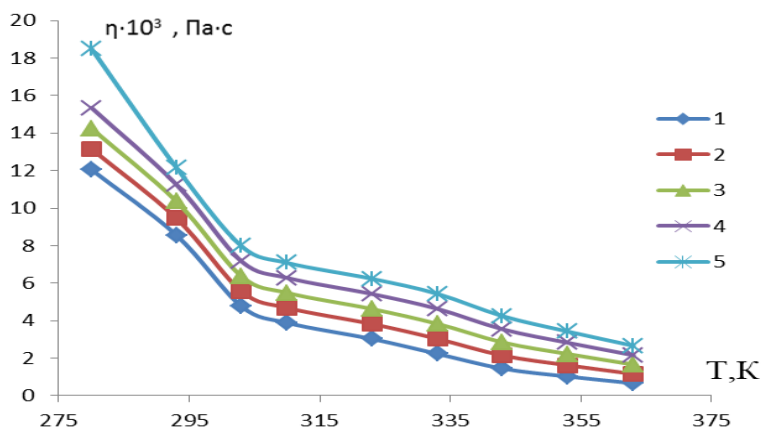


**Расми 10.** – Тағйирёбии зичии системаҳои маҳлули (№5) вобаста ба ҳарорат дар консентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин

Мувофиқи графики 10 ва маълумоти ҷадвали 5, зичии маҳлулҳо бо афзоиши консентратсияи наноҳокаи гидразин зиёд мешавад. Барои ченкунии аввал ин тағйирот хатӣ аст ва барои ченкунии минбаъда тағйирот тибқи қонуни параболикӣ мушоҳида мешавад. Масалан, иловаи 0,2% наноҳокаи гидразин зичии маҳлулро ~1,4% ва иловаи 0,4% ~ 2,04% зиёд мекунад. Ба ақидаи мо, чунин тағйирот аз раванди ҳалшавии гидразин вобаста аст.

#### 4.7. Тадқиқоти таҷрибавӣ коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикии маҳлулҳои обии этиленгликол (№5, №6, №7, №8) вобаста аз консентратсияи гидразин, ҳарорат ва фишор

Коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳо бо ёрии вискозиметри капиллярӣ омӯхта шудааст, ки дар он ҳатогии 2,6% бо эҳтимолияти бовариноки  $\alpha=0,95$  таъмин карда шудааст. Натиҷаҳои тадқиқот дар расми 11 нишон дода шудааст.



**Расми 11.** - Вобастагии коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳои дукомпонентӣ (№ 7) аз ҳарорат дар фишорҳои гуногун: 1 - 0,101 МПа; 2 - 4,91 МПа; 3 - 9,81 МПа; 4 - 12,23 МПа; 5 - 14,42 МПа

Барои муайян кардани коэффитсиенти часпакии кинематикӣ одатан маълумоти таҷрибавӣ дар бораи часпакии динамикӣ ва зичии моддаҳои омӯхташуда истифода мешавад, ки дар шароити муқаррарӣ бо ёрии вискозиметр ва денсиметр чен карда мешаванд.

Ҳамин тариқ, натиҷаҳои ҳисоб кардани часпакии кинематикӣ маҳлулҳои оби этиленгликол бо ва бе иловаи наноҳокаи гидразин ҳангоми тағйирёбии ҳарорат ва фишори таҷриба оварда шудаанд (ҷадвали 6).

**Ҷадвали 6.** - Коэффитсиенти часпакии кинематикӣ ( $\nu \cdot 10^{-6}, \text{m}^2/\text{s} = f(T, P, n \text{H}_2\text{O})$ )-и маҳлулҳои оби этиленгликоли дукомпонентӣ (№5, №8) бо дохилкунии наноҳокаи гидразин (0,4 %) дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун

T, K	Фишор, P, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
	<i>№5 - [(60 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 40 % H<sub>2</sub>O) + 0,4 % N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>]</i>				
280	15,35	16,21	17,07	17,87	18,67
293	11,97	12,69	13,42	14,74	17,06
303	8,59	9,18	9,76	11,61	11,45
310	6,49	7,36	7,82	9,09	9,34
323	4,40	5,53	5,87	6,56	7,24
333	3,38	4,39	4,75	5,43	6,1
343	2,36	3,25	3,63	4,29	4,96
353	1,72	2,46	2,95	3,55	4,16
363	1,07	1,67	2,26	2,81	3,35
	<i>№8 - [(30 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O) + 0,4 % N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>]</i>				
280	10,84	11,77	12,70	13,58	14,46
293	7,78	8,61	9,43	10,22	11,00
303	4,72	5,44	6,16	6,85	7,54
310	3,60	4,35	5,09	5,80	6,50
323	2,48	3,26	4,03	4,75	5,46
333	1,78	2,52	3,25	3,93	4,61
343	1,08	1,77	2,46	3,11	3,75
353	0,82	1,40	1,98	2,55	3,12
363	0,56	1,03	1,50	1,99	2,49

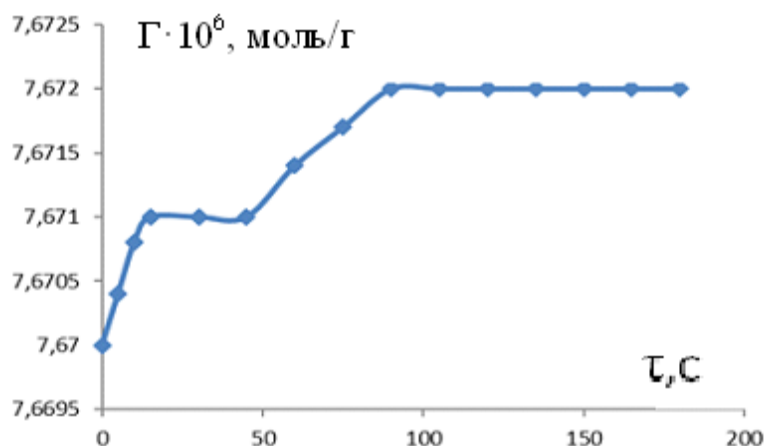
Тавре ки аз натиҷаҳои дар ҷадвали 6 овардашуда дида мешавад, бо афзоиши консентратсияи наноҳокаи гидразин дар маҳлули системаҳои этиленгликол ва об коэффитсиенти часпакии кинематикӣ тибқи қонуни хаттӣ меафзояд.



#### 4.8. Коэффитсиенти адсорбсияи нанохокаи гидразин

Барои тадқиқоти кинетикаи намунаҳо мо дастгоҳ (патентҳои хурди ҚТ №ТJ 824, №ТJ 825) сохтем, ки аз ду қисм иборат аст: 1) зарфи цилиндри ва тур; 2) сониясанҷ ва тарозуи электронӣ, ки дақиқии ченкунии он ба 0,001 г баробар аст. Хатогии нисбии умумии ченкунии коэффитсиенти адсорбсия хангоми эҳтимолияти бовариноки  $\alpha = 95\%$  ба 0,01% баробар аст.

Натиҷаҳои тадқиқоти коэффитсиенти адсорбсияи нанохокаи гидразин дар шакли график дар зер оварда шудаанд (расми 12). Барои гузаронидани озмоишҳо бо нанохокаи гидразин 6 намуна интихоб карда шуд, ки ҳар яки он тақрибан ба 10,5 г баробар аст. Барои осон кардани истифодаи онҳо мо онҳоро бо рақами тартибӣ ишора намудем: №1 - 0,5 г; №2 - 1 г; №3 - 1,5 г; №4 - 2 г; №5 - 2,5 г; №6 - 3 г.



**Расми 12.** - Графики вобастагии коэффитсиенти адсорбсияи намунаи №4 аз вақти нигоҳ доштани нанохокаи гидразин дар тури асбоб

Тавре, ки аз расми 12 дида мешавад график шакли зинагӣ дорад ва ба раванди кристаллизатсияи ҷисмҳои саҳт монанд мебошад.

#### 4.9. Таъсири нанохокаи гидразин ба тағйиребии адади Прандтли маҳлулҳои оби этиленгликол дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати гуногун

Мувофиқи натиҷаҳои таҷрибавӣ ва тарҳбандии назариявӣ оид ба хосиятҳои гармофизикии маҳлулҳои этиленгликол бо ворид кардани нанохокаи гидразин дар ҷадвали 7 хосиятҳои гармофизикии маҳлулҳои оби этиленгликол бо илова кардани нанохокаи гидразин (№8 (30% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70% H<sub>2</sub>O) + 0,4% N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), аз ҷумла гармигузаронӣ, зичӣ, коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикӣ, адади Прандтл дар ҳарорати гуногун ва фишори атмосферӣ оварда шудаанд.

**Ҷадвали 7.** - Хосиятҳои гармофизикии маҳлулҳои системаи этиленгликол ва об бо ворид кардани 0,4% нанохокаи гидразин вобаста ба ҳарорат дар фишори атмосферӣ (№8 (30 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O) + 0,4 % N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)

T, K	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\lambda, 10^3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$	$\eta \cdot 10^3, \text{ Па} \cdot \text{с}$	$\alpha \cdot 10^7, \text{ м}^2 / \text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2 / \text{с}$	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$
280	1064	509	11,54	3,68	10,84	29,45
293	1062	522	7,36	3,72	7,78	20,91
303	1058	530	4,90	3,76	4,79	12,74
310	1057	548	3,80	3,80	3,60	9,47
323	1056	556	2,62	3,82	2,48	6,49
333	1055	564	2,01	3,84	1,79	4,66
343	1054	570	1,14	3,86	1,08	2,90
353	1050	575	0,83	3,90	0,82	2,10
363	1049	579	0,59	3,94	0,56	1,42

## Боби 5. ТАҲЛИЛ ВА КОРКАРДИ МАЪЛУМОТИ ТАҶРИБАВӢ ОИД БА ХОСИЯТҲОИ ГАРМОФИЗИКӢ ВА РЕОЛОГИИ МАҲЛУЛУҲО ДАР ПАРАМЕТРҲОИ ГУНОГУНИ ҲОЛАТ

**Боби панҷум** ба таҳлил ва усулҳои дахлдори коркард ва ҷамъбасти маълумоти таҷрибавӣ бахшида шудааст. Усулҳои ҳисобшудаи чунин параметрҳо, ба монанди зичӣ, гармигузаронӣ, хосиятҳои адсорбсионии намунаҳои тадқиқотӣ вобаста ба консентратсияи нанохокаи гидразин пешниҳод карда шудаанд.

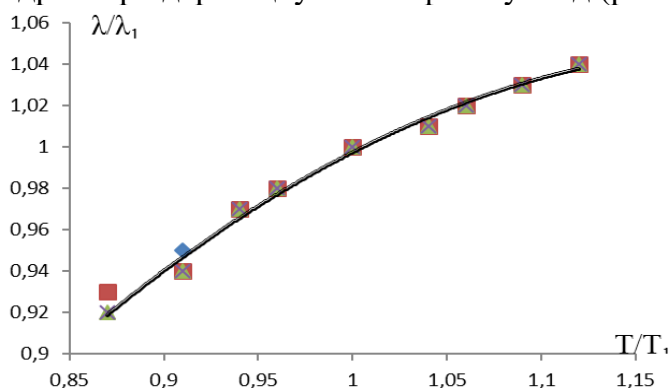
### 5.1. Коркарди маълумот аз рӯи натиҷаҳои тадқиқоти таҷрибавии гармигузаронии маҳлулуҳои системаи этиленгликол ва об бо ворид кардани нанохокаи гидразин

Натиҷаҳои тадқиқоти таҷрибавии гармигузаронии намунаҳо дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати гуногун чунин ҷамъбаст карда шуданд:

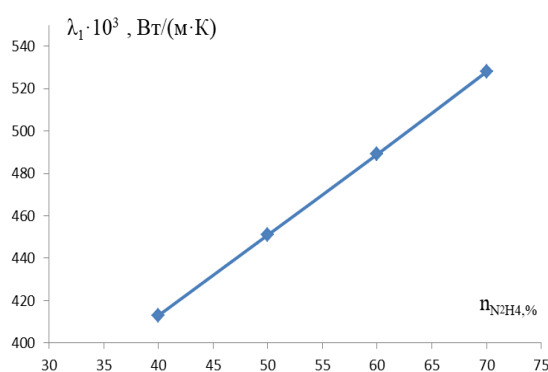
$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (9)$$

дар ин ҷо  $\lambda$  ва  $\lambda_1$  - коэффитсиенти гармигузаронии намунаҳои тадқиқшаванда дар ҳарорати гуногуни  $T, K$  ва  $T_1, K$ ;  $T_1=323 K$ .

Иҷрои ин вобастагии графикӣ (расми 13) дар шакли ифодаи (9) ифода карда мешавад. Бо таҳлили дахлдор муайян карда шуд, ки  $\lambda_1$  қиматҳои мебошанд, ки консентратсияи гидразинро дар маҳлул тавсиф мекунанд (расми 14).



**Расми 13.** – Гармигузаронии нисбӣ ( $\lambda/\lambda_1$ )-и намунаҳои тадқиқотӣ вобаста ба ҳарорати нисбӣ ( $T/T_1$ ): №5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ ); №6 - (50 %  $C_2H_6O_2$  + 50 %  $H_2O$ ); №7 - (40 %  $C_2H_6O_2$  + 60 %  $H_2O$ ); №8 - (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ ),



**Расми 14.** - Вобастагии  $\lambda_1$ -и намунаҳо аз консентратсияи нанохокаи гидразин ( $n$ )

Хати қачи дар расми расми 13 тасвиршуда бо ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = \left[ -1,073 \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 2,613 \left(\frac{T}{T_1}\right) - 0,542 \right], \quad (10)$$

Муодилаи хати рости расми 14 бошад, чунин намудро дорад:

$$\lambda_1 = (3,83n^2 + 259,6)10^{-3}, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (11)$$

Ҳангоми гузоришҳои мувофиқ ҳосил мекунем:

$$\lambda = \left[ -1,073 \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 2,613 \left(\frac{T}{T_1}\right) - 0,542 \right] (3,83n^2 + 259,6)10^{-3}, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (12)$$

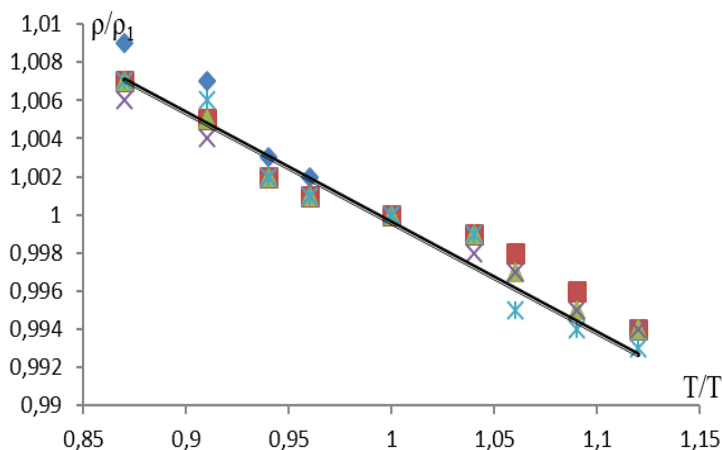
Муодилаи ҳосилкардашудаи (12) барои ҳисобкунии гармигузаронии намунаҳо (№5, №6, №7, №8) дар ҳарорати гуногун ва консентратсияи об бо хатогии тақрибан 3,29 % хизмат менамояд.

## 5.2. Коркарди маълумоти таҷрибавии зичии маҳлулҳои омӯхташуда

Натиҷаҳои тадқиқоти таҷрибавии зичии намунаҳо дар фишори атмосферӣ ва ҳароратҳои гуногун чунин чамбаст карда шудаанд (расми 15):

$$\frac{\rho}{\rho_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (13)$$

дар ин ҷо:  $\rho$  ва  $\rho_1$  - зичии намунаҳои тадқиқотӣ мувофиқан дар ҳароратҳои гуногуни  $T$ ,  $K$  ва  $T_1$ ,  $K$ ;  $T_1 = 323 K$ .



**Расми 15.** – Вобастагии зичии нисбии намунаҳои тадқиқотӣ ( $\rho/\rho_1$ ) аз ҳарорати нисбӣ ( $T/T_1$ )

Дар асоси коркарди графоаналитикии маълумот (расми 16) оид ба зичии маҳлулҳои системаи этиленгликол, об ва нанохокаи гидразин бо назардошти муодилаҳои эмпирикӣ барои  $\rho_1$ , вобастагии умумии аппроксимасиониро дар шакли зерин ба даст овардем:

$$\rho = \left[-0,057 \left(\frac{T}{T_1}\right) + 1,057\right] \cdot [16,294 \ln(n_{N_2H_4}) + 1141,3], \text{ кг/м}^3 \quad (14)$$

Муодилаи (14)-ро истифода бурда, зичии маҳлулҳоро (№5, №6, №7, №8), ҳам бо нанохокаи гидразин, ҳам бе он вобаста ба ҳарорат ва консентратсияи об бо ҳатогии миёнаи - 0,09 % ҳисоб кардан мумкин аст (ҷадвали 8).

**Ҷадвали 8.** – Муқоисаи қиматҳои таҷрибавӣ ва ҳисобкардашудаи маҳлулҳои этиленгликоля бо иловакунии нанохокаи гидразин (№8 (30% $C_2H_6O_2$ +70% $H_2O$ )+0,3% $N_2H_4$ ) дар ҳароратҳои гуногун ва фишори атмосферӣ

T, K	280	293	303	310	323	333	343	363
$\rho, \text{кг/м}^3$ , таҷрибавӣ	1129	1128	1123	1122	1121	1120	1116	1114
$\rho, \text{кг/м}^3$ , ҳисобӣ бо муодилаи (14)	1129	1126,5	1124,1	1120	1120,8	1118,2	1115	1113
$\Delta, \%$	0	0,14	0,09	0,18	0,02	0,16	0,09	0,08
Ҳатогии миёнаи ҳисобкунӣ бомуодилаи (14), %	0,09							

## 5.3. Маълумоти тадқиқоти таҷрибавӣ оид ба коэффитсиенти часпакии динамикии маҳлулҳо дар асоси этиленгликол, об ва нанопорошка гидразин ва коркарди онҳо

Натиҷаҳои тадқиқоти таҷрибавии коэффитсиенти часпакии динамикии намунаҳо дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати гуногун чунин чамбаст карда шуданд:

$$\frac{\eta}{\eta_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (16)$$

дар ин ҷо:  $\eta$  ва  $\eta_1$  - коэффитсиенти часпакии динамикии намунаҳои тадқиқотӣ мувофиқан дар ҳароратҳои гуногуни  $T$ ,  $K$  ва  $T_1$ ,  $K$ ;  $T_1=323 K$ .

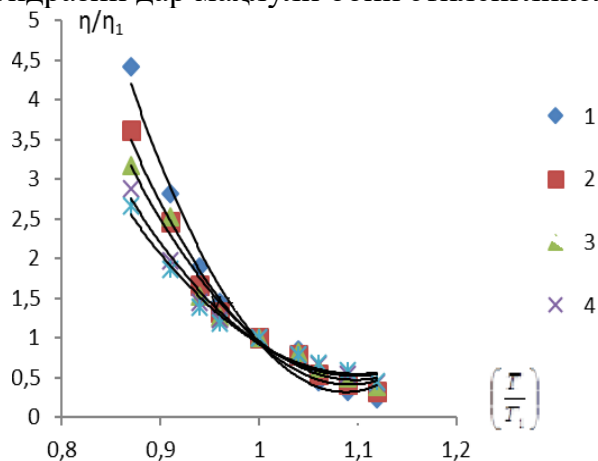
Иҷрошавии ифодаи (16) дар расми 17 графикӣ тасвир ёфтааст, ки мувофиқи он ҳамаи қиматҳо қад-қади хати қасби умумӣ мебошанд.

Ифодаи хати качи расми 17 чунин намуд дорад:

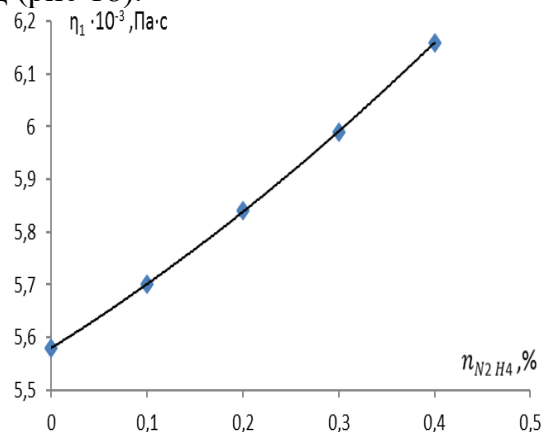
$$\frac{\eta}{\eta_1} = \left[ A \cdot \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 - B \left( \frac{T}{T_1} \right) + C \right], \quad (17)$$

дар ин чо А, В ва С – коэффитсиентҳои муодила.

Таҳлили  $\eta_1$  нишон дод, ки вай функцияи тағйирёбии консентратсияи нанохокаи гидразин дар маҳлули обии этиленгликол мебошад (рис 18).



**Расми 17.** - Вобастагии коэффитсиенти часпакии динамикии нисбӣ ( $\eta/\eta_1$ )-и маҳлулҳои обии этиленгликол бо иловаи нанохокаи гидразин аз тағйирёбии нисбии ҳарорат:  $T/T_1$ : 1 - 0,1 %  $N_2H_4$ ; 2 - 0,2 %  $N_2H_4$ ; 3 - 0,3 %  $N_2H_4$ ; 4 - 0,4 %  $N_2H_4$



**Расми 18.** - Вобастагии  $\eta_1$ -и намунаҳо аз консентратсияи нанохокаи гидразин дар маҳлули обии этиленгликол

Барои хати качи дар расми 18 тасвиршуда, муодилаи зерин ҳосил карда шуд:

$$\eta_1 = [0,8757 (n_{N_2H_4})^2 + 1,1357 (n_{N_2H_4}) + 5,5797] 10^{-3}, \text{ Па} \cdot \text{с} \quad (17)$$

Муодилаи (16)-ро ба (17) гузошта, ҳосил мекунем:

$$\eta = \left[ A \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 - B \left( \frac{T}{T_1} \right) + C \right] \cdot [0,8757 (n_{N_2H_4})^2 + 1,1357 (n_{N_2H_4}) + 5,5797] 10^{-3}, \text{ Па} \cdot \text{с} \quad (18)$$

Ҳамин тариқ, ифодаи бадастомада (18) метавонад барои муайян кардани коэффитсиенти часпакии динамикии намунаҳои тадқиқшуда бо тағйирёбии ҳарорат дар фишори атмосферӣ истифода шавад. Барои иҷрои ҳисобкунӣҳои дахлдор, қиматҳои консентратсияи нанохокаи гидразин ва ҳарорати таҷриба зарур мебошанд. Ҳисобкунӣ бо ёрии ин муодила бо хатогии то 7,32% ва барои баъзе нуктаҳо то 15,6% анҷом дода мешавад.

#### 5.4. Коркарди маълумоти таҷрибавӣ оид ба коэффитсиенти часпакии кинематикии маҳлулҳо дар асоси этиленгликол бо консентратсияи гуногуни нанохокаи гидразин

Натиҷаҳои ҳисобкунӣи часпакии кинематикии намунаҳо дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати гуногун чунин чамъбаст карда шудаанд:

$$\frac{\nu}{\nu_1} = f \left( \frac{T}{T_1} \right), \quad (19)$$

дар ин чо:  $\nu$  и  $\nu_1$  - коэффитсиенти часпакии кинематикии намунаҳои тадқиқотӣ мувофиқан дар ҳароратҳои гуногуни  $T$ ,  $K$  ва  $T_1$ ,  $K$ ;  $T_1=323 \text{ K}$ .

$$v = \left[ A \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 - B \left( \frac{T}{T_1} \right) + C \right] \cdot [-0,0714(n_{N_2H_4})^2 + 0,1586(n_{N_2H_4}) + 5,4086] 10^{-6}, m^2 / c \quad (20)$$

Ҳамин тарик, ифодаи бадастомада (20) метавонад барои муайян кардани коэффитсиенти часпакии кинематикии намунаҳои тадқиқшуда бо тағйирёбии ҳарорат дар фишори атмосферӣ истифода шавад. Барои иҷрои ҳисобкуниҳои дахлдор, қиматҳои концентратсияи нанохокаи гидразин ва ҳарорат зарур мебошагнд. Хатогии ҳисоб кардани часпакии кинематикӣ дар ин ҳолат то 9,01% мерасад, танҳо барои баъзе нуқтаҳо он то 18% ташкил медиҳад.

**Дар замима** чадвалҳо бо натиҷаҳои таҳлили муқоисавии таҷрибавӣ бо маълумоти ҳисобшуда, ки бо ёрии муодилаҳои эмпирикӣ аз рӯи гармигузаронӣ, коэффитсиентҳои часпакии кинематикӣ ва динамикӣ ва коэффитсиенти адсорбсияи маводҳои тадқиқшаванда ба даст оварда шудаанд. Дар бораи тадбиқ намудани натиҷаҳои корҳои тадқиқотӣ санадҳо пешниҳод гардидааст.

### НАТИҶАҲО ВА ХУЛОСАҲОИ АСОСӢ

1. Дастгоҳҳои таҷрибавӣ, ки барои тадқиқи хосиятҳои гармофизикии моеъҳо (гармигузаронӣ, зичӣ, часпакии динамикӣ ва кинематикӣ) ҳангоми тағйирёбии ҳарорат (273 - 363) К ва фишор (0,101 - 14,42) МПа пешбинӣ шудааст, иҷро карда шуд. Бо назардошти хусусиятҳои моддаҳои тадқиқшаванда дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои чен кардани гармигузаронӣ (усули речаи мунтазами гармӣ) ва зичӣ (усули баркашии гидростатикӣ) тақмил дода шуданд [7-М, 8-М, 10-М, 11-М].

2. Тибқи таҷрибаҳо, муайян карда шуд, ки дар ҳудуди тағйирёбии ҳарорат аз 273 то 363 К гармигузаронии маҳлулҳо ба ҳисоби миена то 13,75% афзоиш меёбад. [1-М, 15-М, 19-М, 24-М].

3. Муайян карда шудааст, ки агар ба маҳлули обии этиленгликол 0,1% нанохокаи гидразин илова карда шавад, ин ба афзоиши гармигузаронӣ то 11,9% оварда мерасонад. Агар иловаи нанохокаи гидразин дар маҳлул 0,4 %-ро дар  $T = 363$  К ва  $P = 14,42$  МПа ташкил диҳад, пас гармигузаронии маҳлул дар маҷмӯъ то 17,4 фоиз зиёд мешавад [1-М, 4-М, 15-М, 21-М, 24-М].

4. Бо истифода аз маълумоти таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ ва зичии маҳлулҳо, як қатор параметрҳои термодинамикӣ ҳангоми тағйирёбии ҳарорат аз 273 то 363 К ва фишор аз 0,101 То 14,41 МПа бо назардошти иловаи нанохокаи гидразин ба маҳлул то 0,4% ҳисоб карда шудаанд. Инчунин, дар кор мувофиқати усулҳои ҳисобшудаи гармигузаронӣ, часпакӣ, зичӣ ва адади Прандтл [1-М, 3-М, 4-М, 6-М, 17-М] нишон дода шудааст.

5. Бо истифода аз натиҷаҳои озмоишҳо ва қонуниятҳои назариявии дахлдор таҳлил, коркард ва ҷамъбасти онҳо гузаронида шуд, ки дар асоси онҳо муодилаҳои аппроксиматсионӣ, варианти тағйирдодашудаи муодилаи Тейта ба даст оварда шуданд. Дар асоси муодилаҳои эмпирикӣ ва нимэмпирикии бадастомада, вобаста ба ҳарорат, фишор, инчунин концентратсияи нанохокаи гидразин дар маҳлул гармигузаронӣ ( $\sigma_\lambda = 3,6$  %), часпакии динамикӣ ( $\sigma_\eta = 4,5$  %) ва часпакии кинематикӣ ( $\sigma_v = 3,5$  %)-и маҳлулҳоро муайян кардан мумкин аст [1-М, 2-М, 3-М, 6-М, 17-М].

6. Муайян карда шудааст, ки ҳангоми илова кардани нанохокаи гидразин то 0,4% ба маҳлули обии этиленгликол (30% этиленгликол + 70% об) дар ҳудуди ҳарорати 280-363 К, часпакии кинематикӣ 94,8% коҳиш меёбад ва ҳангоми ҳал шудани нанохокаи гидразин дар ҳамон ҳудуди ҳарорат зичии он 1,4% коҳиш меёбад [1-М, 3-М, 6-М, 17-М, 27-М].

7. Дар асоси таҷрибаҳо муайян карда шуд, ки илова кардани 0,4% нанохокаи гидразин ба маҳлули обии этиленгликол (30% этиленгликол + 70% об) дар ҳудуди ҳарорати 280 – 363 К гармигузаронӣ 13,75% ва ҳароратгузаронӣ 6,6% меафзояд. [1-М, 4-М, 15-М, 24-М].

8. Натиҷаҳои асосии тадқиқоти назариявӣ ва таҷрибавӣ ба истифодабарӣ қабул шуда, дар раванди таълими донишгоҳи Техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар ш. Душанбе, Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айни ва дар Институти саноати Вазорати саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон татбиқ гаштаанд (санадҳои татбиқи натиҷаҳо дар замимаи рисола оварда шудаанд) [1-М -30-М].

### **Тавсия, дурнамои таҳияи минбаъдаи мавзӯи тадқиқотии рисола**

1. Ҷадвалҳои муфассал оид ба параметрҳои гармофизикӣ (гармигузаронӣ, зичӣ) ва реологӣ (часпакии динамикӣ ва кинематикӣ)-и системаҳои нанохокаи гидразин дар ҳудуди ҳарорат аз 270 К то 363 К вобаста ба консентратсияи гидразин ва коэффитсиенти адсорбсияи нанохокаи гидразин дар ҳарорати хона тартиб дода шудаанд, тавсия дода мешавад, ки ҳангоми ҳисоб кардани равандҳо дар дастгоҳҳо ва равандҳои гармӣ, массаивазкунӣ ҳамчун маълумотнома истифода мешаванд.

2. Вобастагии эмпирикии бадастомадари ҳам барои ҳисобкунӣ ва ҳам барои пешгӯии мувофиқи хосиятҳои гармофизикӣ ва реологӣ системаҳои секомпоненттаи тадқиқнашуда дар шакли хока бо назардошти тағйирёбии параметрҳои ҳолат ва консентратсияи ҷузъҳои таркибии система истифода бурдан, тавсия дода мешавад.

3. Натиҷаҳои тадқиқот барои қорӣ намудан дар Институти саноати Вазорати саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон, ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ ва ДДОТ ба номи Садриддин Айни ҳангоми ҳисоб кардани равандҳои гармофизикӣ ва термодинамикӣ, ҳамчун маълумотнома дар раванди таълим тавсия дода мешаванд (санадҳои татбиқ дар рисола замима гардидааст).

### **РУЙХАТИ ҚОРҶОИ НАШРШУДА ДАР МАВЗУИ РИСОЛА**

**Мақолаҳо дар маҷаллаҳои илмие, ки аз ҷониби ҚОА-и назди Президенти**

**Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия шудаанд:**

[1-М]. Рафиев, С.С. Влияние воды на изменение коэффициента поверхностного натяжения этиленгликоля при атмосферном давлении /М.М. Сафаров, Х.Х. Назарзода, С.С. Рафиев, М.М. Гуломов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук, Душанбе, 2017, №2,- С.97 - 101.

[2-М]. Рафиев, С.С. Способ обобщения коэффициента адсорбции зернистых материалов (способ Сафарова М.М.) / С.С. Абдуназаров, Назарзода Х.Х., С.С. Рафиев и др. // Вестник ТНУ. Серия естественных наук, Душанбе, 2017, №1/2,- С.132 -137.

[3-М]. Рафиев, С.С. Анализ применимости уравнение Тейта к различным классам веществ в конденсированном состоянии на примере плотности. II. Вычисление плотности. / М.М. Сафаров, Т.Р.Тиллоева, С.С. Рафиев, и др. // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. Душанбе - 2018, №2, - С. 92 - 98.

[4-М]. Рафиев, С.С. Модель цилиндрического контакта с плоской подложкой и расчет эффективной теплопроводности нанонити. / М.М. Сафаров, С. С. Рафиев, Д.Ш. Хакимов. и др.// Вестник ТНУ. Серия естественных наук. Душанбе, 2018, №2, - С.122 - 127.

[5-М]. Рафиев, С.С. Коэффициент адсорбции нанопорошка гидразина в адсорбенте воды при различном времени увлажнения. / С.С. Рафиев, М.М. Сафаров, Ш. З. Нажмудинов. // Вестник ТУТ. Душанбе, 2019, №2, (37) - С.22 - 28.

[6-М]. Рафиев, С.С. Кинематическая вязкость теплоносителей, внедренных в них нанопорошка гидразина. / С.С. Рафиев. // Вестник БГУ имени Носира Хусрава (научный журнал) серия естественных наук. Бохтар, 2021, №2/4 (93) – С. 54 - 58.

### **Ихтироотҳо:**

[7-М]. Сафаров, М. М. Устройства для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей. / М.М. Гуломов, С.С. Рафиев, Д.Ш. Раджабова, А.Р Раджабов и др.// Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 923, 2017. – 5 с.

[8-М]. Сафаров, М.М. Комплексная солнечная установка для получения тепловой и электрической энергии / С.С. Рафиев, Х.Х. Назарзода, Д.Ш. Раджабова, А. Р. Раджабов, Б.М. Махмадиев и др. / Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 919, 2017. – 5 с.

[9-М]. Рафиев, С.С. Устройства слежения за солнцем. / Абдурахмонов А.Я., Абдуллоев Б.Т., Рафиев С.С и др. // Малый патент Республики Таджикистан №1202, 2018. -5 с.

[10-М]. Рафиев, С.С. Способ определения коэффициента адсорбции наноматериалов. / Сафаров М.М., Абдуназаров С.С. Рафиев С.С и др. / Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1279, 2021. – 9 с.

[11-М]. Сафаров, М. М. Установка для автоматизированного определения теплопроводности твердых тел / Саидзода К. Б., Рафиев С.С, Сафаров Ш. Р и др. // Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1185, 2021. -7с.

**Мақолаҳо дар конференцияҳои байналмиллалӣ ва ҷумҳуриявӣ ба таъбириши рашида.**

[12-М]. Рафиев, С.С. Адсорбционные, теплофизические, термодинамические свойства некоторых наночастиц и их влияние на поведение теплоносителей / М.М. Сафаров, Т.Р. Тиллоева, З.Ю. Норов, С.С. Рафиев и др. // 10 школа - семинар молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е. Алемасова “Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении”, Казань, 2016. - С. 217 - 220.

[13-М]. Rafiev, S. S. Influence of carbon nanotubes, nanometalic to exchange thermophysical and thermodynamics properties of hydrazinehydrate (rocket fuel) in dependence temperature and pressures/ М.М. Safarov, Н.А. Zoirov, S.S. Rafiev e.t.// Conference book, 10 ICTP “Thermophysical properties measurements in the quality control of substances, materials and products». Dushanbe-Tambov, 3-8 october 2016. - P. 201-218.

[14-М]. Rafiev, S. S. Computer modeling of heat transfer process for nanofluids / М.М. Safarov, М.М. Gulomov, D.Sh. Rajabova, S.S. Rafiev et. // 4 International computer simulation, China, 2017, - p. 56.

[15-М]. Рафиев, С.С. Влияние наночастиц на изменение теплопроводности, температуропроводности диэтилового эфира включая критическое и закритической области параметров состояния./ М.М. Сафаров, М. М. Гуломов, Дж.Ф. Собиров, С.С. Рафиев и др. // Материалы между-народной конференции фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конден-сированных средах. / Махачкала, 6 - 9 сентября 2017. - С.433 - 436.

[16-М]. Rafiev, S.S. Thermodynamic properties of nano fluids in dependence temperature and pressures. / М.М. Safarov, М.А. Zaripova, Т.Р. Tilloeva, S.S. Rafiev e.t. // 6<sup>th</sup> Rostock International Conference: THERMAL 2017 “Thermophysical Properties for Technical Thermodynamics” Institute of Technical Ther-modynamics University of Rostock, Germany, 17–18 July 2017, - P. 77.

[17-М]. Рафиев, С. С. Уравнение типа Тейта для расчета плотности жидкостей, растворов при различных температурах и давлениях./ М.М. Сафаров, М.М. Гуломов, С.С. Рафиев и др. // Материалы МНПК “8 Ломоносовских чтения”, Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г, Душанбе, 27 - 28 апреля 2018 - С.34 - 38.

[18-М]. Рафиев, С.С. Физико - химические и адсорбционные свойства жидкого гидразина и хлорида гидразиня. / М.М. Сафаров, С.С. Рафиев, Ш.Р. Сафаров, З.К. Хусайнов. // МНПК “Актуальные проблемы преподавания математики и естественных наук в кредитной системы обучения” КТГУ имени Носира Хусрава, Бохтар, 2018 - С. 458 - 461.

[19-М]. Рафиев, С.С. Определение коэффициента поверхностного натяжения растворов методом Ребиндера / М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, С.С. Рафиев. // Международный водноэнергетический форум - 2018, КГЭУ, Т. 1.29 октября - 2 ноября 2018, Казань, Россия - (2018). - С.137 (Scopus).

[20-М]. **Рафиев, С.С.** Влияние металлических наночастиц на изменение реологических свойств углеводородов. / М.М. Сафаров, Х.Х. Ойматова, Ш.Р. Сафаров, **С.С. Рафиев**, С.С. Джумъев и др. // 6 МНТК студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосберегающие и эффективность в технических системах”, Тамбов, 3 - 5 июня 2019, - С. 72 - 73.

[21-М]. **Рафиев, С.С.** Влияние нанопорошка гидразина на изменение энтропии тернарных систем кремниевой кислоты и многослойных углеродных нанотрубок / М.М. Сафаров, Ш.Р. Сафаров, **С.С. Рафиев** и др. // Материалы 4 МНК «Вопросы физической и координационной химий», 3 - 4 мая 2019. - С. 195 - 202.

[22-М]. **Рафиев, С.С.** Вклад нанотрубок и сажи на поведение реологических и термодинамических свойств простых эфиров и хладагентов. / М.М. Сафаров, Б.А. Тимеркаев, **С.С. Рафиев** и др. / 6 МНТК студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосберегающие и эффективность в технических системах”, Тамбов, 3 - 5 июня 2019, - С. 169 - 170.

[23-М]. **Рафиев, С.С.** Комплексная солнечная установка для получения тепловой и электрической энергии. / Ф. Абдужалилзода, М.М. Сафаров, А.Р. Раджабов, **С.С. Рафиев**, и др. // Материалы Международной конференции “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, Махачкала, 15 - 20 сентября 2019, - С.420 - 422.

[24-М]. **Рафиев, С.С.** Влияние нанопорошка гидразина на изменение энтропии, удельной теплоты плавления тернарных систем. / Х.Х. Ойматова, Ш.Р. Сафаров, **С.С. Рафиев**, М.М. Сафаров, Б.А.Тимеркаев и др. // МНК «Современные проблемы естественных и гуманитарных наук и их роль в укреплении научных связей между странами», Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе (10 - 11 октября 2019г.). - С. 109 - 113.

[25-М]. **Рафиев, С.С.** Математические модели динамики адсорбции нанопорошка гидразина. / М.М. Сафаров, **С.С. Рафиев**. // Материалы МНК «Актуальные проблемы преподавания математики и естественных наук в кредитной системы обучения КТГУ имени Носира Хусрава, (г. Бохтар, 18-19 октября соли 2019). - С.66-68.

[26-М]. **Рафиев, С.С.** Расчет одного из основного термодинамических потенциалов (энергии Гельмгольца) тернарных систем. / Ш.Р.Сафаров, Х.Х. Ойматова, **С.С. Рафиев**, М.М. Сафаров. // Сборник научных трудов 29 МНК “Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук”, Санкт Петербург 12 июля 2020 г. - 2020. - С.19 - 20 (doi: 10. 18411 /sciencepublic – 12 – 07 – 2020 - 03) idsp: science public – 12 – 07 – 2020 - 03, Scopus

[27-М]. **Rafiev, S.S.** Effect of hydrazine nanopowder on change of adsorption properties of ternary systems during water vapour wetting at room temperature / H.H. Oymatova, Sh.R. Safarov, S.S. **Rafiev** // IARIA, 2CFP, ICQNM - 2020, 15-19 November, 2020, Ispane, Valenciya, 2020. - p.34.

[28-М]. **Рафиев, С.С.** Влияние нанопорошка гидразина на изменение адсорбционных свойства тернарных систем в процессе увлажнения паров воды при комнатной температуре. / Х.Х. Ойматова, Ш.Р. Сафаров, **С.С. Рафиев**. // Материалы 10 МНПК «Ломоносовские чтения», Ч.1., Душанбе, 25 - 26 сентября 2020г. - С.53 - 58.

[29-М]. **Рафиев, С.С.** Расчет одного из основных термодинамических потенциалов (энергии Гельмгольца) тернарных систем. / Ш.Р. Сафаров, Х.Х. Ойматова, **С.С. Рафиев**, М.М. Сафаров, М. А. Файзова. // Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук (Сборник научных трудов), Санкт - Петербург, 2020, - С. 19 - 21.

[30-М]. **Рафиев, С. С.** Влияние нанопорошка гидразина на изменение энергии Гиббса в тернарных системах. / Х.Х. Ойматова, Ш.Р. Сафаров, Дж. Ф. Собиров, М.М. Сафаров, С.С. Рафиев. // Сборник научных трудов. Инновация, Наука, Образования, (научный журнал) М. 2021, №27, - С.917 - 925.



## АННОТАЦИЯ

к диссертации **Рафиева Саидбега Самиевича на тему «Исследование теплофизических и термодинамических свойств теплоносителей внедренных нанопорошка гидразина», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника**

**Ключевые слова:** теплопроводность, плотность, коэффициенты динамической и кинематической вязкости, этиленгликоль, нанопорошок гидразина, температура, давления, концентрация.

**Цель работы:** комплексное экспериментально-теоретическое исследование физико-химических свойств (коэффициента эффективной теплопроводности, плотности, реологических и кинетических свойств) растворов этиленгликоля при различных параметрах состояния и концентрации нанопорошка гидразина.

**Научная новизна:** созданы экспериментальные установки для определения теплопроводности наножидкостей (малый патент № ТЈ 923, 2017. – 5 с.) и коэффициента адсорбции наноматериалов (малый патент № ТЈ 1279, 2021. – 9 с.); получены данные по коэффициенту эффективной теплопроводности, плотности, коэффициентов динамической и кинематической вязкости этиленгликоля и его водных растворов с различными концентрациями нанопорошка гидразина в интервале температуры (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа; на основе экспериментальных данных получены расчетные данные теплопроводности, вязкости, плотности и критерия Прандтля для этиленгликоля и его водных растворов с различными концентрациями нанопорошка гидразина в интервале температуры (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа; на основе обработки и обобщения экспериментальных данных получены эмпирические уравнения для расчета коэффициента эффективной теплопроводности, плотности, коэффициентов динамической и кинематической вязкости этиленгликоля и его водных растворов с различными концентрациями нанопорошка гидразина в интервале температуры (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа..

**Теоретическая и практическая значимость работы:** составлены подробные таблицы по теплопроводности, плотности, коэффициентов динамической и кинематической вязкости этиленгликоля и его водных растворов с различными концентрациями нанопорошка гидразина в интервале температуры (273 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа, которые можно рекомендовать проектным организациям для их реализации в различных химических процессах в теплоэнергетике и машиностроении; полученные экспериментальные данные в виде справочного материала для исследованных двух – и трёхкомпонентных систем технических растворов можно использовать при создании математических и физических моделей при инженерных и конструкторских расчетах для установления и выбора оптимальных режимов работы различных механизмов и устройств; получены эмпирические уравнения и уравнение состояния (в условиях изменения и давления и температуры опыта). Впервые для исследованной группы наножидкостей были применены уравнения типа Тейта, Мамедова и Ахундова, а также численным способом были получены коэффициенты для них.

**Результаты исследования внедрены** в Институте промышленности Министерства промышленности и новых технологий РТ при расчетах модельных реакторов и технологических процессов, а экспериментальные данные используются как справочные; созданная аппаратура для измерения плотности, теплопроводности (метод нагретой нити, монотонного разогрева, метод гидростатического взвешивание) водных растворов этиленгликоля с нанопорошком гидразина, а также теоретические результаты исследования используются в Таджикском государственном педагогическом университете им. Садриддина Айни и Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими в учебном процессе.

## ШАРҲИ МУХТАСАР

ба рисолаи Рафиев Саидбег Самиевич дар мавзӯи "Тадқиқи хосиятҳои гармофизикӣ ва термодинамикии гармибарандаҳои наноҳокаи гидразин воридкардашуда", ки барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 01.04.14 - физикаи ҳарорат ва назарияи техникаи гармо пешниҳод шудааст

**Вожакалимаҳо:** гармигузаронӣ, зичӣ, коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикӣ, этиленгликол, наноҳокаи гидразин, ҳарорат, фишор, концентратсия.

**Мақсади кор:** таҳқиқи комплекси таҷрибавӣ-назариявии хосиятҳои физикию химиявӣ (коэффитсиенти гармигузаронӣ, зичӣ, хосиятҳои реологӣ ва кинетикӣ) маҳлули этиленгликол ҳангоми параметрҳои гуногуни ҳамбастагӣ ва концентратсияи наноҳокаи гидразин.

**Навоварии илмӣ:** дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои муайян кардани гармигузаронии наномоеъҳо (патенти хурди ҚТ № ТҶ 923, 2017. 5 с.) ва коэффитсиенти адсорбсияи наноматериалҳо (патенти хурди ҚТ № ТҶ 1279, 2021. 9 с.) сохта шудаанд; маълумот аз рӯи коэффитсиенти гармигузаронӣ, зичӣ, коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикии этиленгликол ва маҳлулҳои обии он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин дар ҳудуди ҳарорати (273-363) К ва фишори (0,101-14,42) МПа ба даст оварда шудааст; дар асоси маълумоти таҷрибавӣ гармигузаронӣ, зичӣ ва адади Прандтл барои этиленгликол ва маҳлулҳои обии он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин дар ҳудуди ҳарорати (273-363) К ва фишори (0,101-14,42) МПа ба даст оварда шудааст; дар асоси қоркард ва ҷамъбасти маълумоти таҷрибавӣ муодилаҳои эмпирикӣ барои ҳисоб кардани коэффитсиенти гармигузаронӣ, зичӣ, коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикии этиленгликол ва маҳлулҳои обии он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин дар ҳудуди ҳарорати (273-363) К ва фишори (0,101 - 14,42) МПа ба даст оварда шуданд.

**Аҳамияти назариявӣ ва амалии кор:** ҷадвалҳои муфассал оид ба гармигузаронӣ, зичӣ, коэффитсиентҳои часпакии динамикӣ ва кинематикии этиленгликол ва маҳлулҳои обии он бо концентратсияҳои гуногуни наноҳокаи гидразин дар ҳудуди ҳарорати (273-363) К ва фишори (0,101 - 14,42) МПа тартиб дода шудаанд, ки метавонанд ба ташкилотҳои лоиҳавӣ барои татбиқи онҳо дар равандҳои гуногуни химиявӣ дар энергетикаи гармо ва мошинсозӣ; маълумоти таҷрибавии бадастомада дар шакли маводи истинод барои маҳлулҳои техникӣ ду ва секомпонентаи тадқиқшуда метавонад ҳангоми сохтани моделҳои математикӣ ва физикӣ дар ҳисобкуниҳои муҳандисӣ ва конструкторӣ барои муқаррар ва интиҳоби речаҳои самараноки қори механизмҳо ва дастгоҳҳои гуногун истифода шавад; муодилаҳои эмпирикӣ ва муодилаи ҳолат (дар шароити тағироти фишор ва ҳарорат) ҳосил карда шудаанд. Бори аввал барои гурӯҳи тадқиқшудаи наномоеъҳо муодилаҳои навъи Тейта, Мамедов ва Ахундов истифода шуда, коэффитсиентҳои онҳо бо усули ҳисобкунӣ ба даст оварда шуданд.

**Натиҷаҳои тадқиқот қорӣ карда шудаанд** - дар Институти саноати Вазорати саноат ва технологияҳои нави ҚТ ҳангоми ҳисоб кардани реакторҳои моделӣ ва равандҳои технологӣ, маълумоти таҷрибавӣ бошад, ҳамчун маълумотнома истифода мешаванд; дастгоҳҳои сохташуда барои ҷен кардани зичӣ, гармигузаронӣ (усули ноқили тафсон, гармкунии мунтазам, усули баркашии гидростатикӣ)-и маҳлулҳои обии гидразин, инчунин натиҷаҳои назариявӣ дар Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни ва Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М. С. Осимӣ дар раванди таълим истифода мешаванд.

## ABSTRACT

to the **dissertation of Rafiev Saidbeg Samievich on the topic “Research of the thermophysical and thermodynamic properties of heat carriers of embedded hydrazine nanopowder”**, submitted for the degree of candidate of technical sciences on specialty **01.04.14 - thermophysics and theoretical heat engineering**

**Key words:** thermal conductivity, density, coefficients of dynamic and kinematic viscosity, ethylene glycol, hydrazine nanopowder, temperature, pressure, concentration.

**Purpose of the work:** a comprehensive experimental and theoretical study of the physicochemical properties (coefficient of effective thermal conductivity, density, rheological and kinetic properties) of ethylene glycol solutions at various parameters of the state and concentration of hydrazine nanopowder.

**Scientific novelty:** experimental installations have been created to determine the thermal conductivity of nanofluids (small patent No. TJ 923, 2017. – 5 p.) and the adsorption coefficient of nanomaterials (small patent No. TJ 1279, 2021. – 9 p.); data were obtained on the coefficient of effective thermal conductivity, density, coefficients of dynamic and kinematic viscosity of ethylene glycol and its aqueous solutions with various concentrations of hydrazine nanopowder in the temperature range (273 - 363) K and pressure (0.101 - 14.42) MPa; based on experimental data, calculated data on thermal conductivity, viscosity, density and the Prandtl criterion were obtained for ethylene glycol and its aqueous solutions with various concentrations of hydrazine nanopowder in the temperature range (273 - 363) K and pressure (0.101 - 14.42) MPa; Based on the processing and generalization of experimental data, empirical equations were obtained for calculating the coefficient of effective thermal conductivity, density, coefficients of dynamic and kinematic viscosity of ethylene glycol and its aqueous solutions with various concentrations of hydrazine nanopowder in the temperature range (273 - 363) K and pressure (0.101 - 14.42 ) MPa..

**Theoretical and practical significance of the work:** detailed tables have been compiled on thermal conductivity, density, coefficients of dynamic and kinematic viscosity of ethylene glycol and its aqueous solutions with various concentrations of hydrazine nanopowder in the temperature range (273 - 363) K and pressure (0.101 - 14.42) MPa, which can be recommended to design organizations for their implementation in various chemical processes in thermal power engineering and mechanical engineering; the experimental data obtained in the form of reference material for the studied two- and three-component systems of technical solutions can be used to create mathematical and physical models for engineering and design calculations to establish and select optimal operating modes for various mechanisms and devices; empirical equations and an equation of state were obtained (under the conditions of changes in both pressure and temperature of the experiment). For the first time, equations of the Tate, Mamedov and Akhundov type were applied to the studied group of nanofluids, and the coefficients for them were obtained numerically.

**The results of the study were introduced** at the Institute of Industry of the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Tajikistan in the calculations of model reactors and technological processes, and experimental data are used as reference; The created equipment for measuring the density, thermal conductivity (heated filament method, monotonic heating method, hydrostatic weighing method) of aqueous solutions of ethylene glycol with hydrazine nanopowder, as well as theoretical research results are used at the Tajik State Pedagogical University named after. Sadriddin Aini and Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi in educational process.

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

---

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