

**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**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

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

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, доцент

Назарзода Хайрулло Холназар

(Назаров Хайрулло Холназарович)

**Душанбе – 2024**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ В РАБОТЕ .....	6
	ВВЕДЕНИЕ .....	7
Глава 1	ФИЗИКО - ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИДРАЗИНА И РАСТВОРИТЕЛЕЙ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР) .....	15
1.1	Некоторые физико-химические свойства этиленгликоля и воды и растворов нанопрошка гидразина на его основе .....	15
1.2	Основные характеристики исследуемых объектов.....	19
	Выводы по первой главе, цель и задачи исследование .....	21
Глава 2	Экспериментальные методы исследования теплофизических и термодинамических свойств растворов при различных условиях .....	22
2.1	Устройство для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей (метод нагретой нити).....	22
2.2	Расчет погрешности коэффициента теплопроводности $\alpha$ (метод нагретой нити).....	25
2.3	Опытные установки для экспериментального исследования плотности, вязкости жидких веществ при атмосферном давлении.....	30
2.4	Определение погрешности экспериментального исследования плотности жидких веществ.....	33
2.5	Расчет погрешности экспериментального исследования плотности изучаемых образцов при атмосферном давлении.....	34
2.6	Метод измерения динамической вязкости и показателя преломление света жидкостей и растворов.....	36
2.7	Экспериментальная установка для определения коэффициента адсорбции и массопереноса зернистых материалов (Малый патент РТ № TJ 824, № TJ 825) .....	35
2.8	Расчетная формула для определения коэффициентов адсорб-	

	ции и массопереноса сыпучих материалов.....	37
	Выводы по второй главе.....	38
Глава 3	МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРАЗИНА В КОНДЕНСАТНО-ПИТАТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОРРОЗИИ .....	39
3.1	Применение гидразина для предотвращения кислородной коррозии.....	39
3.2	Гидразинная обработка питательной воды пароконденсатного тракта в теплоэлектростанциях.....	39
3.3	Схемы ввода гидразина. ....	40
3.4	Автоматизация приготовления гидразина. ....	43
3.5	Технология гидразинной обработки воды. ....	45
3.6	Наладка гидразинной обработки. ....	48
	Выводы по 3-ей главе.....	50
Глава 4	ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ ГИДРАЗИНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРИТЕЛЕЙ .....	51
4.1	Результаты опытного изучения коэффициента теплопроводности технических растворов гидразина при различных температурах и атмосферном давлении .....	51
4.2	Теплопроводность двухкомпонентных растворов на основе жидкого этиленгликоля при различных температурах, и атмосферном давлении, и изменении концентрации воды в них (опытные и теоретические данные).....	56
4.3	Плотность двухкомпонентных растворов на основе жидкого этиленгликоля при атмосферном давлении и изменении концентрации воды в них (опытные данные).....	58
4.4	Коэффициент динамической вязкости двухкомпонентных растворов на основе жидкого этиленгликоля при атмосферном	

	давлении, и изменении температуры, и концентрации воды в них (теоретические данные).....	61
4.5	Коэффициент кинематической вязкости двухкомпонентных растворов на основе этиленгликоля при атмосферном давлении, и изменении температуры, и концентрации воды в них (теоретические данные).....	63
4.6	Влияние концентрации нанопорошка гидразина на изменение теплопроводности двухкомпонентных растворов (этиленгликоль - воды) при различных температурах и давлениях.....	65
4.7	Влияние концентрации нанопорошка гидразина на изменение плотности двухкомпонентных растворов (этиленгликоль - воды) при различных температурах и давлениях.....	80
4.8	Экспериментальные исследования динамической вязкости растворов (№ 5, № 6, № 7, № 8) - нанорошка гидразина с различной концентрацией, температурой и давлением .....	90
4.9	Экспериментальные исследования кинематической вязкости растворов (№5, №6, №7, №8) - при различных концентрациях, и давлении, и температуры .....	99
4.10	Коэффициент адсорбции нанопорошка гидразина.....	104
4.11	Анализ экспериментальных данных по теплопроводности растворов на основе нанопорошка гидразина .....	106
4.12	Влияние нанопорошка гидразина на изменение критерии Прандтля растворов на основе этиленгликоля и воды при атмосферном давлении и различных температурах.....	110
	Выводы по четвертой главе.....	112
Глава 5	АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМ И РЕОЛОГИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ РАСТВОРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ СОСТОЯНИЯ .....	113
5.1	Обработка данных по результатам экспериментального иссле-	

	дования теплопроводности растворов системы этиленгликоля и воды с внедренным в нем нанопорошка гидразином.....	113
5.2	Данные опытных исследований плотности изучаемых растворов и их обработки.....	115
5.3	Данные опытных исследований динамической вязкости растворов на основе этиленгликоля – воды и нанопорошка гидразина и их обработка.....	118
5.4	Обработка экспериментальных данных по кинематической вязкости растворов на основе этиленгликоля с различной концентрацией нанопорошка гидразина.....	121
5.5	Применение уравнения Тэйта к различным классам веществ в конденсированном состоянии и обзор.....	123
5.5.1	Уравнение состояния идеальных и реальных газов.....	123
5.5.2	Уравнение состояния типа Тейта для расчета кинематической вязкости исследуемых растворов.....	124
5.5.3	Уравнение типа Тейта в изучении жидких кристаллов.....	127
5.5.4	Применение уравнение состояния типа Тэйта для численных расчетов коэффициента динамической вязкости исследуемых растворов.....	128
	Выводи по пятой главе.....	132
	ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ .....	133
	Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы исследования диссертационной работы.....	135
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ.....	136
	ПРИЛОЖЕНИЕ .....	160

## ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАБОТЕ

- $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}\right)$ ;
- $C_p$  – удельная теплоемкость,  $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}\right)$ ;
- $Q$  – количество теплоты, (кДж);
- $Fo$  – критерий Фурье;
- $P$  – давление, (МПа);
- $\Delta T$  – разность значений температур, (К);
- $Pr$  – критерий Прандтля;
- $Gr$  – критерий Грасгофа;
- $\rho, \rho_{\text{насып.}}$  – плотность  $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$ , насыпная плотность  $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$ ;
- $t_{\alpha, n-1}$  – коэффициент Стьюдента;
- $\alpha$  – доверительная вероятность;
- $\alpha_p$  – коэффициент теплового расширения (1/К);
- $\beta_T$  – изотермическая сжимаемость, (1/Па);
- $M$  – молярная масса,  $\left(\frac{\text{кг}}{\text{моль}}\right)$ ;
- $U$  – показания потенциометра, (мВ);
- $\varepsilon$  – степень черноты;
- $\alpha_{\text{луч.}}$  – коэффициент теплоотдачи излучением,  $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}\right)$ ;
- $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости,  $\left(\frac{\text{м}^2}{\text{с}}\right)$ ;
- $G_{\text{я}}$  – масса ядра, (кг);
- $G_1$  – вес поплавка на воздухе, (кг);
- $G_2$  – вес поплавка в исследуемых образцах, (кг);
- $V_{\text{п}}$  – объем кварцевого поплавка, ( $\text{м}^3$ );
- $V_{\text{н}}$  – объем манганиновой проволоки, ( $\text{м}^3$ );
- $\eta$  – динамической вязкость, (Па с);
- $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения, (Н/м);
- $n$  – показатель преломления света;

## ВВЕДЕНИЕ

Систематические исследования физико - химических свойств материалов, в том числе реологических свойств (динамической и кинематической вязкости) и дают важные сведения о природе материалов, которые позволяют определить область и условия их практического использования.

*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 (кинематической и динамической 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.

**Объекты 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 экспери-



ментальном 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 № ТЈ 923, 2017.-5 с.) и коэффициента адсорбции наноматериалов (малый патент № ТЈ 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 Тейта, 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 № ТЈ 923, 2017.–5 с.) и коэффициента адсорбции наноматериалов (малый патент № ТЈ 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, термодинамическим 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 тепломассообмена 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); 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).

*По результатам работы опубликовано 30 научных публикаций, 6 из которых опубликованы в журналах, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан в том числе одна единоличная (без соавторов) и 19 тезисов докладов. Получено 5 малых патента Республики Таджикистан.*

***Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы (158 наименований) и приложения. Исследовательская работа изложена на 202 страницах компьютерного текста и содержит 42 таблиц, 46 рисунка (приложение представлено на 42 стр.).*

**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».

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

### **1.1. Некоторые физико - химические свойства этиленгликоля и воды и растворов нанопорошка гидразина на его основе**

В качестве исследуемого объекта нами выбраны растворы на основе этиленгликоля, воды с внедрением нанопорошка гидразина (50 нм). Выбор нанопорошка гидразина в качестве добавки обусловлено тем, что его производят в небольших для производства объемах, однако в его физико - химические свойства делают его весьма востребованным в технике, в различных областях народного хозяйства в технике, в технологических процессах, машиностроении и ракетостроении.

Водные растворы гидразина также особое место занимают и изготовлении полуфабрикатов, готовой продукции, в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Несмотря на их широкий спектр применения, их теплофизические, термодинамические и реологические свойства в зависимости от различных сопутствующих факторов, влияющих на их состояние изучено не достаточно в полном объеме.

Водные растворы гидразина очень хороши в качестве модельных объектов, поскольку благодаря их химическому строению они хорошо поддаются анализу их связи с теплофизическими, термодинамическими и реологическими свойствами, изучение которых дает возможность исследовать ряд идентичных классов соединений органического происхождения. Гидразин и его метил-замещенные смеси используют в получении полимеров, азота, водорода, аммиака, порофоров, в электрохимических генераторах, в виде топлива, а также теплоносителя вторичного контура в турбоустановках и т.п. [1-4, 5, 12, 13, 20].

Также у гидразина развита высокая поглотительная способность, а радиоактивное излучение на него практически не воздействует, он

растворим в ароматических и хлорированных углеводородах, кетонах, и воде [1 – 11, 64 - 73].

**Таблица 1. 1.** - Основные параметры гидразина [1 - 8]

Характеристики	Значение
Внешний вид	Бесцветный
Показатель преломления света $n_D^{20}$	1,59
Плотность при $20^0C, \rho / \text{см}^3$	1,05
Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0,093
Удельная теплоёмкость, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	1,26
Температурный коэффициент линейного расширения, $^0C^{-1}$	$6 \cdot 10^{-5}$
Прочность, при растяжении (МПа) при изгибе	35 – 50
Диэлектрическая проницаемость	2,49 – 2,60

Этиленгликоль (1,2 - этандиол, лат. варианты названий: 1,2 - Etandiol, Etylenglykol, Dihydroxietan, Monoetylenglykol) - органическое соединение, предельный двухатомный спирт, получаемый гидратацией этилен - оксида или 1,2 - дихлорэтана. Химическая формула этиленгликоля –  $C_2H_4(OH)_2$ .

В диэтиловом эфире, четыреххлористом углероде, бензоле, толуоле, хлороформе растворяется частично, а в минеральных маслах, поливинилхлориде, парафинах, каучуке, растительных и животных маслах практически не растворяется. В воде растворение этиленгликоля представляет собой экзотермическую реакцию и сопровождается уменьшением объема и снижением температуры замерзания.

В некоторых компаниях производятся на основе этиленгликоля незамерзающие водные растворы в виде антифризов и теплоносителей для промышленных и бытовых систем отопления и хладоснабжения с различной концентрацией этиленгликоля: этиленгликоль 30%, этиленгликоль 40%, этиленгликоль 45%, этиленгликоль 50% и этиленгликоль 65%.



**Таблица 1.2.** - Плотность ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) этиленгликоля в зависимости от температуры при атмосферном давлении

T, К	293	303	313	318	323	328	338
$\rho$ , кг / м <sup>3</sup>	1050	1058	1067	1074	1082	1090	1098

Применение этиленгликоля используется в химической, фармацевтической, текстильной, электротехнической, автомобильной и авиационной промышленности, в качестве теплоносителя (антифриз, хладагент) в автономных системах отопления, промышленного кондиционирования общественных и спортивных сооружений. Процесс кристаллизации этиленгликоля сопровождается его переходом в желеобразную форму, не оказывая вредного действия на оборудования.

Температура кристаллизации водных растворов этилен- и пропиленгликоля при одинаковых отличительны. Их вязкость также отличительна, т.е. у этиленгликоля она меньше, чем у пропиленгликоля, что повышает его циркуляционные характеристики. Теплоемкость и теплопроводность у раствора этиленгликоля относительно пропиленгликоля значительно выше, в связи с чем, как теплоносителю ему отдается большее предпочтение.

Основным показателем по его теплофизическим свойствам является концентрационная зависимость этиленгликоля в растворе, от которой зависит его температура кристаллизации. Минимальная температура кристаллизации - 65 градусов достигается при 65% концентрации этиленгликоля в растворе, а при дальнейшем повышении концентрации этиленгликоля температура кристаллизации повышается. Данная зависимость носит нелинейный характер (таблица № 1. 3):

1. Значения величины плотности водного раствора в зависимости от его концентрации при температуре 20<sup>0</sup>С;
2. Зависимость температуры кристаллизации водного раствора от концентрации этиленгликоля.

**Таблица 1.3.** - Влияние концентрации этиленгликоля на температуру кристаллизацию водного раствора этиленгликоля [87, 89]

№	Концентрация этиленгликоля, %	Температура кристаллизацию водного раствора этиленгликоля, °С	Значения (величины) плотности раствора при температуре 20°С.
1	30	-15	1038
2	35	-20	1045
3	40	-25	1052
4	45	-30	1058
5	50	-35	1064
6	54	-40	1071
7	60	-50	1077
8	65	-65	1083
9	70	-60	1088

В качестве растворителей используют химически чистые бензол, дихлорэтан, ксилол, этиленгликоль, воду, бромформ и др., выбор которых основан на том, что полистирол и нанопорошок гидразина в них хорошо растворяются и их ТФС хорошо изучены. Теплофизические и реологические свойства водного раствора этиленгликоля приведены в виде научных статей в рецензируемых журналах и в виде Справочников [20, 87 – 89, 94].

**Таблица 1.4.** – Физико – химические характеристики растворителей

Растворитель	Химическая формула	Молярная масса $\mu, 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	Температура плавления $T_{пл}, \text{K}$
Бензол	$C_6H_6$	78,11	278,68
Дихлорэтан	$CH_2CHCl_2$	98,96	176,45
Ксилол	$C_6H_4(CH_3)_2$	106,17	247,8
Бромформ	$CHBr_3$	252,73	281,65

Продолжение таблица 1.4.

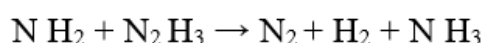
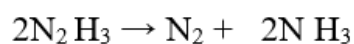
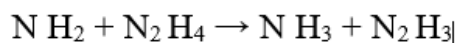
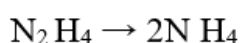
Растворитель	Температура кипения $T_{кип}, K$	Критическая температура $T_{кр}, K$	Критическое давление $P_{кр}, 10^5 Pa$	Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$
Бензол	353,22	553,0	48,6	2,275
Дихлорэтан	330,50	522	50	10,86
Ксенол	417,55	632	36	2,226
Бромформ	423,65	-	-	4,49

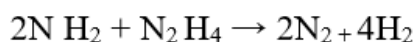
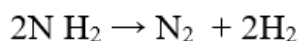
## 1.2. Основные характеристики исследуемых объектов

Гидразин (диамид)  $H_2N - NH_2$ , контактируя с воздухом начинает переходить в газообразное состояние, жидкий, растворим в воде, низших спиртах, аминах и не растворим в углеводородах.

При растворении в воде получают азеотропную смесь ( $t_{кип} = 120,1$  °С, 71,5% гидразин), а в воздухе - взрывоопасную смесь; безводный гидразин контактируя с асбестом, углем, и Cu, Fe, Hg, имеет склонность к самовозгоранию. В водных растворах с катализатором и температуре 300 °С он разлагается и окисляется. Также имеет хорошие восстановительные характеристики [1 - 5].

Если подвергнуть сушке моногидрат гидразина щелочами, либо сульфат гидразина обработать жидким аммиаком, то можно получить безводный гидразин. У гидразингидрата низкотемпературные характеристики лучше, чем у самого гидразина, а если в него добавить азид гидразина, то он будет кристаллизоваться при более низких температурах [6-10], не снижая его топливные характеристики. Гидразин разлагается при температурах 250 – 310°С, которые проходят при участии свободных радикалов [8, 9].

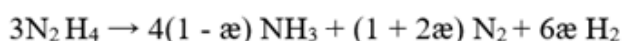




Фотохимическое ( $\lambda < 2400 \text{ \AA}$ ) разложение протекает следующим образом с выделением незначительного количества аммиака:



В общем виде реакция примет следующий вид [10]:



величина  $\alpha$  в результате термического разложения составляет 0,06, а для фотохимического варьируется от 0,93 до 0,96 [8].

Гидразингидрат является 64% - й раствором гидразина и воды и считается подвижной жидкостью. В воде и полярных растворителях растворим и нерастворим в неполярных (таблица 1. 5).

Реакция получения гидразингидрата экзотермическая, а энергия Гиббса относительно его раствора и другие термодинамические функции не схожи друг с другом, т.е. [5, 13]:

$$\text{N}_2 \text{H}_4(\text{P}) \Delta \text{H}^0_{298} = 34,31 \text{ кДж / моль}, \Delta \text{G}^0_{298} = 128,03 \text{ кДж / моль},$$

$$\text{N}_2 \text{H}^+_{4(\text{P})} \Delta \text{H}^0_{298} = -7,53 \text{ кДж / моль}, \Delta \text{G}^0_{298} = 82,42 \text{ кДж / моль}.$$

При получении водного раствора гидразина его энтальпия и энергия Гиббса соответственно равны [5, 13]:



$$\text{N}_2 \text{H}_4(\text{Ж}) \rightarrow \text{N}_2 \text{H}_4(\text{P}) \Delta \text{H}^0_{298} = -16,19 \text{ кДж / моль},$$

$$\Delta \text{G}^0_{298} = -21,21 \text{ кДж / моль}$$

В эквимольных соотношениях теплота его смешения водой при 298 К соответствует 3,76 кДж / моль [11].

**Таблица 1.5.** - Основные характеристики и свойства гидразина при температуре 298 К [1-13]

Свойства	Гидразин
Молярная масса, кг / моль	0,032
Температура плавления, $T_{пл}$ , К	238,65
Температура кипения, $T_{кп}$ , К	386,65
Температура вспышки, $T_{вс}$ , К	313,15
Температура самовоспламенения, $T_{свп}$ , К	405,15
Температура критическая, $T_{кр}$ , К	653,15
Давление насыщенных паров, Па	267
Давление критическое, МПа	14,5
Плотность, кг / м <sup>3</sup>	1003
Вязкость, МПа·с	0,90
Поверхностное натяжение, МН / м	66,67
Дипольный момент, Д	1,9
Диэлектрическая проницаемость	51,7
Удельная электропроводность, Ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>	(2,3 - 2,6)·10 <sup>-6</sup>
Показатель преломления	1,469

### **Выводы к первой главе, цель задачи исследование**

В настоящей главе 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 ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

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

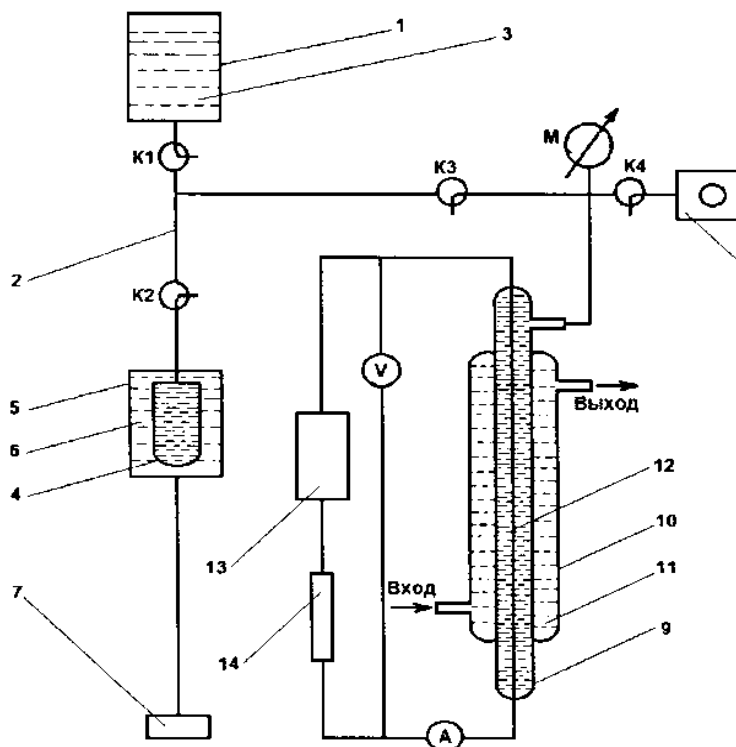
Основными элементами данного устройства являются вакуумный насос и манометр, внутренний сосуд, измерительные трубки, краник, сосуд с термостатирующей жидкостью (внешний сосуд), стальной сосуд с исследуемым образцом, который с помощью трубки и краников соединен с полиэтиленовым мешочком. Мешочек размещен в пережимном сосуде, а сам наполнен глицерином. Пережимной сосуд с помощью патрубков соединен с манометром грузопоршневым. Внутренний сосуд снабжен нагревателем, соединенный с источником постоянного питания, постоянным резистором, ампер - и вольтметром. Вольтметр имеет параллельное соединение с источником и резистором.

В качестве прототипа принята установка [П.С. Булкин, О.Н. Васильева, Т.И. Малова, Я.В. Пузырев. Изучение явлений переноса в воздухе. МГУ им. В.И. Ломоносова. Физический факультет. Общий физический практикум. Москва. 2007 год], служащая для исследования теплопроводности газов, состоящей из вакуумного насоса и манометра. Вакуумный насос и манометр присоединены к внутреннему сосуду посредством трубки измерительной, размещенной в сосуде с термостатирующей средой. В качестве термостатирующей среды автором использован воздух. Во внутреннем сосуде помещен никелевый нагреватель в виде проволоки, замыкающей электрическую цепь. Нагреватель имеет последовательное соединение с источником питания, резистором, ампер - и вольтметром. Вольтметр имеет параллельное соединение с источником и резистором.

Основным отличием прототипа от предложенного нами устройства

является отсутствие возможности исследования газов, а также реализация опытов при комнатной температуре и атмосферном давлении.

Техническое решение, а именно дополнительное оснащение установки пережимным сосудом с полиэтиленовым мешочком и грузопоршневым манометром позволило достигнуть желаемого результата (рис 2.1).



**Рисунок 2.1.** - Схема экспериментальной установки для измерения теплопроводности наножидкостей [86]

Установка имеет следующие основные элементы: нержавеющая стальная емкость 1 с образцом 2, которая трубкой 3 и кранами  $K_1$  и  $K_2$  соединена с мешочком полиэтиленовым 4. Пережимной сосуд 5, который содержит глицерин 6 имеет трубчатое соединение с грузопоршневым манометром 7 (МП - 2500 или МП - 600). К соединительной трубке, между емкостью 1 и пережимным сосудом 5, посредством кранов  $K_3$  и  $K_4$  соединены вакуумный насос 8 и манометр М. Данный манометр имеет соединение и с внутренним

сосудом 9, установленным во внешнем 10 с термостатирующей средой 11. Внутренний сосуд снабжен никелевым нагревателем 12 в виде проволоки замкнутой электроцепи. Нагреватель имеет последовательное соединение с источником питания 13, резистором 14, ампер - А и вольтметром V. Вольтметр имеет еще и параллельное соединение с источником питания 12 и резистором 13.

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:

$$W=I \cdot U, \quad (2.1)$$

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

Краны K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> и K<sub>4</sub> переводятся в закрытое положение и насосом 7 выполняют вакуумации системы для полного стечения образца исследования (давлением  $\approx 10^{-3}$  мм. рт. столба). Затем при закрытом положении крана K<sub>1</sub> открывают кран K<sub>3</sub>, что способствует полному перетеканию образца в полиэтиленовый мешочек и внутренний сосуд измерительной трубки. затем краны K<sub>3</sub> и K<sub>1</sub> вновь перекрывают и в электрическую цепь подают ток. С учетом используемой термостатирующей среды 10 поэтапно во времени нагревают нагревательный элемент 11: воздух каждые  $\sim 10$  мин до температуры 50 °С, воду - каждые  $\sim 5$  мин - до 100 °С и масло каждые  $\sim 5$  мин до 200 °С. Параллельно грузопоршневым манометром повышают и давление на образец каждые 4,9 МПа.

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

$$R = R_0(I + \alpha(T - T_0)), \quad (2.2)$$

где: R, R<sub>0</sub>- 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 можно вычислить следующей формулой [86]:

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{W \ln \frac{T_1}{T_2}}{2\pi L (T_1 - T_2)}, \quad (2.3)$$

где:  $\lambda_{\text{ср}}$  – 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 [75, 91 - 99];

$$\lambda = \frac{R_1 c m \delta}{2}. \quad (2.4)$$

## 2.2. Расчет погрешности коэффициента теплопроводности (метод нагретой нити)

Воспользовавшись рекомендациями [21 - 26, 28 - 35, 38 - 45] мы произвели расчет погрешности экспериментального измерения теплопроводности. Определяется среднеарифметическое значение неоднократного измерения ( $X$ ) [21 - 26, 28 - 35]:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1} X_i \quad (2.5)$$

где  $n$  – число экспериментов;  $X_i$  – результат  $i$  – го измерения.

Далее выполняется расчет выборочного квадратичного несоответствия в абсолютной  $S$  и относительной  $S_{\text{отн}}$  форме итоги одного эксперимента:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n \sum (X - \bar{X})^2}}, \quad (2.6)$$

$$S_{\text{отн}} = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100\%, \quad (2.7)$$

Результаты среднеквадратичных отклонений (абсолютная  $S_{\bar{X}}$  и относительная  $S_{\bar{X}_{\text{отн}}}$ ) были получены на основе:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (2.8)$$

$$S_{x_{\text{max}}} = \frac{S_{\bar{y}}}{\bar{y}} \cdot 100\% \quad (2.9)$$

случайная погрешность  $\Delta X_{\text{сл}}$  определена:

$$\Delta X_{\text{сл}} = S_{\bar{x}} \cdot t_{n-1, 1-\alpha/2}, \quad (2.10)$$

где  $\varepsilon = 1 - \alpha$ ,  $\alpha$  – доверительная вероятность, которую принимаем равной 0,95.

Не исключенная систематическая погрешность по итогам измерения  $\Theta$ , вычисляется:

$$\Theta = K \sqrt{\sum_{j=1}^m O_j^2}, \quad (2.11)$$

где  $\theta_j$  – граница составляющей  $j$  – вой систематической погрешности, которая не исключена;  $K$  – коэффициент принимаемый 1,1, который определяется с учетом  $\alpha = 0,95$ .

Доверительная граница погрешности измерений рассчитывается по:

$$\Delta = t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma} \quad (2.12)$$

Отношением случайной к не исключенной погрешности можно вычислить коэффициент  $t_{\Sigma}$ :

$$t_{\Sigma} = \frac{\Theta + S_{\bar{x}} \cdot t_{\bar{x}}}{S_V + S_{\bar{x}}}, \quad (2.13)$$

где  $t_{\bar{x}}$  – коэффициент Стьюдента, зависящий от  $\alpha$  (доверительная вероятность равная 0,95) и от числа выполненных экспериментов.

Суммарное среднеквадратичное не соответствие случайных и систематических погрешностей рассчитывается так:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_X^2 + S_V^2}, \quad (2.14)$$

где  $S_V^2 = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^m \Theta_j^2$  - суммарное среднеквадратичное не соответствие систематических погрешностей.

Величины косвенных замеров, которые считаются рассчитываются в соответствии:

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial y_1}\right)^2 (\Delta y_1)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y_2}\right)^2 (\Delta y_2)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial y_n}\right)^2 (\Delta y_n)^2}, \quad (2.15)$$

где  $\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_n$  – доверительная предел погрешности результатов экспериментов  $y_1, y_2, \dots, y_n$ .

Доверительная грань относительной погрешности экспериментов рассчитывается так:

$$\sigma = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\% . \quad (2.16)$$

Методическая погрешность, которая допускается при измерении температуры, определяется согласно [43 - 54]. Также была учтена и инструментальная погрешность потенциометра при его использовании в процессе измерения ЭДС термопары следующим образом:

Составляют методическую погрешность  $\Delta_t(x)$  двух слагаемых [50]:

$$\Delta_t(x) = t_s(x) - t_o(x) = \Delta_L(x) + \Delta_B(x), \quad (2.17)$$

где  $t_o(x), t_s(x)$  - температура тела на расстоянии  $x$  как действительная, так и измеренная соответственно. Слагаемое  $\Delta_L(x)$  в данном случае зависит от степени погруженности термопары  $L$  и разности температур среды и поверхности тела  $t_{\Pi}$  и  $t_B$ , определяемое градиентом температур тела. В нашем случае принимаем  $\Delta_B(x) = 0$ .

Для приблизительной оценки первого слагаемого применяется [50]:

$$\Delta_L(x) = -\frac{t_{\Pi} - t_B}{1 + F} \cdot \frac{\theta ch\theta(1 - \beta) + \xi Sh\theta(1 - \rho)}{\theta ch\theta + \xi_3 Sh\theta} \quad (2.18)$$

$$\theta = \beta L; \beta = \sqrt{\frac{K}{\alpha_0^5}}; K \approx \left( \frac{1}{\alpha_0} + \frac{h_s}{\lambda_s} + \frac{R}{4\lambda_{3\Pi}} \right)^{-1}; \xi_3 = \frac{K_3 L}{\lambda_3}; \rho = \frac{\theta}{L}; \alpha = \frac{\lambda_0}{R}$$

где

$$F = \frac{L_B}{L} \frac{\theta \operatorname{Sh} \theta + \xi_3 \operatorname{ch} \theta}{\theta \operatorname{ch} \theta + \xi \operatorname{Sh} \theta} \frac{\theta}{\omega \operatorname{th} \omega}; \omega = \sqrt{\frac{K_B P}{\varepsilon^S} L_B}$$

Здесь:  $\lambda_0, \lambda_3, \lambda_{\text{сп}}, \lambda_3$  – теплопроводность материалов калориметра, термопары в продольном и поперечном направлениях и зазора (воздуха);  $L_B$  – участок термопары, находящийся в лучисто - конвективном теплообмене с окружающей средой;  $h_S$  - эффективная толщина зазора между цилиндрической стенкой канала и спаем термопары;  $R, \rho, S$  - являются радиусом, периметром и площадью сая термопары при поперечном ее сечении, которые численно равны [50]:

$$h = 0,25 \text{ м}; R = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}; L_B = 0,23 \text{ м}; h_3 = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \lambda_3 = 90,4 \text{ Вт / (м·К)};$$

$$\lambda_3 = 0,049 \text{ Вт / (м·К)}; \lambda_{\text{сп}} = \lambda_3 = 23 \text{ Вт / (м·К)}; P = 1,88 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$S = 0,28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; \varepsilon = 0,1 \text{ м}.$$

Подставив предложенные значения в (2.18) и (2.19), получим:

$$\Delta_L(x) = -1,49 \text{ }^\circ\text{C}; \varepsilon = 5,76; \beta = 51,5 \text{ 1 / м}; K = 9,1 \text{ Вт / (м·К)}; \xi = 0,043;$$

$$\rho = 0,91; \alpha = 1217 \cdot 10^3 \text{ Вт / (м·К)}; F = 1; \omega = 10,9.$$

При  $T = 220^\circ\text{C}$  относительная погрешность, допущенная при измерении температуры соответствует:

$$\delta = \frac{\Delta_t(x)}{t} \cdot 100\% = 1,3\%$$

Инструментальная погрешность при использовании потенциометра соответствует:

$$\Delta U = \pm (50 U + 0,04) \cdot 10^{-6} \text{ В}$$

где  $U$  – показания вольтметра.

Для вольтметра, использованного в наших экспериментах  $\sigma_{U_{\text{ср}}} = \pm 0,01 \%$ .

Предел погрешности автокомпенсатора при измерении напряжения составляет  $\sigma_{AK} = 1 \%$ , в связи с чем допускаемый суммарный предел погрешности работы потенциометра ( $\sigma_U$ ) определяется так:

$$\sigma_U = \sigma_{\text{уср}} + \sigma_{AK} = 0,01 \% + 1,0 \% = 1,01 \%$$

Полная оценка погрешности измерений теплопроводности может производиться в соответствии с [55, 77 - 80] (таблица 2.1).

**Таблица 2.1.** - Исходные данные для проведения оценки доверительной границы погрешности экспериментального исследования теплопроводности

№	Наименование	Величина
1.	Диаметр измерительной водяной сосуд $d$ , м	$2,5 \cdot 10^{-2}$
2.	Погрешность определения радиуса ядра (микрометром) $\Delta d$ , м	$5 \cdot 10^{-5}$
3.	Внутренний диаметр измерительный сосуд $d_2$ , м	$2,2 \cdot 10^{-2}$
4.	Погрешность определения диаметра измерительного сосуда $\Delta d_2$ , м (нутромер индикаторный НИ – 50А)	$5 \cdot 10^{-5}$
5.	Длина измерительного датчика $l$ , м	$15 \cdot 10^{-2}$
6.	Погрешность определения длины измерительного сосуда $\Delta l$ , м	$1 \cdot 10^{-3}$
7.	Удельная теплоемкость термостатирующий сосуд (вода) $C_{я}^1$ , Дж / (кг·К)	4180
8.	Удельная теплоемкость термодатчика $C_{я}^1$ , Дж / (кг·К)	443,6
9.	Погрешность определения удельной теплоемкости измерительного термодатчика и термостатирующий жидкость $\Delta C_{я}^1$ , Дж / (кг·К)	4,5
10.	Общая теплоемкость измерительного термодатчика $C_{я}$ , Дж / К	172,0
11.	Погрешность определения общей теплоемкости (измерительного термодатчика) $\Delta C_{я}$ , Дж/К	3,2
12.	Общая теплоемкость исследуемого слоя (контрольного образца) $C_{сл}$ , Дж/К	4,2

Продолжение таблица 2.1.		
13.	Погрешность определения теплоемкости исследуемого слоя $\Delta C_{\text{сл}}, \text{Дж} / \text{К}$	0,03
14.	Время нагрева термодатчику $\tau, \text{с}$	60
15.	Погрешность определения времени нагрева термодатчика $\Delta \tau, \text{с}$	0,21
16.	Масса термодатчика $G, \text{кг}$	0,059
17.	Погрешность измерения массы термодатчика $\Delta G_{\text{я}}, \text{кг}$	$1 \cdot 10^{-4}$
18.	Масса слоя $G, \text{кг}$	0,028
19.	Погрешность определения массы слоя $\Delta G, \text{кг}$	$1 \cdot 10^{-4}$
20.	Плотность материала измерительного термодатчика $\gamma, \text{кг}/\text{м}^3$	8900
21.	Погрешность определения плотности материала измерительного цилиндра $\Delta \gamma, \text{кг}/\text{м}^3$	23
22.	Давление опыта $P, \text{МПа}$ (грузопоршневой манометр типа МП - 2500)	49,05
23.	Погрешность измерения давления $\Delta P, \text{МПа}$	0,005
24.	Значение теплопроводности толуола $\lambda, \text{Вт} / (\text{м}\cdot\text{К})$	0,132
25.	Доверительная граница погрешности измерений теплопроводности методом нагретой нити в относительной форме при $\alpha = 0,95, \%$	1,2
26.	Методическая погрешность, %	0,8
27.	Инструментальная погрешность, %	1,8
28.	Общая относительная погрешность измерений, %	3,8

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

На сегодняшний день не существует каких - либо универсальных уравнений состояния, в связи с чем, решение конкретных задач требует проведения точных экспериментов.

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 [37, 39, 43, 44 - 47, 49, 55, 78 - 81]. Мы также обратились к данному методу в процессе экспериментального исследования наших образцов, но с учетом их специфики (рис 2.2).

Выбор данных методик с нашей стороны основан на их простоте и точности. Согласно задаче, возникла необходимость в установке с возможностью ее работы в большой области изменения параметров состояния. С учетом изложенного, мы использовали метод гидростатического взвешивания (основоположники метода являются профессор И.Ф. Голубева и его ученики) [44, 66].

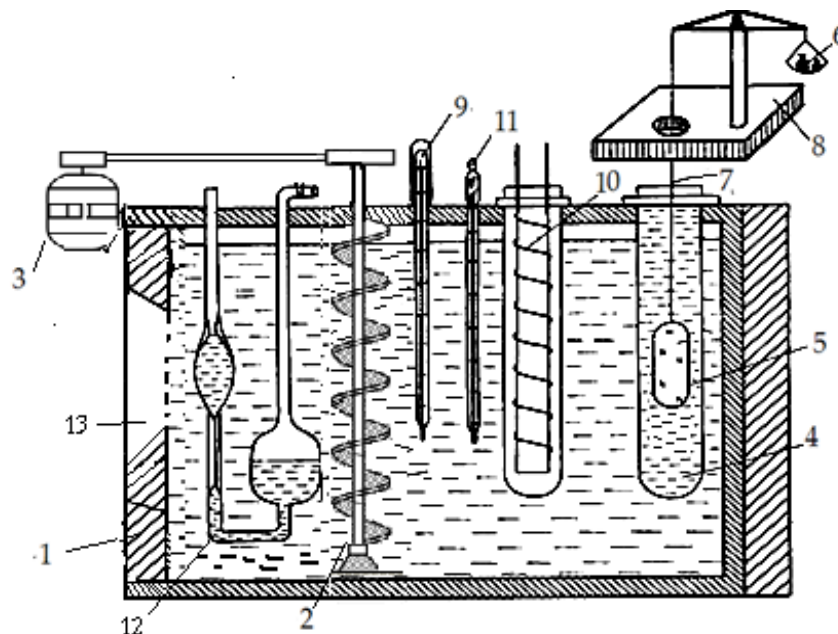
Основными элементами установки являются поплавки (5) из кварца и весы аналитические (6) (рис 2.2). Для проведения опыта изучаемую жидкость заблаговременно следует залить в камеру (4), куда погружают поплавки, который на манганиновой проволоке (7) подвешен над ней. Затем камера помещается в термостат (1) с мешалкой (2). Благодаря последней устанавливается равномерность температуры нагреваемой среды (вода). С помощью ртутного термометра (9) производится замер и корректировка температуры опыта. Перед проведением опытов установка тарировалась путем контрольно - измерительных мероприятий эталонами (бензол и н - гексан), результаты которых с удовлетворительным согласием (в пределах  $\pm 0,072\%$ ) совпали с данными [7, 15–17, 20, 24, 81, 87 - 93].

Расчетная формула имеет вид [66]:

$$\rho = \frac{G_1 - (G_1 - G_2)}{V_{II} - V_H} \quad \text{кг / м}^3, \quad (2.19)$$

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;  $V_{\text{п}}$  – объем кварцевого поплавка;  $V_{\text{н}}$  – объем манганиновой проволоки.



**Рисунок 2.2.** - 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 – уравновешивающие разновесы, 7 - манганиновая проволока, 8 – аналитические весы, 9 - ртутный термометр, 10 - нагреватель, 11 - контактный термометр, 12 - вискозиметр Освальда, 13 – окошко



**Рисунок 2.3.** - Поплавковая камера опытной установки (рис 2. 2) с исследуемой жидкостью



## 2.4. Определение погрешности экспериментального исследования плотности жидких веществ

Согласно указанным рекомендациям в [21 - 26, 28 - 35, 70, 72], нами был выполнен ряд вычислений относительно определения погрешности измерения плотности на представленной выше установке:

$$\begin{aligned} \Delta\rho = & \sqrt{\left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_4}\right)^2 (\Delta\Delta_4)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_5}\right)^2 (\Delta\Delta_5)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_6}\right)^2 (\Delta\Delta_6)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial V_H}\right)^2 (\Delta V_H)^2 +} \\ & \sqrt{\left(\frac{\partial\rho}{\partial m_1}\right)^2 (\Delta m_1)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial m_2}\right)^2 (\Delta m_2)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial V_{II}}\right)^2 (\Delta V_{II})^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_1}\right)^2 (\Delta\Delta_1)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_2}\right)^2 (\Delta\Delta_2)^2 +} \\ & \sqrt{\left(\frac{\partial\rho}{\partial V_C}\right)^2 (\Delta V_C)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_3}\right)^2 (\Delta\Delta_3)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta T}\right)^2 (\Delta T)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta P}\right)^2 (\Delta P)^2} \end{aligned} \quad (2.20)$$

где

$$\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_4} = -\frac{(m - m_2 + m_1)V_C\Delta_3}{(V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6)}$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_5} = -\frac{(m - m_2 - m_1)V_H\Delta_6}{(V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6)^2}$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_6} = -\frac{(m - m_2 + m_1)V_H\Delta_5}{(V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6)^2}$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial V_H} = -\frac{(m - m_2 + m_1)\Delta_5\Delta_6}{(V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6)^2}$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial m_1} = \frac{1}{V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6}$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial m_2} = \frac{1}{V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6}$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial V_{II}} = -\frac{(m - m_2 + m_1)\Delta_1\Delta_2}{(V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6)^2}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_1} = - \frac{(m - m_2 + m_1) \Delta_2 V_{II}}{(V_{II} \Delta_1 \Delta_2 + V_C \Delta_3 \Delta_4 + V_H \Delta_5 \Delta_6)^2}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_2} = - \frac{(m - m_2 + m_1) \Delta_1 V_{II}}{(V_{II} \Delta_1 \Delta_2 + V_C \Delta_3 \Delta_4 + V_H \Delta_5 \Delta_6)^2}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial V_C} = - \frac{(m - m_2 + m_1) \Delta_3 \Delta_4}{(V_{II} \Delta_1 \Delta_2 + V_C \Delta_3 \Delta_4 + V_H \Delta_5 \Delta_6)^2}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_3} = - \frac{(m - m_2 + m_1) V_C \Delta_4}{(V_{II} \Delta_1 \Delta_2 + V_C \Delta_3 \Delta_4 + V_H \Delta_5 \Delta_6)^2}$$

С помощью уравнения (2. 22) с учетом соотношений (2.14 - 2.18) при  $\alpha = 0,95$  была рассчитана относительная погрешность, допущенная при измерении плотности образцов [12, 16 - 46, 55, 71 - 74].

Согласно выполненным расчетам погрешность измерения плотности образцов при условии  $\alpha = 0,95$  составила: относительная составляет 0,03 %, методическая 0,01 %, инструментальная 0,06 %, общая относительная 0,1 % [12, 16 - 46, 55, 71 - 74].

## **2.5. Расчет погрешности экспериментального исследования плотности изучаемых образцов при атмосферном давлении**

Расчетное уравнение с учетом выражения (2.21) для численного определения погрешности измерения плотности выглядит следующим образом [28 - 35, 65 - 73]:

$$\Delta \rho = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial G_1}\right)^2 (\Delta G_1)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial G_2}\right)^2 (\Delta G_2)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial V_n}\right)^2 (\Delta V_n)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial V_H}\right)^2 (\Delta V_H)^2} \quad (2.21)$$

где

$$\frac{\partial \rho}{\partial G_1} = \frac{G_2}{V_n - V_H}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial G_2} = -\frac{G_2}{V_n - V_H}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial V_n} = -\frac{G_1 - (G_1 - G_2)}{V_n}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial V_H} = \frac{G_1 - (G_1 - G_2)}{V_n}$$

## 2.6. Метод измерения динамической вязкости жидкостей и растворов

Динамическую вязкость образцов мы исследовали при помощи капиллярного вискозиметра (рис 2.4).

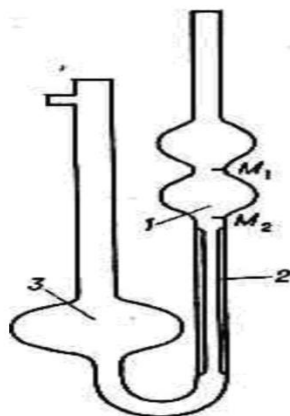
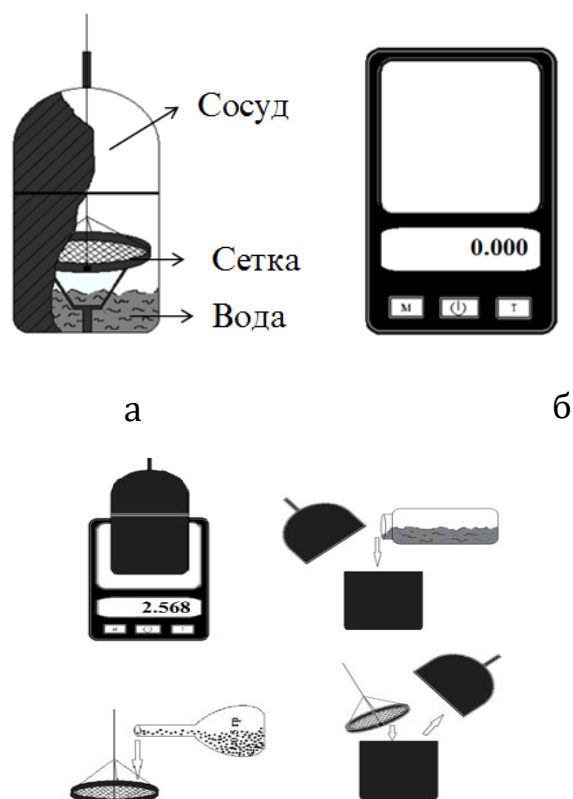


Рисунок 2.4. - Общий вид стеклянного вискозиметра.

## 2.7. Экспериментальная установка для определения коэффициента адсорбции и массоотдачи зернистых материалов (Малый патент РТ № TJ 1279, 2021, -5с, № TJ 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 [60, 61, 137, 138, 142, 143]



**Рисунок 2.5.** - Экспериментальная установка для определения коэффициента адсорбции и массопередачи: а – установка; б – электронные весы

С помощью экспериментальной установки, приведенной на рисунке 2.4 к.т.н. и.о. доцентов кафедры общей физики ТГПУ имени С. Айни Мирзомамадов А.Г. [63] и Абдуназаров С. С. [62] ИЭТ г. Бохтар, а также мною выполнены диссертационные исследования, которые в результате чего успешно защитили (Мирзомамадов А. Г. [63]. и Абдуназаров С. С. [62]) а данная работа мною представлена перед Вами [60] и [61]. В качестве образцов мною был использован термический нанопорошок (герметик).

### Порядок проведения эксперимента

1. В сосуд (А) измерительный наливаем воду 4 – 5 г.
2. Устанавливаем сухой порошок на сетку (В) и в течение 25 – 30 мин. выполняем его насыщение.
3. По окончании 30 минут вынимаем из сосуда сетку с увлажненным порошком и взвешиваем на электронных весах (Е). Аналогичным путем взвешивание проводим через каждые 30 мин. до тех пор, пока порошок полностью не будет смоченным (таблица №2).

### 2.8. Расчетная формула для определения коэффициентов адсорбции и массопереноса сыпучих материалов

Коэффициенты адсорбции и массопереноса рассчитываются по (малые патенты РТ за номерами №ТJ 824, 2016, [60]; №ТJ 825, 2016) [61].

$$\Gamma = \left[ \frac{m - m_0}{\mu \cdot m_0} \right] \text{ (МОЛЬ/КГ)}, \quad (2.22)$$

$$\beta = \left[ \frac{m - m_0}{S \cdot t} \right] \text{ (КГ/М}^2\text{С)}, \quad (2.23)$$

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).

Контрольными образцами служили:

- для коэффициента адсорбции и массопереноса – пористый гранулированный оксид алюминия  $Al_2O_3$ , цилиндрической формы диаметром (2 – 3) мм и общей удельной поверхностью 80 г/см<sup>2</sup>;
- для коэффициента набухания – полимерные материалы.

### **Выводы по 2-ой главе**

1. Выполнена сборка модернизированного варианта установки для экспериментального изучения плотности, теплопроводности растворов в большом пределе изменения параметров состояния методом нагретой нити, гидростатического взвешивания.
2. Представлена экспериментальная установка для исследования коэффициентов адсорбции, массопереноса и коэффициента набухания аморфных материалов.
3. Путем соответствующего анализа были предложены уравнения для расчета теплопроводной способности коллоидных наножидкостей, способные включать различные поправки во время проведения опыта.
4. Выполнена соответствующая оценка влияния различных поправок на значения теплопроводности, плотности и реологических свойств образцов исследования.

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

### **3.1. Применение гидразина для предотвращения кислородной коррозии**

Соединения из гидразина, благодаря своей восстановительной способности применяются для снижения коррозионной активности теплоносителя на стальные конструкции и детали котельных и ТЭЦ [64 - 72]. Обычно для того, чтобы получить защитную пленку и очистить проточную часть турбины, гидразиновую обработку проводят во время предпусковых и эксплуатационных химических очистках парогенератора. для создания защитной пленки и очистки проточной части турбин от. В большинстве случаев для этих целей применяется гидразингидрат и гидразин сульфат [64 - 72].

Гидразин сульфат  $N_2H_4 \cdot H_2SO_4$  - твердое вещество, плохо растворимое в холодной воде, плавится при  $245^\circ C$ ; при значительном нагреве разлагается с образованием аммиака, двуокиси серы, сероводорода и элементарной серы. Водный раствор едкого натра. способен его растворять, обладает кислыми свойствами, не горюч, токсичен, преобладает удобством пользования относительно гидразингидрата, может доставляться и храниться в деревянной таре [64 - 72].

### **3.2. Гидразинная обработка питательной воды пароконденсатного тракта в теплоэлектростанциях**

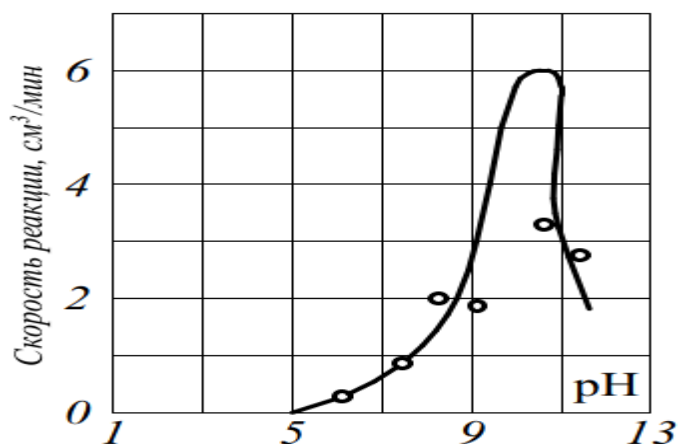
Гидразинная обработка наряду с термической деаэрацией питательной воды котлоагрегата способствует повышению антикоррозионных характеристик пароконденсатного тракта и снижению уровня окислов железа в ней. Проведение гидразинной обработки рекомендовано всем электростанциям с прямоточными котлами высокого давления [64 - 72], для сего применяют гидразингидрат высокой степени чистоты (ГОСТ 10729 - 67).

Обработку питательной воды котлоагрегатов барабанного типа выполняют как гидразингидратом, так и гидразин сульфатом.

Реакция гидразингидрата с кислородом имеет следующий вид [64 - 72]:



на скорость течения которой влияют превышение концентрации гидразина, исходная концентрация кислорода, температура и уровень pH. При 100°C достигается наилучший результат, а для полного устранения кислорода необходимо обеспечить 103 - 105°C, pH = 9,0 / 9,5 и избыток гидразина 0.02 мг/кг. В данном случае будет достаточно и 2 - 3с. При низких значениях pH среды (меньше 7,0) гидразин не уменьшает, а только усиливает коррозии [67 - 76], причиной чего является его способность к комплексообразованию, что является следствием образования перекиси водорода.



**Рисунок 3.1.** - Зависимость скорости реакции кислорода с гидразином от вылечены pH

Катализаторов также замедляют реакцию, однако на их активность воздействует уровень pH воды. Таким образом, при pH = 9/11 реакция протекает на максимально возможной скорости: (рисунок 3.1) [64 - 72].

### 3.3. Схемы ввода гидразина

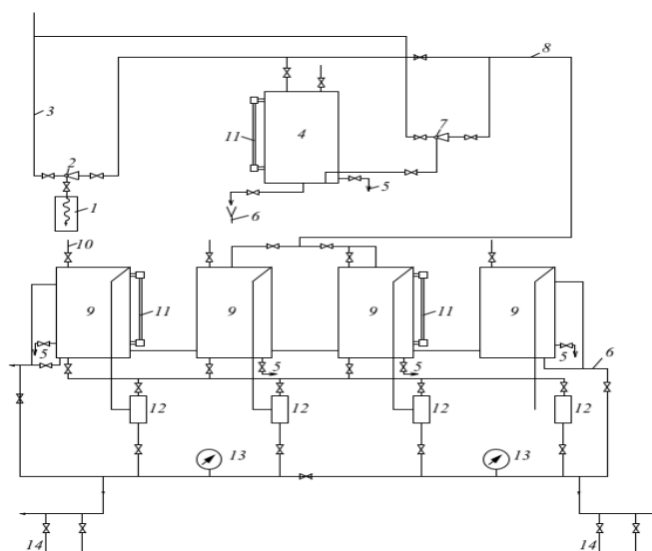
Дозирование гидразина следует выполнять после деаэрационной колонки и конденсатора турбины. На выбор точки ввода гидразина в



основном влияют условия эксплуатации станции, однако его применение в данных точках оправдан лишь в исключительных случаях [64].

Первой точкой для ввода гидразина можно использовать бак - аккумулятор деаэратора, но это приводит к сложностям при контроле работы деаэратора. Также ввод можно осуществить на всасывающем трубопроводе питательного насоса, однако это лишает защиты участок трубопровода от деаэратора до насоса. В качестве второй точки ввода гидразина, которая считается более приемлемой, можно использовать трубопровод после конденсатоочистки (до ПНД), а на обычных электростанциях - нагнетательный трубопровод конденсатных насосов. Введением гидразина в эту точку достигается коррозионная стойкость металла всего оборудования питательного тракта станции [64].

В обе точки гидразин вводится лишь во время пуска паровых генераторов, а переход из одной точки в другую проводится при разгерметизации вакуумной части системы, либо наоборот со второй на первую при устранении присоса воздуха. При малом расходе реагента (до 5 л 67% - ного раствора в сутки) гидразин к бакам - дозаторам доставляют в переносных бачках емкостью 10 л (см. рис. 3.2).



**Рисунок 3.2.** - Схема ввода гидразина совместно с аммиаком: 1 - бочка с концентрированным раствором гидразина и аммиака; 2 - эжектор первичного разбавления гидразина; 3 - линия обессоленной воды; 4 - емкость для

предварительного разбавления; 5 - пробоотборник; 6 - дренаж; 7 - эжектор окончательного разбавления; 8 - рабочий раствор гидразина и аммиака; 9 – бак - дозатор; 10 - воздушник; 11 - водомерное стекло; 12 – насос - дозатор с регулируемой подачей, 13 - манометр; 14 - подача реагентов на всасывающую линию питательных насосов или перед ПНД.

При большом расходе реагента раствор из специально установленного бака - растворителя самотеком или при помощи перекачивающего насоса подают в баки - дозаторы. В некоторых случаях, особенно когда содержание угольной кислоты в питательной воде и паре составляет 1 мг / кг и выше, производится одновременное дозирование гидразина и аммиака (рис. 3.2) для устранения и повешения рН питательной воды [64 - 72].

При дозировании гидразин сульфата реагент доставляют к установке в ведрах или бидонах с крышками и совком загружают в бак растворитель. Полезный объем расходных баков для хранения гидразина должен обеспечивать запас гидразина не менее чем на два месяца, или по крайней мере суточный запас растворов [64, 72].

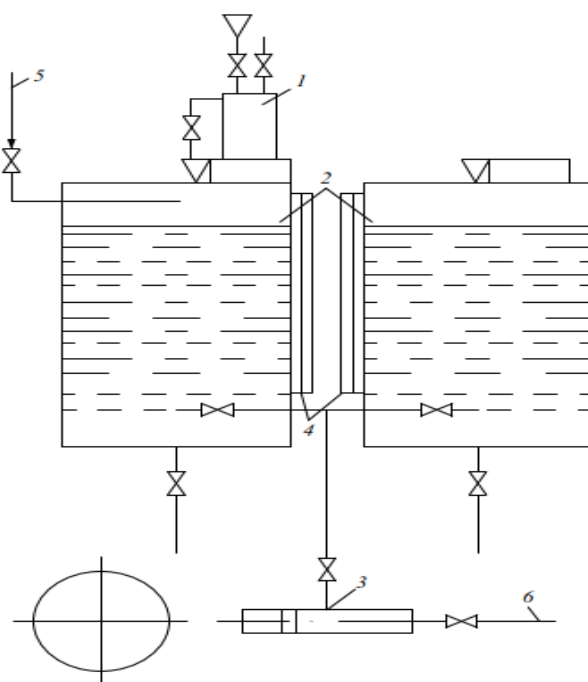


Рисунок 3.3. - Схема дозирования гидразина во всасывающий трубопровод питательного насоса: 1 - переносный бачок; 2 - бак - дозатор; 3 – насос - дозатор; 4 - водомерное стекло; 5 - подвод конденсата; 6 - отвод раствора и питательной воды.

Установки, в которых готовят реагенты, должны соответствовать схеме, изображенной на рисунке 3. 2. Согласно этой схеме в подобных устройствах необходимо, чтобы было предусмотрено [64 - 72]:

1. Разбавление гидразингидрата с 64%-ной (или более концентрированного) до 20% - ной осуществляется на момент его перекачке гидроэлеватором в бак - хранилище. Если его емкость составляет  $10 \text{ м}^3$ , согласно типовому проекту ГРЭС 600МВт, то его запасов должно хватить на 2 месяца;
2. В случае с централизованным приготовлении раствора, для насосов-дозаторов служат общие расходные баки; ремонт и осмотр баков выполняется за счет использования двух параллельно включенных в работу баков емкостью по  $3,0 \text{ м}^3$ . При этих емкостях и принятых производительностях насосов - дозаторов обеспечиваются примерно 20 - часовые запасы реагента.

Для дозированной подачи реагента применяют два насоса - дозатора НД-630/10 - рабочий и резервный, а к ним центробежным производительностью  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Паропроводы не теплоизолируются.

### **3.4. Автоматизация приготовления гидразина**

Автоматизированный вариант устройства по приготовлению раствора реагента описан в [Малькина Н.Н.]. Раствор готовится параллельно заполнению расходных баков. Система заполнения приводится в действие в случае, когда раствор достигает нижнюю отметку минимального уровня. Устройством контроля уровня снабжается один из баков. В случае его вывода в резерв система переводится на ручное управление. Нижний уровень реагента в баке устанавливается так, чтобы его остаток можно было бы использовать еще на протяжении не менее двух часов [64 - 72].

При понижении уровня ниже допустимого системой автоматически запускается в работу насос - дозатор для подачи гидразингидрата, запорная арматура на все насосы - дозаторы на линии подачи для разбавления

исходного раствора обессоленной водой. Смешение реагента с обессоленной водой выполняется в смесителе типа эжектора. Система настроена на определенное время заполнения, после прохождения которого система отключается время заполнения устанавливается из расчета того, чтобы бак был заполнен с резервным объемом реагента, хватающего на час пользования. Обессоленная вода (разбавитель), поступает через бак постоянного уровня. Установка запорной арматуры на участке обоих насосов - дозаторов предупреждает проникновение исходного реагента в расходные баки, если насосы не работоспособны (или выведены из эксплуатации), т.е. запорные органы на напорных линиях насосов находятся в открытом положении и перекрываются только на период вывода насосов в резерв. Также с этой же целью из - за преобладающего напора общая напорная линия насосов снабжается вентилем игольчатого типа (в работе [64]), с помощью которого давление насоса-дозатора можно изменить до  $0,98 \cdot 10^5$  Па.

Датчики уровней аварийной сигнализации при использовании автоматизированной системы заполнения, предпочтительным является их установление у пуска нижнего уровня и у уровня переполнения расходных баков. Они должны быть установлены с учетом их срабатывания по прошествии 1 – 2 минуты с момента отклонения от установленной нормы. На местном щите систем приготовления рабочих растворов реагентов обязательным требованием является установление двух реле времени, двух сигнализаторов уровня расходных баков, ключей и соответствующих кнопок управления [64 - 72].

Для выполнения соответствующего анализа воды и конденсата пара на наличие в их составе кислорода, гидразина, аммиака, окислов железа и меди, устанавливают специальные пробоотборные устройства с холодильниками и трубопроводами из нержавеющей стали на питательном тракте соответственно у питательного насоса и перед экономайзером. Бак - дозатор гидразина также оснащен пробоотборным устройством [64 - 72].

На момент гидразинной обработки воды котлоагрегаты должны иметь минимальную форсировку.

### 3.5. Технология гидразинной обработки воды

Разбавление и переливание гидразингидрата необходимо выполнять в помещении с активной вентиляцией небольшой вместимости (1 или 2 бочки разбавленного гидразина с обязательным подводом воды для его разбавления). Готовят 30% - й раствор гидразина [64 - 72].

Воду в бак - дозатор подают только после того, как сверху его закроют жестяным колпаком. Данное мероприятие выполняется для того, чтобы не допустить его разлив. Таким же образом работают и с баком растворителя. Перед дозированием гидразина предварительно проводится анализ питательной воды на предмет наличия в ней кислорода, окислов железа, меди и аммиака для установления его начальной дозировки.

Первый этап дозирования заключается в быстром насыщении системы гидразином, путем подачи больших доз реагента, а второй этап заключается в нормальном дозировании для поддержания необходимого уровня реагента [64 - 72]. Дозировку гидразингидрата  $q_1$ , определяют по формуле

$$Q_1 = 3 C_1 + 0,3 C_2 + 0.15 C_3 \quad (3.2)$$

где  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  - концентрация кислорода до ввода реагента, оксидов и меди соответственно, мг/кг.

Одновременно с загрузкой расчетного количества раствора гидразингидрата в бак - дозатор подают холодный конденсат для разбавления раствора реагента. Примерно через 1ч после окончания загрузки реагента соответствующим анализом определяют концентрацию гидразина в рабочем растворе, после чего насос - дозатор включают на производительность  $d$ , л/ч, вычисляемую [64 - 72].

$$d = \frac{q_1 D}{C_4}, \quad (3.3)$$

где  $C_4$  - содержание гидразина в рабочем растворе, г/кг;  $D$  - расход питательной воды, м<sup>3</sup>/ч.

Объем (л) гидразингидрата, добавленного в бак - дозатор определяют

$$V = \frac{q_1 D n}{10 \rho \gamma}, \quad (3.4)$$

где  $n$  – нормативное время работы бака - дозатора между загрузками в него гидразингидрата, ч;  $\rho$  - содержание гидразина в реагенте, %;  $\gamma$  - плотность раствора гидразина, г/см<sup>3</sup>.

Дозировку гидразин сульфата рассчитывают как [64 - 72].

$$q_1 = 12 C_1 + 1,2 C_2 + 0.6 C_3 \quad (3.5)$$

где  $C_1, C_2, C_3$  - то же, что и в формуле (3.2). Необходимое количество гидразин сульфата (кг) из расчета на одну загрузку в бак - дозатор, определяют

$$\varphi = \frac{q_1 D n}{1000}, \quad (3.6)$$

где  $q_1$  - доза гидразин сульфата, мг/кг;  $D$  - расход питательной воды, м<sup>3</sup>/ч;  $n$  – нормативное время работы бака - дозатора между загрузками гидразингидрата в него, ч.

Производительность насоса - дозатора определяют по формуле (3. 3). Емкость бака - дозатора  $V_6$ , л, определяется, исходя из значений  $\varphi$ , и  $C_4$ , по формуле

$$V_6 = \frac{q_1}{C_4} \text{ м}^3 \quad (3.7)$$

Необходимое количество едкого натра, (кг), используемого для нейтрализации гидразин сульфата, определяется

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 80}{130} - \frac{\text{Щ}_в * 40}{1000} V_6 \quad (3.8)$$

или

$$\varphi_2 = 0,60 \varphi_1 - 0,4 \text{Щ}_3 V_6 \quad (3.9)$$

где 80 - удвоенный эквивалент едкого натра; 130 - молекулярная масса гидразин сульфата;  $\text{Щ}_3$  - щелочность по фенолфталеину воды, которая затрачивается на заполнение бака - дозатора, мкг – экв / кг.

Готовый раствор гидразин сульфата, пригодный для использования, должен иметь щелочную реакцию, т.е. если розовый окрас отсутствует по фенолфталеину, то посредством воздушников вводят необходимое (по итогам титрования) дополнительное количество щелочи, после чего проводят повторное тестирование на приобретение розового окраса по фенолфталеину [64 - 72].

После включения дозатора, после каждых четырех часов проводится обязательный контроль концентрации кислорода, гидразина и оксидов железа и меди. Если в котловой воде выявлен повышенный уровень оксидов железа и меди, проводят интенсивную продувку котла, а если установленную норму превышает уровень содержания гидразина, то уменьшают его дозирование. Для гидразина  $q_1$  корректируются по результатам анализов на содержание кислорода и гидразина. Постоянная дозировка гидразина относительно остаточного кислорода в воде после деаэрации необходимо, чтобы превышала в три раза. Нормой считается избыток гидразина 0,03 - 0,10 мг/кг [64 - 72].

Химический контроль питательной воды следует проводить через каждые 3 - 4 часа, а котловой воды, насыщенного, перегретого пара и конденсата турбин раз в сутки [64 - 72].

Содержание кислорода также можно определить раствором метиленовым голубым, гидразином - калориметрическим способом с применением паради метиламин бензальдегида, окислов железа – сульфосалицилатным методом, окислов меди - калориметрическим способом с применением диэтилдитно - карбамата свинца и с экстрагированием

полученного медного комплекса хлороформом, аммиака - реактивом Неслера.

### **3. 6. Наладка гидразинной обработки**

При без деаэрационной схеме питания парогенераторов гидразин вводят непосредственно в обессоленную воду, поступающую в конденсат турбины. Дозировку гидразина устанавливают 0,1 мг/кг независимо от содержания кислорода, окислов железа и меди в воде. Ввод гидразина осуществляют до поступления обессоленной воды в конденсат турбины. Анализ конденсата на содержание железа и меди проводят не реже одного раза в час до тех пор, пока концентрация этих компонентов не перестанет превышать установленные нормы ПТЭ для питательной воды. При превышении указанных норм содержания окислов железа и меди в конденсате во время наладки гидразинной обработки на барабанных парогенераторах производят их усиленную продувку. На электростанциях с прямоточными парогенераторами весь конденсат турбин пропускают через фильтры конденсатоочистки [64 - 72].

При отсутствии конденсатоочистки гидразинную обработку подпиточной воды следует проводить только после тщательной промывки во время останова турбины всех трубопроводов подпиточной воды и конденсатопроводов 0,1 % - ным раствором гидразингидрата. При вводе гидразина непосредственно за конденсатоочисткой энергоблока необходимо установить оптимальную дозировку гидразина, при которой содержание в воде окислов железа и меди снижается до норм ПТЭ, а также обеспечить постоянное низкое содержание кислорода в конденсате. При высокой концентрации кислорода, связанной с неплотностью воздушной части системы, дозирование гидразина необходимо выполнять при постоянном химическом контроле [64 - 72].

При температурах до 50°C кислород и гидразин слабо реагируют друг с другом; при нормальной температуре она практически совсем не



происходит. Однако и при нормальной температуре гидразин восстанавливает окислы железа и меди, способные связывать растворенный в воде кислород. Таким образом, с помощью гидразина можно защищать от коррозии конденсаторы турбины, подогреватели низкого давления, конденсатный тракт, линии регенеративных отборов пара и т.д. Дозирование гидразина можно осуществлять непосредственно в линию подвода пара в конденсатор. При этом происходит хорошее распределение раствора гидразина по объему конденсатора. Возможно дозирование гидразина в воздушные камеры конденсаторов турбин, во всас конденсатных насосов или в отборный пар, поступающий на подогреватели низкого и высокого давления. Особое значение имеет способ ввода гидразина в отборный пар для атомных электростанций с реакторами кипящего типа, где содержание кислорода в паре может быть высоким вследствие радиолитического распада воды. Важное значение имеет дозирование гидразина в низкотемпературный тракт прямоточных парогенераторов сверхкритического давления, так как торможение коррозии латуни снижает содержание меди в питательной воде и способствует предотвращению образования медистых отложений на лопаточном аппарате турбин [64 - 72].

Необходимые размеры дозировки гидразина определяют, исходя из возможного содержания кислорода (с учетом «проскоков») в данном потоке в отдельные периоды эксплуатации с двух - трехкратным избытком. Ввод гидразина в низкотемпературный тракт электростанции резко снижает содержание меди и железа в питательной воде. Результаты гидразинной обработки конденсата турбины ВП - 100 приведены в работе Манькина Н.Н.

### **Выводы по 3-й главе**

В третьей главе приводятся способы очистки гидразином. Представлены схемы и способы гидразинной обработки питательной воды перед экономайзером и на барабанных парогенераторах.

Содержание кислорода определяют визуально при помощи метиленового голубого, гидразина - калориметрическим способом с применением паради метиламин бензальдегида, окислов железа – сульфосалицилатным методом, окислов меди - калориметрическим способом с применением диэтил - дитнокарбамата свинца и с экстрагированием полученного медного комплекса хлороформом, аммиака - реактивом Неслера.

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

### **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. Учитывая сказанное, экспериментальное исследование тепловых и поверхностных свойств данной категории технических растворов в различных эксплуатационных условиях, а также с добавкой до 0,5% нанопорошка гидразина является одним из перспективных направлений. Изучаемые нами образцы были изготовлены из химически чистых этиленгликоля и нанопорошка гидразина [106, 109, 110, 113, 114, 115, 118, 122, 125].

Для приготовления растворов требовалось выполнить несколько важных технических решений, а именно качественная герметизация используемых емкостей в силу повышенной летучести гидразина и этиленгликоля (таблицы 4.1 и 4.2). От скорости процесса набухания, который предшествует растворению одного вещества в другом, зависит и длительность процесса растворения. Способ приготовления растворов на основе этиленгликоля и нанопорошка гидразина, а также их использование подробно изложены выше (глава 3).

Таблица 4.1. - Основные свойства нанопорошка гидразина

Характеристики	Значения
Внешний вид	Бесцветный
Показатель преломления света, $n_d^{20}$	1,493
Плотность при 20 <sup>0</sup> С, г/см <sup>3</sup>	1,057
Теплопроводность, Вт/м·К	0,126
Удельная теплоёмкость, кДж/кг·К	1,258
Температурный коэффициент линейного расширения, °С <sup>-1</sup>	6x10 <sup>-5</sup>
Диэлектрическая проницаемость	2,49 – 2,60

Таблица 4.2. - Физико – химические свойства этиленгликоля

Растворитель	Химическая формула	Молекулярная масса 10 <sup>-3</sup> Кг / моль	Температура плавления Т <sub>пл</sub> , К,	Температура кипения Т <sub>кип</sub> , К	Критическая температура Т <sub>кр</sub> , К	Критическое давление Р <sub>кр</sub> , 10 <sup>5</sup> Па	Диэлектрическая проницаемость	Температура самовосплавления, К
Этиленгликоль (99,97 %) х.ч.	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	62,0	385 - 397	470,3	553, 0	48,6	2,275	653

Таблица 4.3. - Коэффициенты теплопроводности, динамической вязкости, плотности и кинематической вязкости растворов на основе этиленгликоля и воды при нормальных условиях (данные опыта) (Т = 293 К и Р = 0, 101 МПа)

Растворы	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
$\lambda \cdot 10^3, \text{Вт/м} \cdot \text{К}$	251	273	293	318	348	378	418	450
$\rho, \text{кг/м}^3$	1113	1100	1088	1079	1067	1056	1044	1033

Продолжение таблица 4.3.								
$\eta, 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$	19,9	18,01	16,12	14,23	12,34	10,45	8,56	6,7
$\nu, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	17,88	16,34	14,80	13,19	11,57	9,89	8,19	6,49

Примечание: № 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 %  $\text{H}_2\text{O}$ ). [125]

Результаты исследования коэффициентов теплопроводности и динамической вязкости, а также плотности образцов при различных температурах и атмосферном давлении представлены в таблице 4.3, графически изображены на рисунках 4. 1 и 4. 2 соответственно [16, 18, 24, 39, 46, 48 - 50, 81, 84, 93, 94 – 102, 111, 118, 119, 124, 125, 127, 130, 154 - 158].

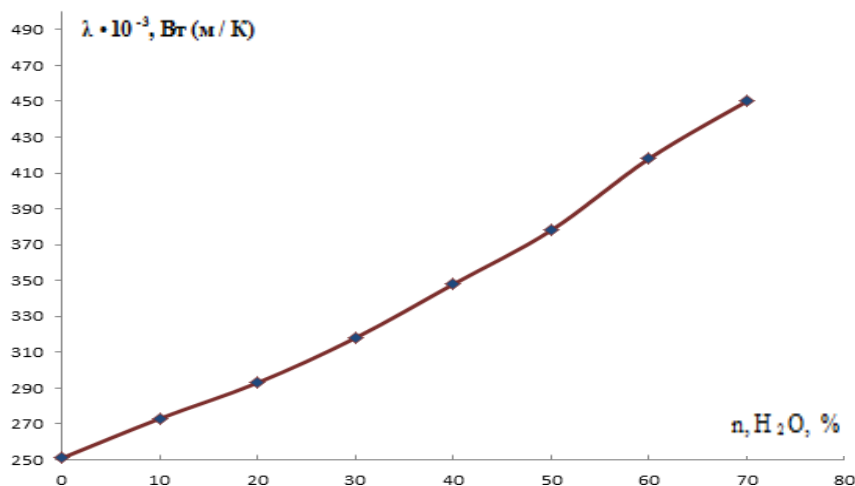
Теплопроводность водного раствора этиленгликоля экспериментально измерена на опытном устройстве, основанном на методе нагретой нити (Патент Республики Таджикистан № ТЈ 923, Душанбе, 2017.–5с), а численно была определена с помощью модели Максвелла в пределах изменения температуры (280 - 363) К и давления (0,101 - 14,42) МПа [91 – 102, 109, 110, 116, 120, 125, 127, 131].

Для выявления влияния концентрации воды на изменение теплофизических и реологических свойств двухкомпонентных растворов системы (этиленгликоль и воды) на координате (X, Y) построены следующие функциональные зависимости:

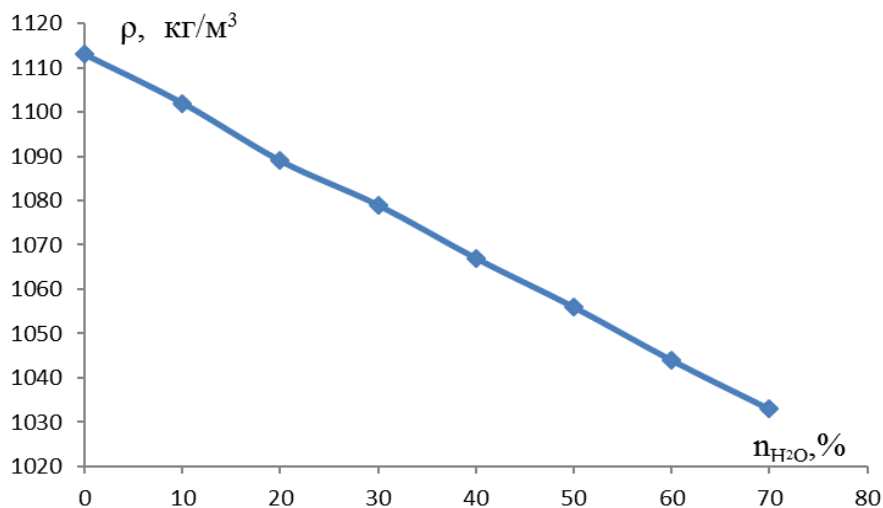
$$\lambda = f(n_{\text{H}_2\text{O}}); \rho = f(n_{\text{H}_2\text{O}}); \eta = f(n_{\text{H}_2\text{O}}); \nu = f(n_{\text{H}_2\text{O}}).$$

Графики этих зависимостей приведены ниже (рисунки 4.1-4.4). Согласно данным таблицы 4.3 повышение концентрации воды в этиленгликоле повышает его коэффициент теплопроводности согласно линейному закону. В соответствии с таблицей 4.3 и рис 4.1,

теплопроводность раствор растет на 79,2%. По нашему мнению, это связано с изменением плотности структуры жидких растворов [106 – 109, 111 - 118, 131].



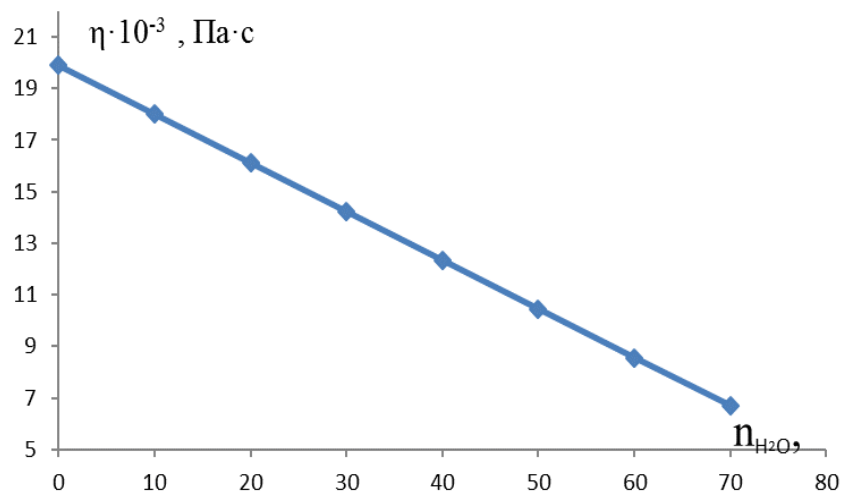
**Рисунок 4.1.** - Зависимость коэффициента теплопроводности жидкого этиленгликоля от концентрации воды при атмосферном давлении и комнатной температуре [106, 107, 110 - 113, 118 – 121, 125, 126]



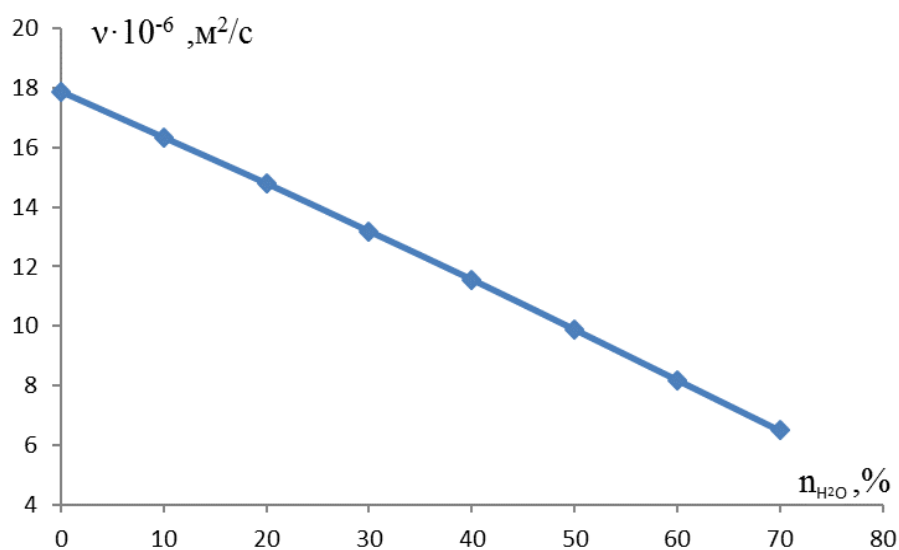
**Рисунок 4.2.** - Зависимость плотности жидкого этиленгликоля от концентрации воды при атмосферном давлении и комнатной температуры

Данные таблицы 4.3 и рисунка 4.2 показывают, что повышение содержания воды в этиленгликоле (двухкомпонентный раствор) понижает плотность системы практически по линейному закону (в среднем до 7,19 %).

По нашему предположение связано это с изменением объема жидких растворов [111, 124, 125, 127, 130].



**Рисунок 4.3.** - Динамическая вязкость этиленгликоля в жидком состоянии в зависимости от концентрации воды при атмосферном давлении и комнатной температуре



**Рисунок 4.4.** - Зависимость коэффициента кинематической вязкости жидкого этиленгликоля от концентрации воды при атмосферном давлении и комнатной температуре

Как видно из таблицы 4.3 и рисунков 4.3, 4.4, с ростом концентрации воды в этиленгликоле (двухкомпонентный раствор) 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. Судя по данным таблицы 4.3 и рисунку 4.2, динамическая вязкость растворов падает на 66,3 %, а для кинематической вязкости это изменение составляет 63,1 %. По нашему мнению, это связано с изменением плотности жидких растворов [106, 110, 124, 125, 127, 130].

#### **4.2. Теплопроводность двухкомпонентных растворов на основе жидкого этиленгликоля при различных температурах, атмосферном давлении и изменении концентрации воды в них (опытные и теоретические данные)**

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 (Патент Республики Таджикистан № ТД 923, Душанбе, 2017. – 5 с) (авторы М.М. Сафаров и др.) [92] и теоретическими предположениями, предложенными Максвеллом [91] (глава 2).

Результаты данных, полученных по этому методу и теорией Максвелла, представлены в виде таблицы 4.4 и графика зависимости  $\lambda = f(T, n_{H_2O})$  (рисунок 4.5).

**Таблица 4.4.** - Коэффициенты теплопроводности ( $\lambda \cdot 10^3, Bm/(m \cdot K)$ ) растворов на основе этиленгликоля и воды при различных температурах и атмосферном давлении ( $p = 0,101$ ) МПа [106 – 109, 111 – 113, 121, 122, 125-129]

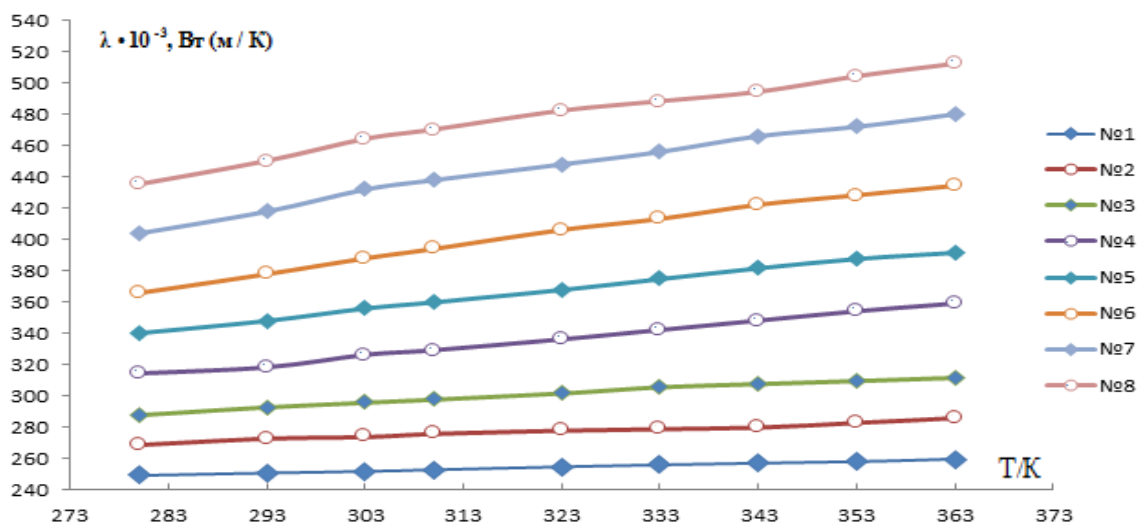
Растворы / Т, К	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
280	249,5	269	288	314	340	366	404	435
293	251	273	293	318	348	378	418	450
303	252	274	296	326	356	388	432	464
310	253	276	298	329	306	394	438	470



Продолжение таблица 4.4.

323	254,8	278	302	336	368	406	448	482
333	256	279	306	342	375	413	456	488
343	257	280	308	348	382	422	466	494
353	258	283	310	354	388	428	472	504
363	259,5	286	312	359	392	434	480	512

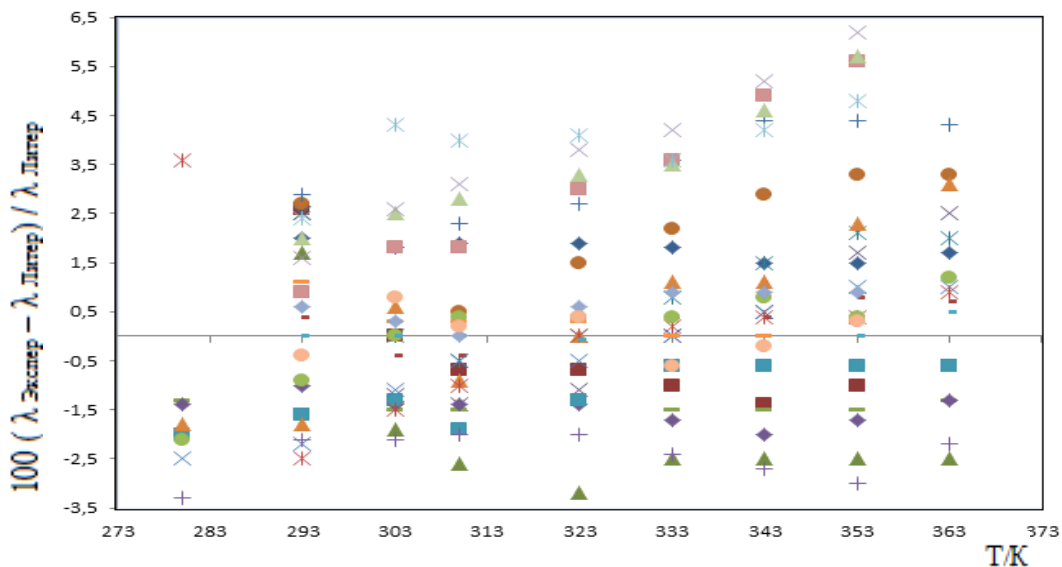
Примечание: № 1 - (100 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>); № 2 - (90 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 10 % H<sub>2</sub>O); № 3 - (80 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 20 % H<sub>2</sub>O); № 4 - (70 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 30 % H<sub>2</sub>O); № 5 - (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 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O). [125]



**Рисунок 4.5.** - Зависимость коэффициента теплопроводности  $\lambda$  жидкого этиленгликоля от температуры при атмосферном давлении и в различных концентрациях воды № 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 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O). [109, 125]

Как видно из результатов экспериментального и теоретического определения значений коэффициента теплопроводности двухкомпонентных растворов (таблица 4. 4 и рис 4. 5) 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 растет на 6,3 %, для восьмого раствора (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ ) теплопроводность увеличивается на 17,7 % [106, 107, 109, 117, 118, 125].



**Рисунок 4.6.** Отклонение результатов измерения теплопроводность водного раствора этиленгликоля при различных температурах и атмосферном давлении ( $p = 0,101$  МПа) с литературными данными.

№1 - (100 %  $C_2H_6O_2$ ); (◆) [154], (—) [101] (=) [157]; №2 - (90 %  $C_2H_6O_2$  + 10 %  $H_2O$ ); (■) [154], (◆) [101] (—) [157]; №3 - (80 %  $C_2H_6O_2$  + 20 %  $H_2O$ ); (▲) [154], (■) [101], (◆) [157]; №4 - (70 %  $C_2H_6O_2$  + 30 %  $H_2O$ ); (×) [154], (▲) [101], (■) [157]; №5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ ); (✱) [154], (×) [101], (▲) [157]; №6 - (50 %  $C_2H_6O_2$  + 50 %  $H_2O$ ); (●) [154], (✱) [101], (×) [157]; №7 - (40 %  $C_2H_6O_2$  + 60 %  $H_2O$ ); (+) [154], (●) [101], (✱) [157]; №8 - (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ ). (—) [154], (+) [101], (●) [157];

#### 4.3. Плотность двухкомпонентных растворов на основе жидкого этиленгликоля при различных температурах, атмосферном давлении и изменении концентрации воды в них (опытные данные)

Проведение экспериментов предполагало приготовление растворов с последующим их исследованием. Для этого в 1 доля этиленгликоля

добавляли от 10 до 90 % с последующей их выдержкой до полного растворения в течение 2 недель.

В условиях необходимости в знании calorических и термодинамических характеристик веществ, в большинстве случаев экспериментально исследуют их коэффициенты кинематической и динамической вязкости. Применяв полученные результаты графоаналитической обработкой на основе закона соответственных состояний и термодинамического подобия получают желаемый результат.

Опытное устройство, представленное на рисунках 2.9 и 2.10, нами было применено для экспериментального исследования плотности растворов при атмосферном давлении и комнатной температуре (см. рис. 4.5 - 3.4 и таблицы 4.5 - 4.6, на которых представлены результаты по итогам трех замеров) [106 – 113, 118 – 129].

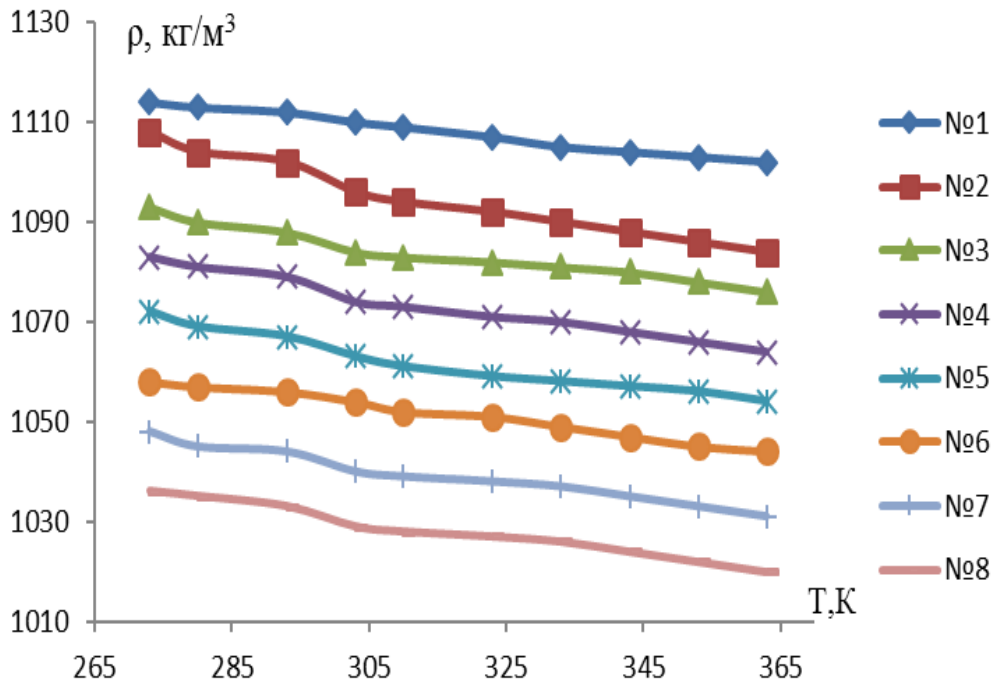
**Таблица 4.5.** - Плотность ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) растворов на основе этиленгликоля и воды при различных температурах и атмосферном давлении ( $p = 0,101$ ) МПа

Растворы / T, К	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
273	1114	1108	1093	1083	1072	1058	1048	1036
280	1113	1104	1090	1081	1069	1057	1045	1035
293	1112	1102	1088	1079	1067	1056	1044	1033
303	1110	1096	1084	1074	1063	1054	1040	1029
310	1109	1094	1083	1073	1061	1052	1039	1028
323	1107	1092	1082	1071	1059	1051	1038	1027
333	1105	1090	1081	1070	1058	1049	1037	1026
343	1104	1088	1080	1068	1057	1047	1035	1024
353	1103	1086	1078	1066	1056	1045	1033	1022
363	1102	1084	1076	1064	1054	1044	1031	1020

Примечание: № 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 %

$C_2H_6O_2 + 40\% H_2O$ ); № 6 - (50 %  $C_2H_6O_2 + 50\% H_2O$ ); № 7 - (40 %  $C_2H_6O_2 + 60\% H_2O$ ); № 8 - (30 %  $C_2H_6O_2 + 70\% H_2O$ ). [125]

Как видно из результатов экспериментального и теоретического определения значений плотности двухкомпонентных растворов (таблица 4.5 и рис. 4.7), изменением температуры от 273 до 363 К плотность уменьшается почти по линейному закону. Например, у водного раствора под номером 2 - (90 %  $C_2H_6O_2 + 10\% H_2O$ ) плотность падает на 2,21 %, для восьмого раствора (30 %  $C_2H_6O_2 + 70\% H_2O$ ) плотность уменьшается на 1,57 % [106 – 112, 114, 119 – 135].



**Рисунок 4.7.** - Зависимость плотности  $\rho$  жидкого этиленгликоля от температуры при атмосферном давлении и различных концентрациях воды

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 %  $C_2H_6O_2 + 70\% H_2O$ ).

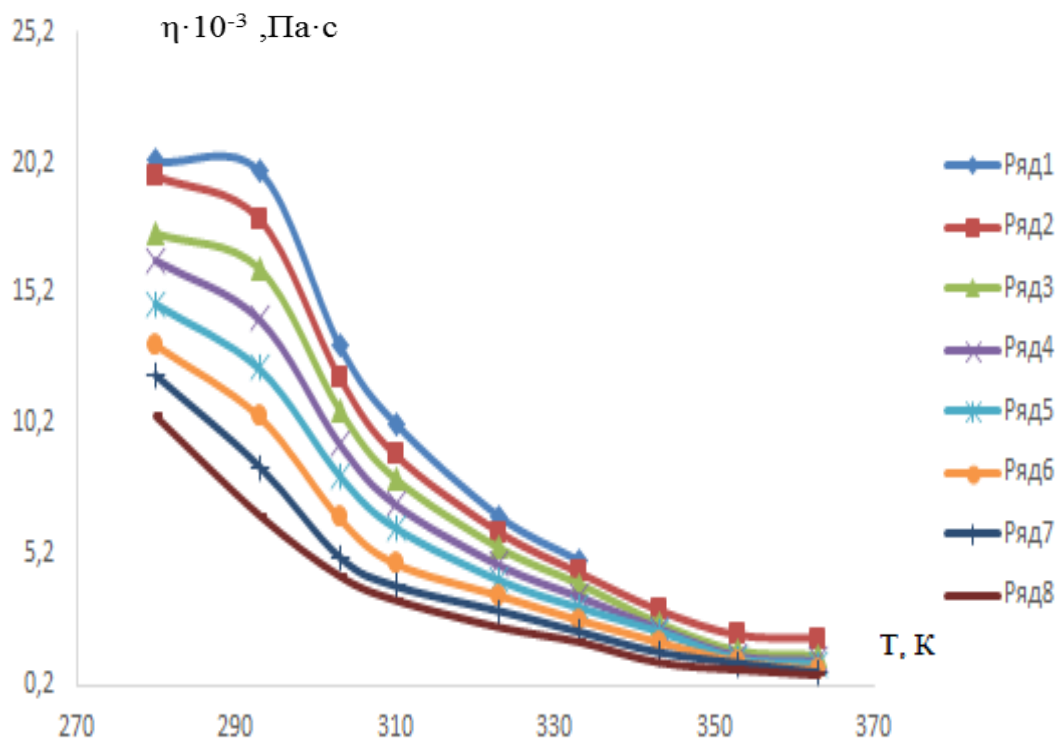
#### 4.4. Коэффициент динамической вязкости двухкомпонентных растворов на основе жидкого этиленгликоля при атмосферном давлении и изменении концентрации воды в них (теоретические данные)

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 [92] и теоретическими предположениями, предложенными Тейта [91, 106, 107, 108, 109, 110] (глава 2) (таблица 4.4 и рисунок 4.8) [106 – 135].

**Таблица 4.6.** - Коэффициент динамической вязкости ( $\eta$ ,  $10^{-3}$  Па·с) растворов на основе этиленгликоля и воды при различных температурах и атмосферном давлении ( $p = 0,101$ ) МПа

Растворы / Т, К	№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

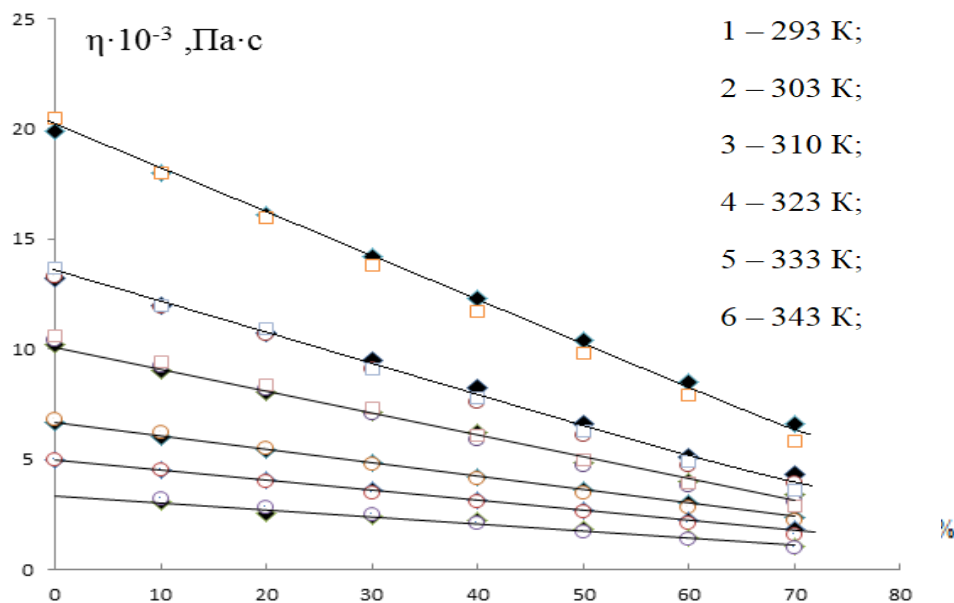
Примечание: № 1 - (100 %  $C_2H_6O_2$ ); № 2 - (90 %  $C_2H_6O_2$  + 10 %  $H_2O$ ); № 3 - (80 %  $C_2H_6O_2$  + 20 %  $H_2O$ ); № 4 - (70 %  $C_2H_6O_2$  + 30 %  $H_2O$ ); № 5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ ); № 6 - (50 %  $C_2H_6O_2$  + 50 %  $H_2O$ ); № 7 - (40 %  $C_2H_6O_2$  + 60 %  $H_2O$ ); № 8 - (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ ). [125]



**Рисунок 4.8.** - Зависимость динамической вязкости  $\eta$  иджкого этиленгликоля от температуры при атмосферном давлении и различных концентрациях воды

Примечание: № 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 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O). [125]

Как видно из результатов экспериментального определения значения коэффициента динамической вязкости двухкомпонентных растворов (таблица 4.6 и рис 4.8), при изменении температуры от 280 до 363 К, уменьшается по закону гиперболы. Например, у водного раствора под номером 2 - (90 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 10 % H<sub>2</sub>O) коэффициент динамической вязкости уменьшается в 8,92 раза, для восьмого раствора (30 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O) это изменение составляет 18,4 раза. [124, 125, 126, 128, 130].



**Рисунок 4.9.** Сравнение экспериментальных данных с литературными данными по динамической вязкости растворов на основе этиленгликоля и воды при различных температурах и атмосферном давлении ( $p = 0,101$  МПа):  $\circ$  - литература [156], (2003);  $\square$  - литература [155], (1998);  $\blacklozenge$  - автора.

#### 4.5. Коэффициент кинематической вязкости двухкомпонентных растворов на основе этиленгликоля при атмосферном давлении, изменении температуры и концентрации воды в них (теоретические данные)

Кинематическую вязкость веществ можно рассчитать нижеприведенным выражением, если известны его динамическая вязкость и плотность [106 – 130]:

$$v = \frac{\eta}{\rho} \quad \text{м}^2/\text{с} , \quad (4.1)$$

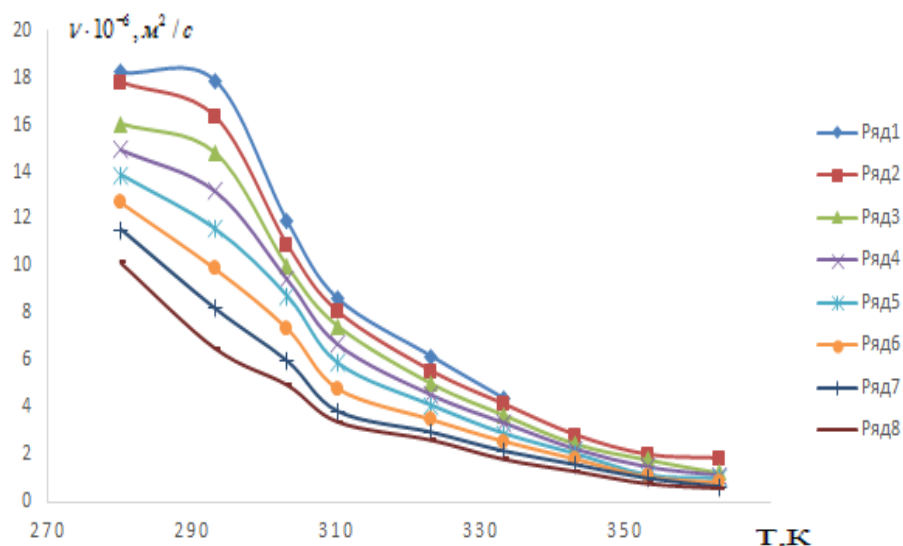
где,  $\eta$  - динамическая вязкость, Па·с,  $\rho$  - плотность изучаемых веществ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Реологические характеристики при нормальных условиях определяются капиллярным вискозиметром и денсиметром.

**Таблица 4.7.-** Коэффициент кинематической вязкости ( $\nu, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ) растворов на основе этиленгликоля и воды при различных температурах и атмосферном давлении ( $p = 0,101$ ) МПа [125, 126, 128, 130]

Растворы / Т, К	№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 %  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ ); № 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 %  $\text{H}_2\text{O}$ ). [125]



**Рисунок 4.10.** - Зависимость кинематической вязкости  $\nu$  жидкого этиленгликоля от температуры при атмосферном давлении и различных концентрациях воды

Примечание: № 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 %



$C_2H_6O_2 + 40 \% H_2O$ ); № 6 - ( $50 \% C_2H_6O_2 + 50 \% H_2O$ ); № 7 - ( $40 \% C_2H_6O_2 + 60 \% H_2O$ ); №8 - ( $30 \% C_2H_6O_2 + 70 \% H_2O$ ). [125]

По итогам расчетов (таблица 4.7 и рис. 4.10) 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 [108, 112, 125, 130].

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

Как уже ранее было отмечено (глава 3), 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 гидразин сульфат [64 – 72, 106 – 135].

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.

Решение данной проблемы выполнялось поэтапно. На первом этапе исследования нами на основе существующих предпосылок по литературному обзору нами был получен высокотемпературный теплоноситель на основе этиленгликоля и воды. Второй этап исследования был посвящен решению следующей задачи - исследовать теплопроводность, плотность, коэффициенты динамической и кинематической вязкости, как

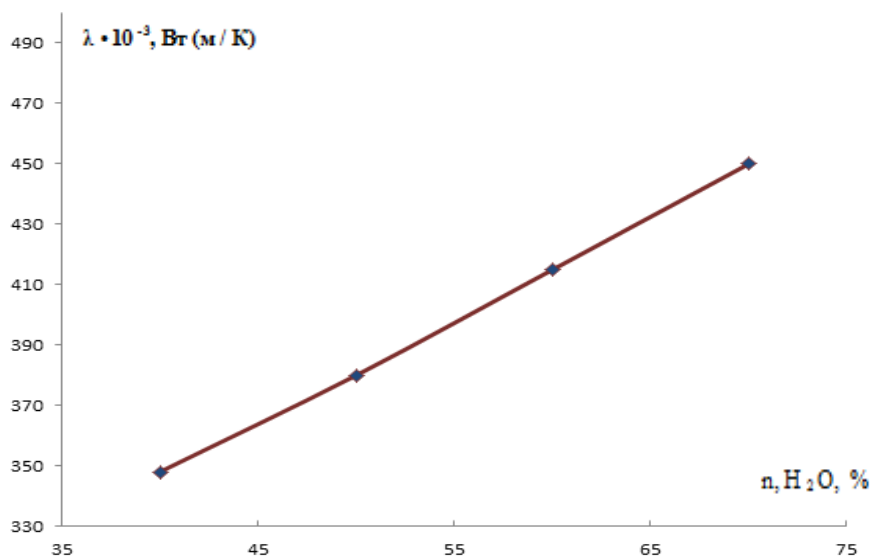
двухкомпонентных (этиленгликоль - вода), так и трехкомпонентных (этиленгликоль – вода - нанопорошок гидразина) систем в зависимости от температуры при атмосферном давлении, а также и при различных температурах и давлениях. Конечно нами использованы существующие возможности проведения исследования (теория и эксперимент) [106 – 135].

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 температуры (273 - 373) К и давления (0,101 - 14,42) МПа. Основные теплофизические и реологические свойства перечисленных образцов при нормальных условиях приведены ниже (таблица 4.8) [106 - 135].

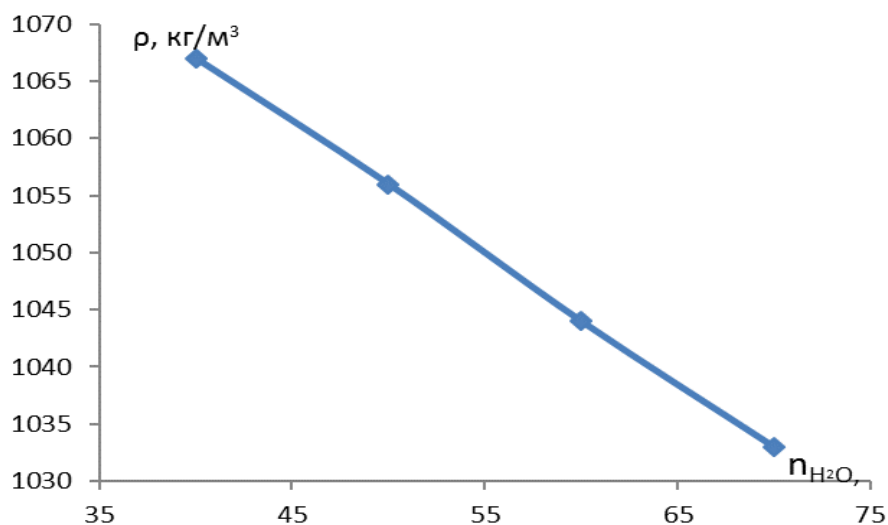
**Таблица 4.8.** - Основные теплофизические и реологические свойства образцов исследования при нормальных условиях

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 % $C_2H_6O_2$ + 40 % $H_2O$ )	348	1067	12,34	11,57
№ 6	(50 % $C_2H_6O_2$ + 50 % $H_2O$ )	378	1056	10,45	9,89

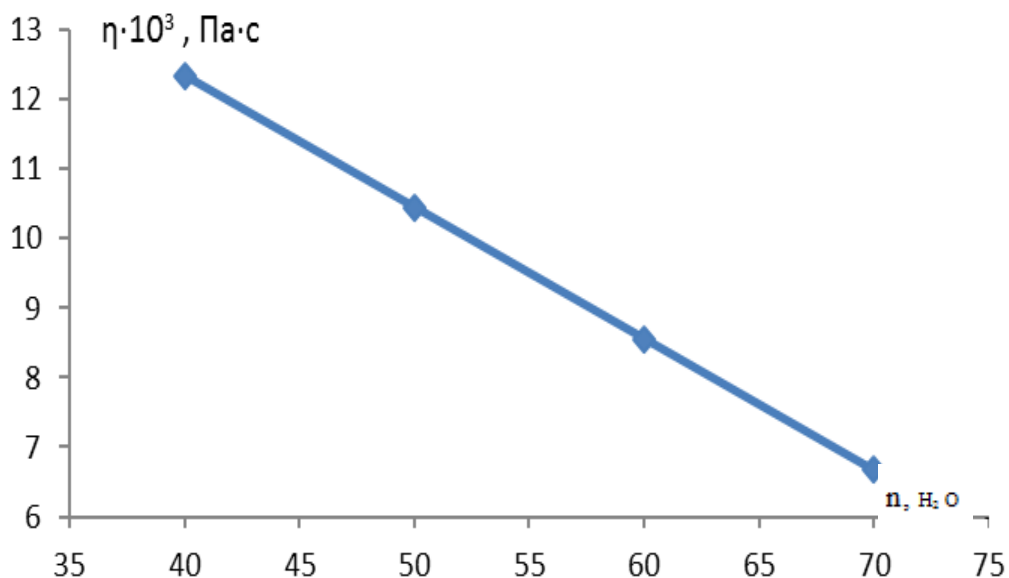
Продолжение таблицы 4.8					
№ 7	(40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O)	418	1044	8,56	8,19
№ 8	(30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O)	450	1033	6,67	6,49



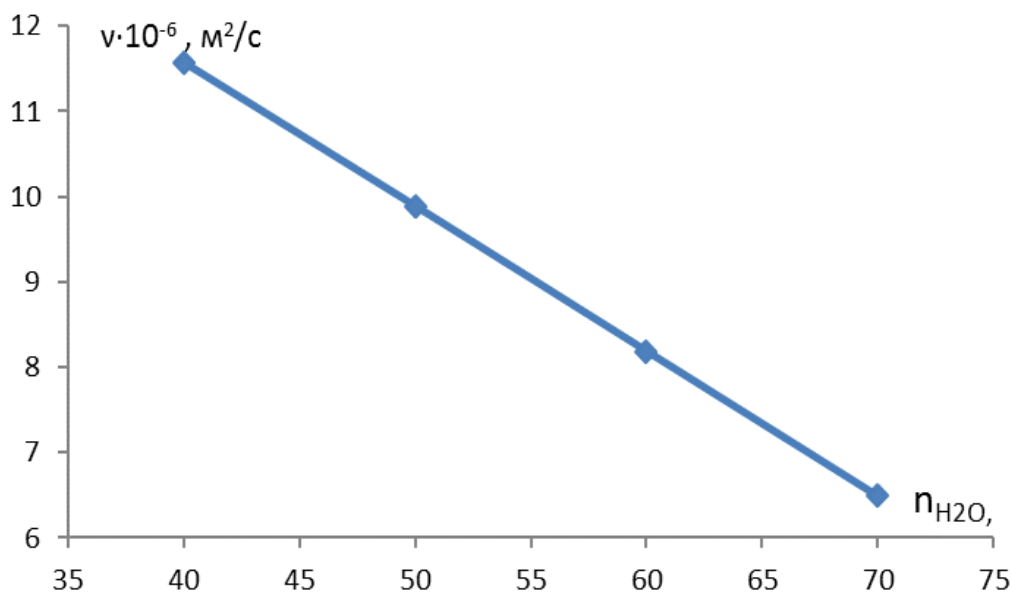
**Рисунок 4.11.** - График зависимости теплопроводности растворов этиленгликоля с водой от концентрации воды в этих растворах при температуре 293 К.



**Рисунок 4.12.** - График зависимости плотности растворов этиленгликоля с водой от концентрации воды в этих растворах при температуре 293 К.



**Рисунок 4.13.** - График зависимости коэффициент динамической вязкости  $\eta$  растворов системы этиленгликоля с водой от концентрации воды в этих растворах при температуре 293 К.



**Рисунок 4.14.** - График зависимости коэффициент кинематической вязкости  $\nu$  растворов системы этиленгликоля с водой от концентрации воды в этих растворах при температуре 293 К.

Согласно данным, приведенным в таблице 4.8 и графиков, представленных на рисунках 4.11 и 4.14 можно заключить следующие факты: изменение теплофизических и реологических характеристик

растворов для использования в процессе гидразинной обработки технологических аппаратов в электроэнергетике также наблюдаются при добавке этиленгликоля. В основном изменения характеризуются уменьшением изучаемых характеристик за исключением коэффициента эффективной теплопроводности растворов. Этот факт подтверждается теорией коллоидных растворов [112, 114, 116, 118, 125, 130].

**Таблица 4.9.** - Теплопроводность ( $\lambda \cdot 10^3, \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} = f(T, P, n_{\text{H}_2\text{O}})$ ) двухкомпонентных основных растворов (№5, №6, №7, №8) на основе этиленгликоля при высоких параметрах состояния

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
	№ 5 - (60 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40 % H <sub>2</sub> O)				
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
	№ 6 - (50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O)				
280	366	369	372	377	380
293	378	381	384	387	389

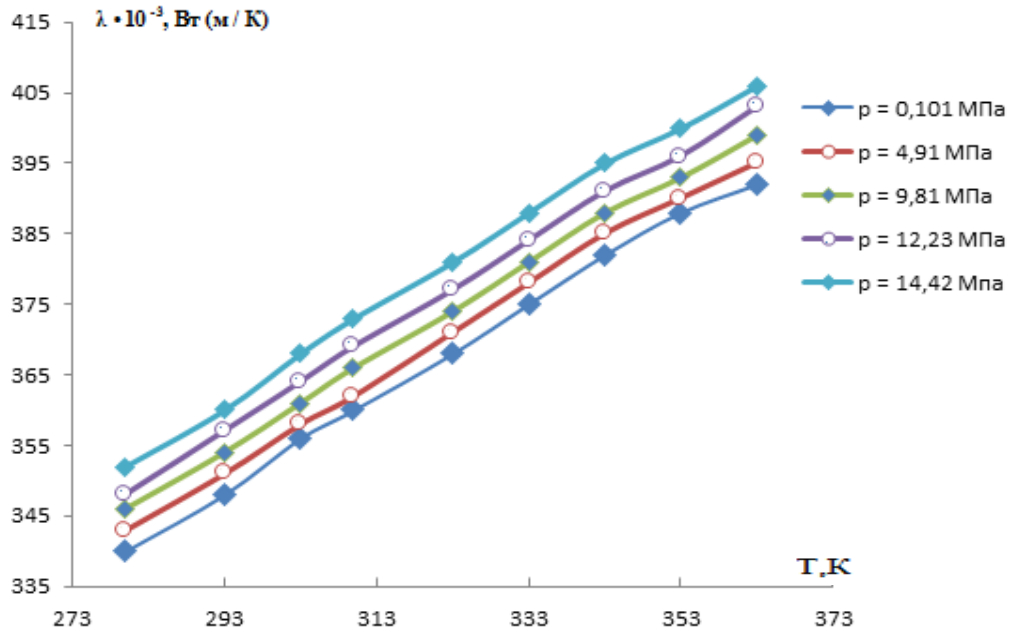
Продолжение таблицы 4.9					
303	388	390	394	396	399
310	394	397	400	404	407
323	406	409	412	415	418
333	413	416	420	423	425
343	422	425	428	431	433
353	428	430	433	436	439
363	434	433	438	441	443
373	-	437	442	444	445
383	-	440	443	445	446
№ 7 - (40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O)					
280	404	407	410	413	416
293	418	420	425	428	431
303	432	435	438	441	444
310	438	440	445	448	451
323	448	451	455	459	462
333	456	457	463	467	470
343	466	468	472	475	478
353	472	474	479	482	485
363	480	478	486	488	491
373	-	480	489	491	493
383	-	484	492	494	497
№ 8 - (30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O)					
280	435	438	441	444	447
293	450	453	456	459	462
303	464	466	469	472	475
310	470	473	476	479	482

Продолжение таблицы 4.9					
323	482	484	487	490	494
333	488	491	494	498	501
343	494	498	502	505	508
353	504	508	511	514	517
363	512	514	517	519	522
373	-	517	520	524	527
383	-	520	523	526	529

На основе данных по таблице 4.9, можно заключить, что теплопроводность образцов без нанопорошка гидразина с повышением температуры, давления и концентрации нанопорошка гидразина растут почти по линейному закону. Например, для образца № 6 при  $P=4,91$  МПа и  $T= (280 \div 383)$  К  $\lambda$  растет 19,4 %, а при  $P=14,42$  МПа при тех же температурных условиях  $\lambda$  растет на 17,3 %. Для образца № 7 при  $P= (0,101 \div 14,42)$  МПа и  $T= 333$  К  $\lambda$  увеличивается на 3,0 % [106 -130].

На графике, показанном на рисунке 4.13, наглядно показана зависимость эффективной теплопроводности трехкомпонентных растворов (этиленгликоль – вода – нанопорошок гидразина) от изменения температуры и концентрации гидразинового нанопорошка. Опираясь на результаты, представленные на рисунке 4.15. и в таблице 4.9 повышение температуры способствует и гистерезису теплопроводности, а рост концентрации гидразинового порошка способствует ее повышению [106 – 130].

На рис. 4.15. иллюстрирует то, что теплопроводность растворов при повышении концентрации гидразинового нанопорошка растет [26, 87, 101, 106 - 130].



**Рисунок 4.15.** - График зависимости теплопроводности опытных образцов двухкомпонентных растворов системы (этиленгликоль + вода) от температуры при различных давлениях:

Примечание: 1 - (№ 5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ )); 2 - (№ 5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ ) + 0,1 %  $N_2H_4$ ); 3 - (№ 5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ ) + 0,2 %  $N_2H_4$ ); 4 - (№ 5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ ) + 0,3 %  $N_2H_4$ ); 5 - (№ 5 - (60 %  $C_2H_6O_2$  + 40 %  $H_2O$ ) + 0,4 %  $N_2H_4$ );

**Таблица 4.10.** - Влияние нанопорошка гидразина на изменение теплопроводности ( $(\lambda \cdot 10^3, \frac{Вт}{(м \cdot К)} = f(T, P, n_{H_2O}))$ ) двухкомпонентных основных растворов на основе этиленгликоля при различных температурах и давлениях

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 5 - [(60 % $C_2H_6O_2$ + 40 % $H_2O$ ) + 0,1 % $N_2H_4$ ]					
280	386	392	396	401	406
293	395	400	405	410	416
303	403	409	413	418	423
310	410	415	420	425	430
323	417	422	427	432	436



Продолжение таблицы 4.10					
333	422	427	432	437	442
343	429	434	439	444	449
353	432	436	442	447	452
363	435	444	449	454	459
373	-	449	454	459	464
383	-	456	461	466	471
№ 6 - [(50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,1 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	429	436	443	450	457
293	435	440	447	454	461
303	446	452	460	467	473
310	454	460	468	475	482
323	460	468	473	475	487
333	468	474	481	488	495
343	472	477	483	494	497
353	476	483	490	497	504
363	480	488	493	500	505
373	-	509	515	523	530
383	-	512	520	527	534
№ 7 - [(40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O) + 0,1 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	448	454	460	466	476
293	451	457	463	473	482
303	459	463	470	482	490
310	472	479	486	498	505
323	481	487	496	508	515
333	489	496	503	515	522
343	496	503	510	522	529
353	502	509	516	528	535
363	510	517	524	536	543
373	-	525	532	543	550
383	-	533	541	546	554
№ 8 - [(30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O) + 0,1 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	488	497	505	513	522
293	501	509	517	525	533

Продолжение таблицы 4.10					
303	515	523	531	539	547
310	526	534	542	550	557
323	535	543	551	559	567
333	543	551	560	570	576
343	549	557	565	572	579
353	554	563	570	580	586
363	558	566	574	583	590
373	-	571	582	590	598
383	-	575	585	593	603

На основе данных по таблице 4.10, можно заключить, что теплопроводность образцов с внедрением 0,1 % нанопорошка гидразина повышении температуры и давления растет почти по линейному закону. Например, у образца № 7 в диапазоне изменения температуры (280 - 383) К при давлении 4,91 МПа наблюдается рост теплопроводности на 17,4 %, а при 14,42 МПа на 16,4 %. У образца №8 при температуре 333 К и изменении давления от 0,101 до 14,42 МПа теплопроводность растет на 6,08 % [106 – 130].

**Таблица 4.11.** - Влияние нанопорошка гидразина на изменение теплопроводность ( $\lambda \cdot 10^3, \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} = f(T, P, n_{\text{H}_2\text{O}})$ ) двухкомпонентных основных растворов на основе этиленгликоля при различных температурах и давлениях

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 5 - [(60 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40 % H <sub>2</sub> O) + 0,2 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	390	396	400	405	410
293	399	404	409	414	420
303	407	413	417	422	427
310	414	419	424	429	434
323	421	426	431	436	440

Продолжение таблицы 4.11					
333	426	431	436	441	446
343	433	438	443	449	454
353	436	440	446	451	456
363	439	448	454	458	464
373	-	453	458	464	468
383	-	460	465	470	475
№ 6 - [(50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,2 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	434	441	448	455	462
293	440	445	452	459	466
303	450	457	465	472	478
310	459	465	473	480	487
323	465	473	478	482	492
333	473	479	486	493	500
343	477	482	488	499	502
353	481	488	495	502	509
363	485	493	498	505	510
373	-	514	520	528	535
383	-	517	525	532	539
№ 7 - [(40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O) + 0,2 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	454	460	466	472	482
293	457	463	469	479	488
303	465	469	476	488	496
310	478	485	492	504	511
323	487	493	502	514	521
333	496	502	509	519	528
343	502	509	516	528	535
353	508	515	522	534	541
363	516	523	530	542	549
373	-	531	538	549	556
383	-	539	547	552	560
№ 8 - [(30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O) + 0,2 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	495	511	512	520	529
293	508	516	524	532	540

Продолжение таблицы 4.11					
303	522	530	538	546	554
310	534	541	550	557	564
323	542	550	558	566	574
333	550	558	567	577	583
343	556	564	572	579	586
353	561	570	577	587	593
363	565	573	582	590	597
373	-	578	589	597	605
383	-	584	592	600	610

**Таблица 4.12.** - Влияние нанопорошка гидразина на изменение теплопроводности ( $\lambda \cdot 10^3, \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} = f(T, P, n_{\text{H}_2\text{O}})$ ) двухкомпонентных основных растворов на основе этиленгликоля при различных температурах и давлениях [106 – 130]

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 5 - [(60 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40 % H <sub>2</sub> O) + 0,3 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	394	400	404	409	414
293	403	408	413	418	424
303	411	417	421	426	431
310	418	423	428	433	438
323	425	430	435	440	444
333	430	435	440	445	450
343	437	442	447	454	458
353	440	444	450	455	460
363	444	452	458	463	468
373	-	457	462	468	472
383	-	464	469	474	479
№ 6 - [(50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,3 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	439	446	453	460	467
293	445	451	457	464	471
303	455	462	470	477	483

Продолжение таблицы 4.12					
310	464	470	478	485	492
323	470	478	483	487	497
333	478	484	491	498	505
343	482	487	493	504	507
353	486	493	500	507	512
363	491	498	503	510	515
373	-	519	525	533	540
383	-	517	530	537	544
№ 7 - [(40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O) + 0,3 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	460	466	472	478	488
293	463	469	475	485	494
303	471	475	482	494	502
310	484	491	498	510	517
323	491	500	508	520	527
333	502	509	515	525	534
343	508	516	522	534	541
353	514	521	528	540	547
363	522	530	536	548	555
373	-	538	544	555	562
383	-	546	553	558	566
№ 8 - [(30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O) + 0,3 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	502	518	519	527	536
293	515	523	531	539	547
303	529	537	545	553	561
310	541	548	557	564	571
323	549	557	565	573	582
333	557	565	574	584	590
343	563	571	579	586	594
353	568	577	584	594	600
363	572	580	589	597	604
373	-	585	596	604	612
383	-	591	599	607	617

На основе данных по таблице 4.12, можно заключит, что теплопроводность образцов с внедрением 0,3 % нанопорошка гидразина с повышением температуры и давление растет близким к линейному закону. Например, у образца № 6 теплопроводность с повышением температуры с 280 К до 383 К при давлении 4,91 МПа растет на 15,92 %, а при 14,42 МПа на 16,5 %. Для образца № 8 при температуре 333 К повышение давления от 0,101 до 14,42 МПа повышает теплопроводность на 5,65 % [106 – 130].

**Таблица 4.13.** - Влияние нанопорошка гидразина на изменение теплопроводности ( $\lambda \cdot 10^3, \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} = f(T, P, n_{\text{H}_2\text{O}})$ ) двухкомпонентных основных растворов на основе этиленгликоля при различных температурах и давлениях

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 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> ]					
280	398	405	409	414	418
293	407	413	418	423	429
303	415	422	426	431	436
310	422	428	433	438	442
323	429	434	440	445	449
333	434	440	446	450	455
343	441	447	452	459	463
353	445	449	455	460	465
363	449	457	463	468	473
373	-	464	467	473	477
383	-	469	474	479	484
№ 6 - [(50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,4 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	444	451	458	465	472
293	450	456	462	469	476
303	460	467	475	482	488
310	469	476	483	490	497
323	475	483	488	492	503
333	484	489	496	503	510

Продолжение таблицы 4.13					
343	488	492	498	509	512
353	491	498	506	512	517
363	496	503	508	515	520
373	-	524	530	536	545
383	-	532	535	542	549
<i>№ 7 - [(40 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 60 % H<sub>2</sub>O) + 0,4 % N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>]</i>					
280	466	472	478	484	494
293	469	476	482	491	500
303	477	481	488	500	508
310	490	497	504	516	523
323	497	506	514	526	533
333	508	515	521	531	540
343	514	522	528	540	547
353	529	527	534	546	553
363	528	536	542	554	561
373	-	544	550	561	568
383	-	552	559	564	572
<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	509	525	526	534	543
293	522	530	538	546	554
303	536	542	552	560	568
310	548	555	564	571	578
323	556	564	572	580	589
333	564	572	581	591	597
343	570	578	586	593	601
353	575	584	591	601	608
363	579	587	596	604	612
373	-	592	603	611	620
383	-	598	606	614	624

На основе данных по таблице 4.13, можно заключит, что теплопроводность образцов с внедрением 0,4 % нанопорошка гидразина в них с повышением температуры и давления растут почти по линейному закону.

Например, для образца № 8 при давлении 4,91 МПа, когда температура изменяется в интервале (280 - 383) К теплопроводность растет на 13,9%, а для давления 14,42 МПа в этом же диапазоне изменения температуры теплопроводность растет на 14,92 %. Для образца № 8 при температуре 333 К и повышении давления от 0,101 до 14,42 МПа, теплопроводность растет на 5,85 % [109, 111, 113, 116, 118, 125].

#### 4.7. 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 Гейта [116, 121, 123, 125, 126, 127]. Результаты экспериментально - теоретически полученных данных по плотности растворов представлены в виде таблицы 4.14 и растворов под номерами № 5, № 6, № 7, № 8 в таблице 4.15, а графически отражены на рисунке 4.12 [123, 125, 126, 127].

В таблице 4.15, также приведены результаты плотности растворов (№ 5, № 6, № 7, № 8) внедренных в них нанопорошка гидразина, концентрация которого изменялось в пределах от 0 - 0,4 % [106 – 130].

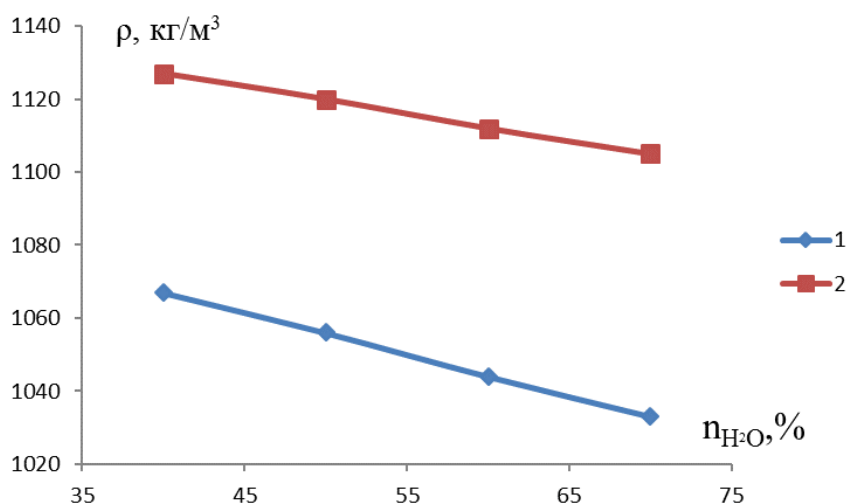
**Таблица 4.14.** - Плотность ( $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = f(T, P, n_{\text{H}_2\text{O}})$ ) двухкомпонентных основных растворов под номерами (№ 5, № 6, № 7, № 8) на основе этиленгликоля без внедрения в них нанопорошка гидразина при различных температурах и давлениях

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 5 - (60 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40 % H <sub>2</sub> O)					
273	1072	1087	1102	1117	1132



Продолжение таблицы 4.14					
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
№ 6 - (50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O)					
273	1058	1074	1090	1106	1122
280	1057	1073	1089	1105	1121
293	1056	1072	1088	1104	1120
303	1054	1070	1086	1102	1118
310	1052	1068	1084	1100	1116
323	1051	1067	1083	1099	1115
333	1049	1065	1081	1097	1113
343	1047	1063	1079	1095	1111
353	1045	1061	1077	1093	1109
363	1044	1060	1076	1092	1108
№ 7 - (40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O)					
273	1048	1065	1082	1099	1116
280	1045	1062	1079	1096	1113
293	1044	1061	1078	1095	1112
303	1040	1057	1074	1091	1108
310	1039	1056	1073	1090	1107
323	1037	1054	1071	1088	1105
333	1036	1053	1070	1087	1104
343	1035	1052	1069	1086	1103
353	1033	1050	1067	1084	1101
363	1031	1048	1065	1082	1099
№ 8 - (30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O)					
273	1036	1054	1072	1090	1108
280	1035	1053	1071	1089	1107

Продолжение таблицы 4.14					
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 4.16.** - Изменение плотности этиленгликоля в зависимости от концентрации воды при разных давлениях: 1 -  $P = 0,101$  МПа, и 2 -  $P = 14,42$  МПа и комнатной температуре

Как видно из графика, приведенного на рисунке 4.16, плотность растворов системы этиленгликоль и вода с ростом концентрации воды уменьшается по линейному закону. Угол наклона изменения плотности растворов зависит от давления, т.е. чем выше внешнее давление, тем меньше угол наклона [106 – 130].

**Таблица 4.15.** - Плотность ( $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = f(T, P, n_{\text{H}_2\text{O}})$ ) двухкомпонентных основных растворов под номерами (№ 5, № 6, № 7, № 8) на основе этиленгликоля с внедрением в них нанопорошка гидразина при различных температурах и давлениях

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 5 - [(60 % $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ + 40 % $\text{H}_2\text{O}$ ) + 0,1 % $\text{N}_2\text{H}_4$ ]					

Продолжение таблицы 4.15					
273	1078	1093	1108	1123	1138
280	1075	1090	1105	1120	1135
293	1073	1088	1103	1118	1133
303	1069	1084	1099	1114	1129
310	1067	1082	1097	1112	1127
323	1065	1080	1095	1110	1125
333	1064	1079	1094	1109	1124
343	1063	1078	1093	1108	1123
353	1062	1077	1092	1107	1122
363	1060	1076	1090	1105	1120
№ 6 - [(50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,1 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1063	1079	1095	1111	1127
280	1062	1078	1094	1110	1126
293	1061	1077	1093	1109	1125
303	1059	1075	1091	1107	1123
310	1057	1073	1089	1105	1121
323	1056	1072	1088	1104	1120
333	1055	1070	1086	1102	1118
343	1052	1068	1084	1100	1116
353	1050	1066	1082	1098	1114
363	1049	1065	1081	1097	1113
№ 7 - [(40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O) + 0,1 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1054	1071	1088	1105	1122
280	1051	1068	1085	1102	1119
293	1050	1067	1084	1101	1118
303	1046	1064	1080	1097	1114
310	1045	1062	1079	1096	1113
323	1043	1060	1077	1094	1111
333	1042	1059	1076	1093	1110
343	1041	1058	1075	1092	1109
353	1039	1056	1073	1090	1107
363	1037	1054	1071	1088	1105
№ 8 - [(30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O) + 0,1 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1042	1060	1078	1096	1114

Продолжение таблицы 4.15					
280	1041	1059	1077	1095	1113
293	1039	1057	1075	1093	1111
303	1035	1053	1071	1089	1107
310	1034	1052	1070	1088	1106
323	1033	1051	1069	1087	1105
333	1032	1050	1068	1086	1104
343	1030	1048	1066	1084	1100
353	1028	1046	1064	1082	1099
363	1026	1044	1062	1080	1098

**Таблица 4.16.** - Плотность ( $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = f(T, P, n_{\text{H}_2\text{O}})$ ) двухкомпонентных основных растворов под номерами (№ 5, № 6, № 7, № 8) на основе этиленгликоля с внедрением в них нанопорошка гидразина при различных температурах и давлениях [111, 115, 124, 125, 127]

<i>T, K</i>	<i>Давление, P, МПа</i>				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 5 - [(60 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40 % H <sub>2</sub> O) + 0,2 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1085	1100	1115	1130	1145
280	1082	1097	1112	1127	1142
293	1080	1095	1110	1125	1140
303	1077	1091	1106	1121	1136
310	1074	1089	1104	1119	1134
323	1072	1087	1102	1117	1132
333	1071	1086	1101	1116	1131
343	1070	1085	1100	1115	1130
353	1069	1084	1099	1114	1129
363	1067	1083	1097	1112	1127
№ 6 - [(50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,2 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1070	1087	1102	1118	1134
280	1069	1085	1101	1117	1133
293	1068	1084	1100	1116	1132
303	1066	1082	1098	1115	1130

Продолжение таблицы 4.16					
310	1064	1080	1096	1112	1128
323	1063	1079	1094	1111	1127
333	1062	1077	1093	1109	1125
343	1059	1075	1092	1107	1123
353	1057	1073	1089	1105	1121
363	1056	1072	1088	1204	1120
№ 7 - [(40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O) + 0,2 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1062	1079	1096	1113	1130
280	1059	1076	1093	1110	1127
293	1058	1075	1092	1109	1125
303	1054	1072	1088	1105	1122
310	1053	1070	1087	1104	1121
323	1051	1068	1085	1102	1119
333	1050	1067	1084	1101	1118
343	1049	1066	1083	1100	1117
353	1048	1064	1081	1098	1115
363	1045	1062	1079	1096	1113
№ 8 - [(30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O) + 0,2 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1050	1068	1086	1104	1122
280	1049	1067	1085	1102	1121
293	1047	1065	1083	1101	1119
303	1043	1061	1079	1097	1115
310	1042	1060	1078	1096	1114
323	1041	1059	1077	1095	1113
333	1040	1058	1076	1094	1112
343	1038	1056	1074	1092	1108
353	1035	1054	1072	1090	1107
363	1034	1052	1070	1089	1106

**Таблица 4.17.** - Плотность ( $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = f(T, P, n_{\text{H}_2\text{O}})$ ) двухкомпонентных основных растворов под номерами (№ 5, № 6, № 7, № 8) на основе этиленгликоля с внедрением в них нанопорошка гидразина при различных температурах и давлениях [111, 115, 124, 125, 127]

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 5 - [(60 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40 % H <sub>2</sub> O) + 0,3 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1093	1108	1123	1138	1153
280	1090	1105	1120	1135	1150
293	1088	1103	1118	1133	1148
303	1085	1099	1114	1129	1144
310	1082	1097	1112	1128	1142
323	1080	1095	1110	1125	1140
333	1079	1094	1109	1124	1139
343	1078	1093	1108	1123	1138
353	1077	1092	1107	1122	1136
363	1075	1091	1105	1120	1135
№ 6 - [(50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,3 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1078	1095	1110	1126	1142
280	1077	1093	1109	1125	1141
293	1076	1092	1108	1124	1140
303	1074	1090	1106	1123	1138
310	1072	1088	1104	1120	1136
323	1071	1087	1102	1119	1135
333	1070	1085	1101	1117	1133
343	1067	1083	1100	1115	1131
353	1065	1081	1098	1113	1129
363	1064	1080	1096	1212	1128
№ 7 - [(40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O) + 0,3 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1070	1088	1104	1121	1138
280	1067	1084	1103	1118	1135
293	1066	1083	1110	1117	1133

Продолжение таблицы 4.17					
303	1062	1080	1096	1113	1130
310	1061	1078	1095	1112	1129
323	1059	1076	1094	1110	1128
333	1058	1075	1092	1109	1126
343	1057	1074	1091	1108	1125
353	1056	1072	1089	1106	1123
363	1053	1070	1088	1104	1121
№ 8 - [(30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O) + 0,3 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1058	1076	1094	1112	1130
280	1057	1075	1093	1110	1129
293	1055	1073	1091	1109	1128
303	1051	1069	1088	1105	1123
310	1050	1068	1086	1104	1122
323	1049	1067	1085	1103	1121
333	1048	1066	1084	1102	1120
343	1046	1064	1082	1100	1116
353	1043	1062	1080	1098	1115
363	1042	1060	1078	1097	1114

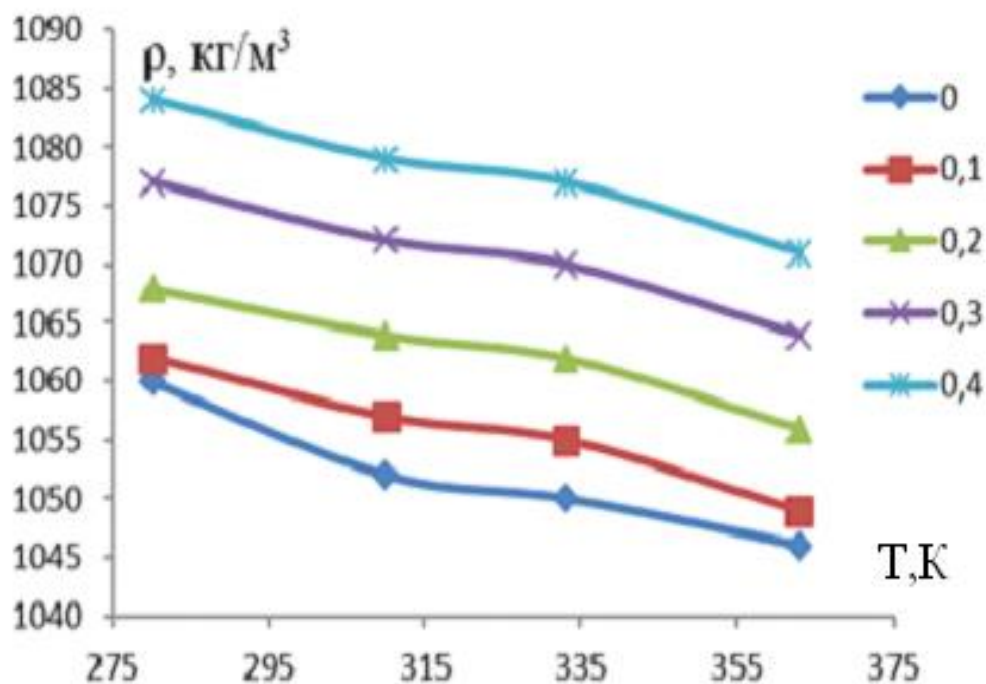
**Таблица 4.18.** - Плотность ( $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = f(T, P, n_{\text{H}_2\text{O}})$ ) двухкомпонентных основных растворов под номерами (№ 5, № 6, № 7, № 8) на основе этиленгликоля с внедрением в них нанопорошка гидразина при различных температурах и давлениях [111, 115, 124, 125, 127]

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 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> ]					
273	1100	1115	1130	1145	1160
280	1097	1112	1127	1142	1157
293	1095	1110	1125	1140	1155
303	1092	1106	1121	1136	1151
310	1089	1104	1119	1135	1149

Продолжение таблицы 4.18					
323	1087	1102	1117	1133	1147
333	1086	1101	1116	1132	1146
343	1085	1100	1115	1131	1145
353	1084	1099	1114	1129	1143
363	1083	1098	1112	1127	1142
№ 6 - [(50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,4 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1085	1102	1117	1133	1149
280	1084	1100	1116	1132	1148
293	1083	1099	1115	1131	1147
303	1081	1097	1113	1130	1145
310	1079	1095	1111	1127	1143
323	1078	1094	1109	1126	1142
333	1077	1092	1108	1124	1140
343	1074	1090	1107	1122	1138
353	1072	1088	1105	1120	1136
363	1071	1087	1103	1119	1135
№ 7 - [(40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O) + 0,4 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
273	1077	1095	1111	1128	1145
280	1074	1091	1110	1125	1142
293	1073	1090	1107	1124	1140
303	1069	1087	1103	1120	1137
310	1068	1086	1102	1119	1136
323	1067	1084	1101	1117	1135
333	1066	1082	1099	1116	1133
343	1065	1081	1098	1115	1132
353	1064	1079	1096	1113	1130
363	1060	1077	1095	1111	1128
№ 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> ]					
273	1065	1083	1101	1119	1137
280	1064	1082	1100	1117	1136
293	1062	1080	1098	1116	1135
303	1058	1076	1096	1112	1130
310	1057	1075	1093	1111	1129
323	1056	1074	1092	1110	1128
333	1055	1073	1091	1109	1127



Продолжение таблицы 4.18					
343	1054	1071	1089	1107	1123
353	1050	1069	1087	1105	1122
363	1049	1067	1085	1104	1121



**Рисунок 4.17.** - Изменение плотности системы растворов (№ 5, № 6, № 7, № 8) в зависимости от температуры при различных концентрациях нанопорошка

Согласно графикам 4.16, 4.17 и данным таблиц 4.14 - 4.16, плотность растворов (№ 5, № 6, № 7, № 8) 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. [88, 89, 91, 96, 98, 104, 111, 115, 124, 125, 127, 154, 158].

#### 4.8. Экспериментальные исследования динамической вязкости растворов (№5, №6, №7, №8) - нанорошка гидразина с различной концентрацией, температурой и давлением

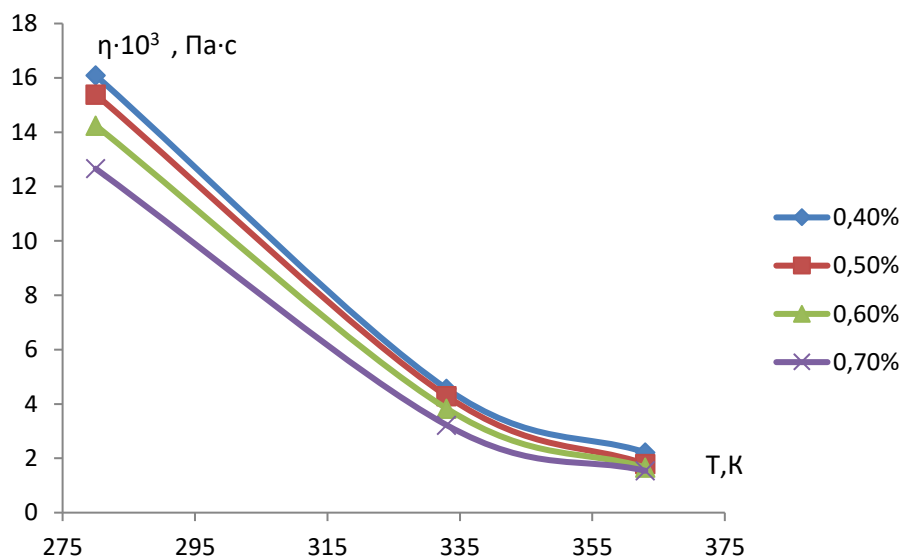
Динамическую вязкость растворов изучают при помощи капиллярного вискозиметра, которым обеспечена установка с погрешностью равной 2,6 % при доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$ . Результаты исследований представлены в таблицах 4.19 - 4.22 и изображены на рисунках 4.18 - 4.20, [20, 89, 99, 105, 124, 125, 126, 128, 130].

**Таблица 4.19.** - Коэффициент динамической вязкости ( $\eta \cdot 10^{-3}$ , Па.с =  $f(T, P, n_{H_2O})$ ) двухкомпонентных основных растворов под номерами №5, №6, №7, №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
№ 5 - (60 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40 % H <sub>2</sub> O)					
280	14,82	15,92	16,09	16,27	16,52
293	12,34	13,34	13,63	14,13	16,03
303	8,24	9,04	9,41	9,78	10,17
310	6,23	7,03	7,83	8,63	9,43
323	4,21	5,01	5,81	6,61	7,41
333	3,16	3,86	4,56	5,26	5,96
343	2,25	2,95	3,65	4,35	5,05
353	1,18	1,78	2,36	2,98	3,58
363	1,02	1,62	2,22	2,82	3,42
№ 6 - (50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O)					
280	13,19	14,29	15,39	16,49	17,59
293	10,45	11,35	12,45	13,58	14,65
303	6,58	7,36	8,16	8,98	9,78
310	4,61	5,41	6,21	7,01	7,81
323	3,62	4,42	5,22	6,02	6,82

Продолжение таблицы 4.19					
333	2,69	3,49	4,29	5,09	5,89
343	1,85	2,55	3,29	3,95	4,65
353	1,10	1,7	2,3	2,9	3,5
363	0,79	1,29	1,79	2,25	2,79
№ 7 - (40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O)					
280	12,05	13,15	14,25	15,35	16,49
293	8,56	9,46	10,36	11,26	12,16
303	4,76	5,56	6,36	7,16	7,97
310	3,88	4,68	5,48	6,28	7,08
323	3,02	3,82	4,62	5,42	6,22
333	2,23	3,03	3,83	4,63	5,43
343	1,44	2,14	2,84	3,54	4,24
353	1,02	1,62	2,22	2,82	3,42
363	0,66	1,16	1,66	2,16	2,66
№ 8 - (30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O)					
280	10,46	11,56	12,66	13,76	14,86
293	6,67	7,57	8,47	9,37	10,27
303	4,52	5,32	6,12	6,92	7,72
310	3,45	4,25	5,05	5,85	6,65
323	2,38	3,18	3,98	4,78	5,58
333	1,82	2,52	3,22	3,82	4,32
343	1,03	1,73	2,43	3,13	3,83
353	0,75	1,35	1,95	2,55	3,15
363	0,54	1,04	1,54	2,05	2,54

Согласно данным рисунка 4.18 и таблицы 4.19, повышение температуры способствует уменьшению коэффициента динамической вязкости изученных образцов, однако увеличение концентрации второго компонента, наоборот, повышает динамическую вязкость растворов по экспоненциальному закону (см. рис. 4.18 - 4.19) [20, 89, 99, 105, 124, 125, 126, 128, 130].

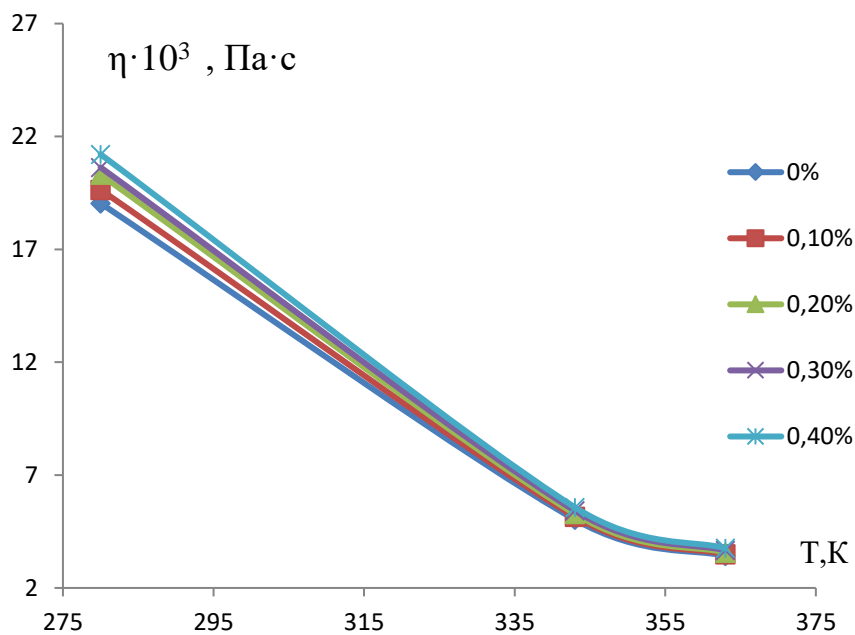


**Рисунок 4.18.** - Динамическая вязкость растворов ( $C_2H_6O_2 + H_2O$ ) в зависимости от изменения температуры и концентрации второго компонента (воды): 1 - 0,4 %; 2 - 0,5 %; 3 - 0,6 %; 4 - 0,7 %

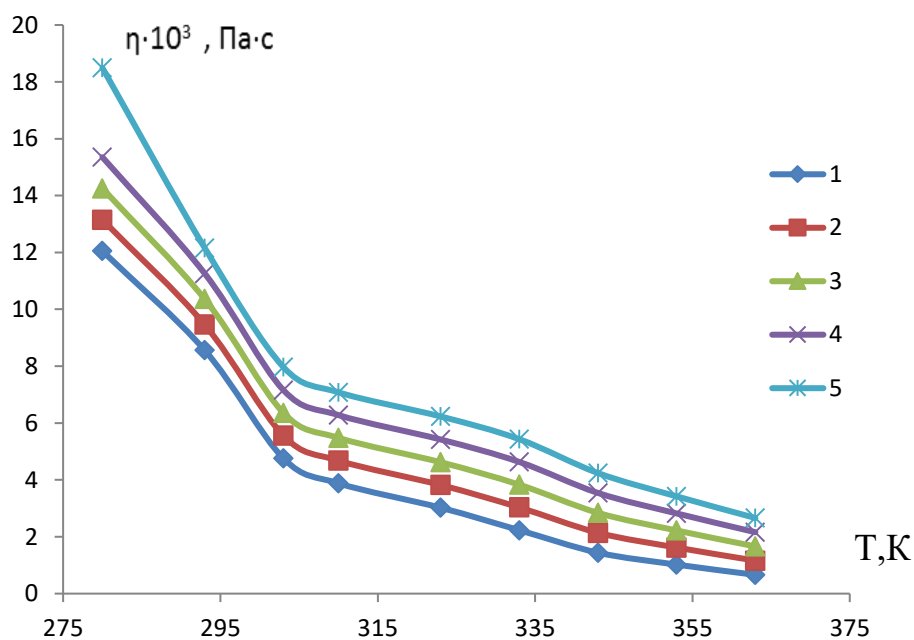
**Таблица 4.20.** - Коэффициент динамической вязкости ( $\eta \cdot 10^{-3}$ , Па·с =  $f(T, P, n_{H_2O})$ ) двухкомпонентных основных растворов (№ 5, № 6, № 7, № 8) на основе этиленгликоля с добавкой нанопорошка гидразина при различных температурах и давлениях

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 5 - [(60 % $C_2H_6O_2 + 40$ % $H_2O$ ) + 0,1 % $N_2H_4$ ]					
280	15,14	16,27	17,39	18,52	19,64
293	12,61	13,63	14,54	15,46	16,38
303	8,42	9,24	10,15	11,08	11,99
310	6,37	7,18	8,01	8,82	9,64
323	4,31	5,12	5,94	6,76	7,57
333	3,16	3,94	4,66	5,26	6,09
343	2,30	3,01	3,65	4,45	5,16
353	1,21	1,82	2,41	3,05	3,66
363	1,04	1,66	2,27	2,88	3,49

Продолжение таблицы 4.20					
№ 6 - (50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,1 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	13,49	14,61	15,73	16,85	17,98
293	10,68	11,59	12,72	13,88	14,97
303	6,72	7,52	8,34	9,18	9,99
310	4,71	5,53	6,35	7,16	7,98
323	3,69	4,52	5,33	6,15	6,97
333	2,75	3,57	4,38	5,21	6,02
343	1,89	2,61	3,36	4,04	4,75
353	1,12	1,74	2,35	2,96	3,58
363	0,81	1,32	1,83	2,29	2,85
№ 7 - (40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O) + 0,1 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	12,32	13,44	14,56	15,69	16,85
293	8,75	9,67	10,59	11,51	12,43
303	4,86	5,68	6,49	7,32	8,14
310	3,96	4,78	5,60	6,42	7,24
323	3,09	3,90	4,72	5,54	6,36
333	2,28	3,09	3,91	4,73	5,54
343	1,47	2,19	2,90	3,62	4,33
353	1,04	1,66	2,27	2,88	3,49
363	0,67	1,19	1,69	2,21	2,72
№ 8 - (30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O) + 0,1 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	10,69	11,81	12,94	14,06	15,19
293	6,82	7,74	10,33	9,58	10,49
303	4,62	5,44	6,25	7,07	7,89
310	3,53	4,34	5,16	5,98	6,79
323	2,43	3,25	4,07	4,88	5,70
333	1,86	2,58	3,29	3,90	4,42
343	1,05	1,77	2,48	3,19	3,91
353	0,77	1,38	1,99	2,61	3,22
363	0,55	1,06	1,57	2,09	2,59



**Рисунок 4.19.** - Динамическая вязкость водных растворов этиленгликоля в зависимости от концентрации гидразина при температурах 280 К, 343 К и 363 К



**Рисунок 4.20.** -Зависимость коэффициента динамической вязкости двух-компонентных растворов (образец № 7) при различных температурах и давлениях: 1 - 0,101 МПа, 2 - 4,91 МПа, 3 - 9,81 МПа, 4 - 12,23 МПа, 5 -14,42 МПа

**Таблица 4.21.** - Коэффициент динамической вязкости ( $\eta \cdot 10^{-3}$ , Па·с =  $f(T, P, n_{H_2O})$ ) двухкомпонентных основных растворов (№ 5, № 6, № 7, № 8) на основе этиленгликоля с внедрением в них нанопорошка гидразина при различных температурах и давлениях [125, 130]

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 5 - [(60 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40 % H <sub>2</sub> O) + 0,2 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	15,50	16,66	17,81	18,96	20,11
293	12,91	13,96	14,89	15,83	16,77
303	8,62	9,46	10,15	11,35	12,28
310	6,52	7,35	8,20	9,03	9,87
323	4,41	5,24	6,08	6,92	7,75
333	3,24	4,03	4,77	5,39	6,24
343	2,36	3,08	3,74	4,56	5,28
353	1,24	1,86	2,47	3,12	3,75
363	1,06	1,69	2,32	2,95	3,57
№ 6 - (50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,2 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	13,81	14,96	16,11	17,25	18,41
293	10,94	11,87	13,03	14,21	15,33
303	6,88	7,70	8,54	9,40	10,23
310	4,82	5,66	6,50	7,33	8,17
323	3,78	4,63	5,46	6,29	7,14
333	2,82	3,66	4,48	5,35	6,16
343	1,94	2,67	3,44	4,14	4,86
353	1,15	1,78	2,41	3,03	3,67
363	0,83	1,36	1,87	2,34	2,92
№ 7 - (40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O) + 0,2 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	12,62	13,76	14,91	16,07	17,25
293	8,96	9,90	10,84	11,79	12,73
303	4,98	5,82	6,65	7,49	8,34
310	4,06	4,89	5,73	6,57	7,42
323	3,16	3,99	4,83	5,67	6,51
333	2,33	3,16	4,01	4,84	5,67

Продолжение таблицы 4.21					
343	1,51	2,24	2,97	3,71	4,43
353	1,06	1,69	2,32	2,95	3,57
363	0,69	1,22	1,73	2,26	2,79
№ 8 - (30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O) + 0,2 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	10,95	12,09	13,25	14,39	15,55
293	6,98	7,93	10,58	9,81	10,74
303	4,73	5,57	6,40	7,24	8,08
310	3,61	4,44	5,28	6,12	6,95
323	2,49	3,33	4,17	4,99	5,84
333	1,90	2,64	3,37	3,99	4,53
343	1,08	1,81	2,54	3,27	4,00
353	0,79	1,41	2,04	2,67	3,29
363	0,56	1,09	1,61	2,14	2,65

Динамическая вязкость и плотность растворов нами были взаимосвязаны на плоскости ( $\eta - \rho$ ) и построены соответствующие графики (рис 4.19 и таблица 4.20) [20, 89, 99, 105, 111, 115, 124, 125, 127, 130].

Согласно представленным результатам в виде рис. 4.20 и таблицы 4.21 динамическая вязкость растворов при нормальных условиях по мере возрастания плотности из - за добавления гидразина также возрастает. Это повышение происходит и по параболическому и по экспоненциальному законам [20, 89, 99, 105, 111, 115, 124, 125, 127, 130].

**Таблица 4.22.** - Коэффициент динамической вязкости ( $\eta \cdot 10^{-3}$ , Па. с =  $f(T, P, n_{H_2O})$ ) двухкомпонентных основных растворов под номерами № 5, № 6, № 7, № 8 на основе этиленгликоля с внедрением в них нанопорошка гидразина при различных температурах и давлениях

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 5 - [(60 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40 % H <sub>2</sub> O) + 0,3 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	15,90	17,09	18,27	19,45	20,63



Продолжение таблицы 4.22					
293	13,25	14,32	15,28	16,24	17,21
303	8,84	9,71	10,41	11,65	12,59
310	6,69	7,54	8,41	9,26	10,13
323	4,52	5,38	6,24	7,09	7,95
333	3,32	4,13	4,89	5,53	6,40
343	2,42	3,16	3,84	4,68	5,42
353	1,27	1,91	2,53	3,20	3,85
363	1,09	1,73	2,38	3,03	3,66
№ 6 – [(50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,3 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	14,17	15,35	16,53	17,69	18,89
293	11,22	12,18	13,37	14,58	15,73
303	7,06	7,90	8,76	9,64	10,49
310	4,95	5,81	6,67	7,52	8,38
323	3,88	4,75	5,60	6,45	7,33
333	2,89	3,76	4,59	5,49	6,32
343	1,99	2,74	3,53	4,25	4,99
353	1,18	1,83	2,47	3,11	3,77
363	0,85	1,39	1,92	2,40	2,99
№ 7 – [(40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O) + 0,3 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	12,95	14,12	15,29	16,49	17,69
293	9,19	10,16	11,12	12,09	13,06
303	5,11	5,97	6,82	7,68	8,56
310	4,17	5,02	5,88	6,74	7,61
323	3,24	4,09	4,96	5,82	6,68
333	2,39	3,24	4,11	4,97	5,82
343	1,55	2,29	3,05	3,81	4,54
353	1,09	1,73	2,38	3,03	3,66
363	0,71	1,25	1,77	2,32	2,86
№ 8 – [(30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O) + 0,3 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	11,23	12,40	13,59	14,76	15,95
293	7,16	8,14	10,86	10,07	11,02
303	4,85	5,71	6,57	7,43	8,29
310	3,70	4,56	5,42	6,28	7,13

Продолжение таблицы 4.22					
323	2,55	3,42	4,28	5,12	5,99
333	1,95	2,71	3,46	4,09	4,65
343	1,11	1,86	2,61	3,36	4,10
353	0,81	1,45	2,09	2,74	3,38
363	0,57	1,12	1,65	2,19	2,72

**Таблица 4.23.** - Коэффициент динамической вязкости ( $\eta \cdot 10^{-3}$ , Па.с =  $f(T, P, n_{H_2O})$ ) двухкомпонентных основных растворов под номерами № 5, № 6, № 7, № 8 на основе этиленгликоля с внедрением в них нанопорошка гидразина при различных температурах и давлениях [125, 130]

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 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> ]					
280	16,34	17,57	18,78	19,99	21,21
293	13,62	14,72	15,71	16,69	17,67
303	9,09	9,98	10,70	11,98	12,94
310	6,88	7,75	8,65	9,52	10,41
323	4,65	5,53	6,41	7,29	8,17
333	3,41	4,25	5,03	5,68	6,58
343	2,49	3,25	3,95	4,81	5,57
353	1,31	1,96	2,6	3,29	3,96
363	1,12	1,78	2,45	3,11	3,76
№ 6 - [(50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,4 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	14,57	15,78	16,99	18,19	19,42
293	11,53	12,52	13,74	14,99	16,17
303	7,26	8,12	9,01	9,91	10,78
310	5,09	5,97	6,86	7,73	8,61
323	3,99	4,88	5,76	6,63	7,54
333	2,97	3,86	4,72	5,64	6,49
343	2,05	2,82	3,63	4,37	5,13
353	1,21	1,88	2,54	3,20	3,88
363	0,87	1,43	1,97	2,47	3,07

Продолжение таблицы 4.23					
№ 7 – [(40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O) + 0,4 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	13,31	14,52	15,72	16,95	18,19
293	9,45	10,44	11,43	12,43	13,43
303	5,25	6,14	7,01	7,89	8,80
310	4,29	5,16	6,04	6,93	7,82
323	3,33	4,20	5,10	5,98	6,87
333	2,46	3,33	4,23	5,11	5,98
343	1,59	2,35	3,14	3,92	4,67
353	1,12	1,78	2,45	3,11	3,76
363	0,73	1,29	1,82	2,38	2,94
№ 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> ]					
280	11,54	12,75	13,97	15,17	16,40
293	7,36	8,67	11,16	10,35	11,33
303	4,99	5,87	6,75	7,64	8,52
310	3,80	4,69	5,57	6,46	7,33
323	2,62	3,52	4,40	5,26	6,16
333	2,00	2,79	3,56	4,20	4,78
343	1,14	1,91	2,68	3,45	4,21
353	0,83	1,49	2,15	2,82	3,57
363	0,59	1,15	1,70	2,25	2,79

#### **4.9. Экспериментальные исследования кинематической вязкости растворов (№5, №6, №7, №8) при различных концентрациях, давлениях и температуре**

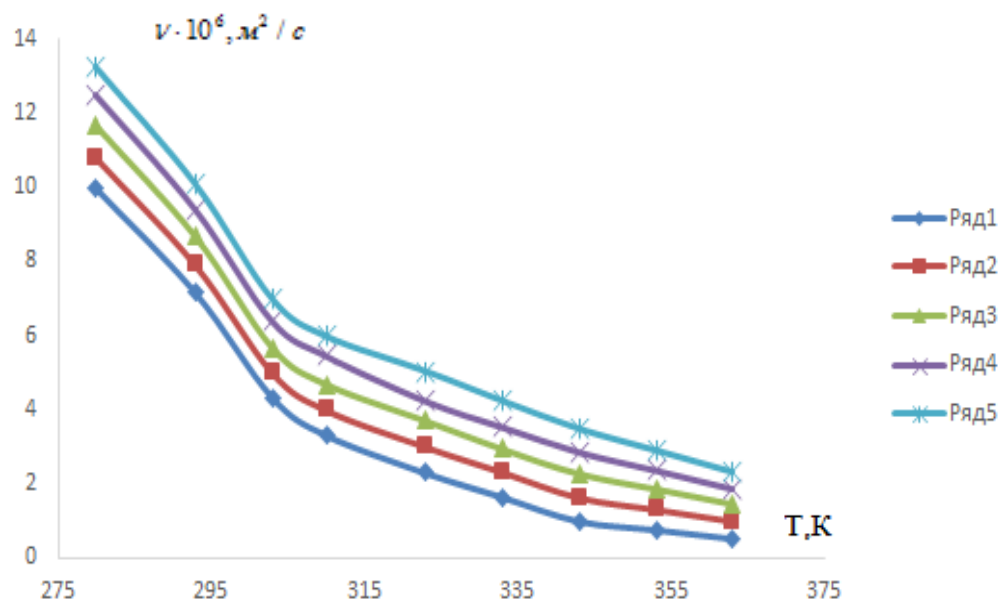
Для определения коэффициента кинематической вязкости обычно используют экспериментально полученные данные по динамической вязкости и плотности изучаемых веществ (выражение 4.1) [93, 95, 96, 98, 103 - 107, 112, 124 –130], которые при нормальных условиях измеряются при помощи вискозиметра и денсиметра.

Таким образом, результаты вычисления кинематической вязкости водных растворов этиленгликоля с и без добавки нанопорошка гидразина при изменении температуры и давления опыта при помощи формулы (4.1) представлены в таблицах 4.24 - 4.28 и графически изображены на рис. 4.20 - 4.21 [124, 125, 126, 128, 130].

**Таблица 4.24.** - Коэффициент кинематической вязкости ( $\nu \cdot 10^{-6}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = f(T, P, n_{\text{H}_2\text{O}})$ ) двухкомпонентных основных растворов под номерами № 5, № 6, № 7, № 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
№ 5 - (60 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40 % H <sub>2</sub> O)					
280	13,86	14,25	14,64	14,64	14,65
293	10,81	11,22	11,63	11,74	11,86
303	7,75	8,87	8,86	8,84	9,06
310	5,87	6,43	6,98	8,41	7,84
323	3,98	4,66	5,34	5,98	6,62
333	3,06	3,71	4,35	5,09	5,84
343	2,13	2,75	3,36	4,21	5,06
353	1,55	2,13	2,71	3,39	4,07
363	0,97	1,51	2,05	2,56	3,07
№ 6 - (50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O)					
280	12,48	13,31	14,13	14,91	15,69
293	9,36	10,09	10,82	11,52	12,22
303	6,24	6,88	7,51	8,13	8,75
310	4,84	5,51	6,17	6,80	7,44
323	3,44	4,13	4,82	5,47	6,12
333	2,57	3,49	4,29	5,09	5,89
343	1,81	2,55	3,29	3,95	4,65
353	1,05	1,59	2,14	3,01	3,16
363	0,81	1,29	1,79	2,06	2,52
№ 7 - (40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O)					

Продолжение таблицы 4.24					
280	11,53	12,37	14,02	15,35	14,82
293	8,06	9,01	9,97	10,96	12,16
303	4,58	5,25	5,92	6,56	7,19
310	3,75	4,43	5,12	5,77	6,41
323	2,95	3,65	4,35	5,01	5,67
333	2,15	2,87	3,58	4,25	4,92
343	1,57	2,20	2,83	3,42	4,01
353	0,98	1,53	2,08	2,59	3,11
363	0,64	1,10	1,56	1,99	2,42
№ 8 - (30 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70 % H <sub>2</sub> O)					
280	9,97	10,82	11,67	12,47	13,26
293	7,15	7,91	8,67	9,38	10,09
303	4,33	5,00	5,67	6,38	6,98
310	3,31	3,99	4,68	5,45	5,97
323	2,29	2,99	3,69	4,23	5,02
333	1,64	2,31	2,93	3,53	4,22
343	0,99	1,62	2,26	2,86	3,46
353	0,76	1,30	1,85	2,37	2,88
363	0,52	0,98	1,44	1,87	2,29



**Рисунок 4.21.** - Зависимость коэффициента кинематической вязкости двух-

компонентных растворов от температуры и давления № 8 - (30 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> + 70 % H<sub>2</sub>O): Ряд 1 - 0,101 МПа; Ряд 2 - 4,91 МПа; Ряд 3 - 9,81 МПа; Ряд 4 - 12,23 МПа; Ряд 5 - 14,42 МПа

**Таблица 4.25.** - Коэффициент кинематической вязкости ( $\nu \cdot 10^{-6}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = f(T, P, n_{\text{H}_2\text{O}})$ ) двухкомпонентных основных растворов под номерами (№5, №6, №7, №8) на основе этиленгликоля с внедрением в них (0,4%) нанопорошка гидразина при различных температурах и давлениях

Т, К	Давление, Р, МПа				
	0,101	4,91	9,81	12,23	14,42
№ 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> ]					
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
№ 6 - [(50 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50 % H <sub>2</sub> O) + 0,4 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	13,44	14,25	15,14	16,03	16,91
293	9,98	11,19	11,62	12,39	13,16
303	6,52	8,12	8,09	8,75	9,41
310	5,06	5,26	6,64	7,32	8,01
323	3,59	4,39	5,19	6,22	7,25
333	3,03	3,64	4,24	5,06	5,88
343	2,48	2,88	3,28	3,89	4,51
353	1,64	2,09	2,54	3,08	3,61
363	0,81	1,30	1,79	2,24	2,70
№ 7 - [(40 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60 % H <sub>2</sub> O) + 0,4 % N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]					
280	12,38	13,27	14,16	15,05	15,93
293	8,65	9,46	10,26	11,05	11,84

Продолжение таблицы 4.25					
303	4,91	5,64	6,36	7,05	7,74
310	4,01	4,76	5,49	6,19	6,89
323	3,12	3,88	4,63	5,34	6,05
333	2,31	3,12	3,75	4,42	5,09
343	1,49	2,35	2,86	3,49	4,13
353	1,09	1,77	2,26	2,82	3,37
363	0,69	1,18	1,66	2,14	2,61
№ 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> ]					
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

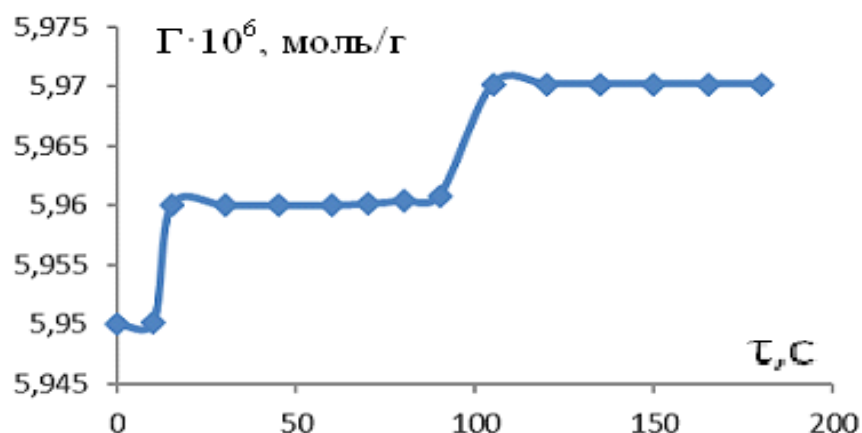
В соответствии с данными, представленными в таблице 4.25, концентрация нанопорошка гидразина по мере роста в водном растворе этиленгликоля, способствует линейному росту значения ( $\Delta v$ , м<sup>2</sup>/с). Для установления процесса растворения гидразина в представленном двухкомпонентном растворе нами рассчитаны значения  $N = \frac{|\Delta v|}{v_1} \cdot 100\%$  для данной категории растворов при комнатной температуре и атмосферном давлении [106 – 130].

Согласно расчетам значения  $N = \frac{|\Delta v|}{v_1} \cdot 100\%$  установлен его параболический рост с ростом концентрации нанопорошка гидразина в растворе. Такое поведение фиксируется при растворении нанопорошка гидразина и соответствующего роста плотности раствора, что влечет за собой соответствующее изменение его структуры [106 – 130].

#### 4.10. Коэффициент адсорбции нанопорошка гидразина

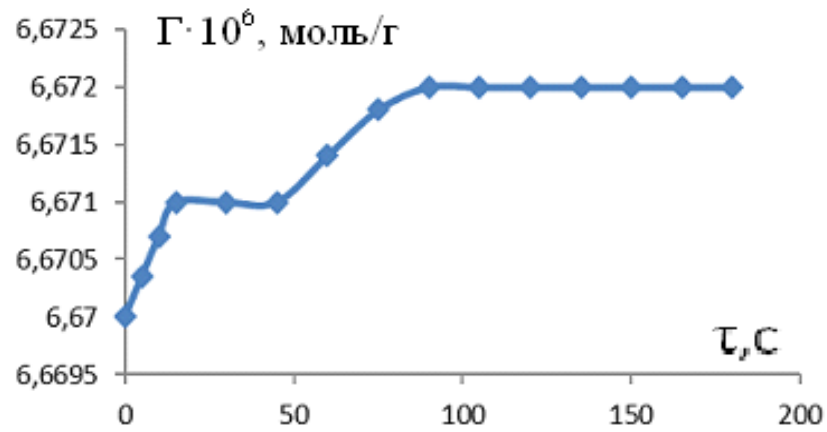
Для исследования кинетики образцов нами разработана установка (рисунок 2.7), (Малый патент РТ № ТЈ 824, № ТЈ 825), состоящая из двух частей: 1) цилиндрического сосуда и сетки; 2) секундомера и электронных весов, точность измерения которых равна 0,001 г. Погрешность измерения коэффициента адсорбции зависит от принимаемого вида весов. Лучше при создании экспериментальных установок использовать существующие электронные весы (МН - Series Pocket Scale). Или использовать автоматизированные модели весов производства Китая или другие весы производства Европейских Стран. Общая относительная погрешность измерения коэффициента адсорбции при доверительной вероятности  $\alpha = 95 \%$ , составляет 0,01 %. Подробная методика измерения коэффициента адсорбции приведена в главе 2 [106, 121, 119, 122, 125, 126, 129].

Результаты исследования коэффициента адсорбции нанорошка гидразина в виде графиков представлены ниже (рисунки 4.20 - 4.25). Для проведения опытов выбран нанопорошок гидразина 6 проб, каждая из которых равна приблизительно 10,5 граммам. Для удобства их применения мы обозначили образца порядковым номером. Образец №1 - 0,5 грамм; Образец №2 - 1 грамм; Образец №3 - 1,5 грамма; Образец №4 - 2 грамма; Образец №5 - 2,5 граммов; Образец №6 - 3 грамма. [106, 112, 119, 122, 125, 126, 129, 134].

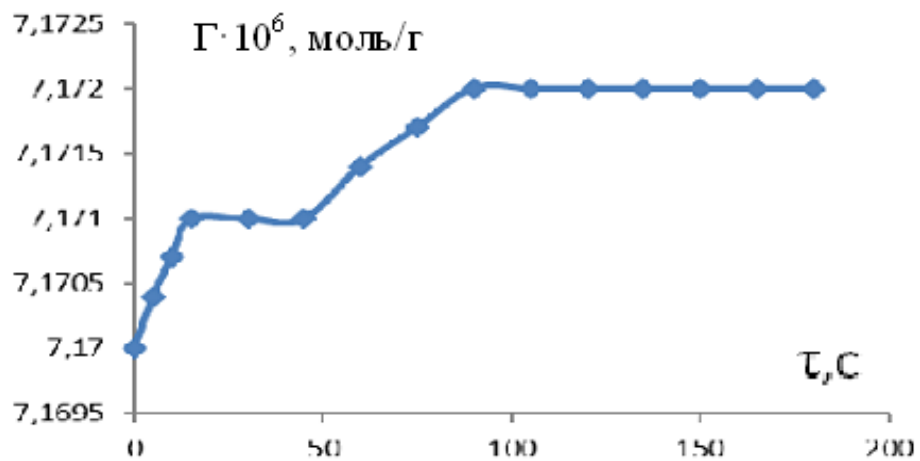


**Рисунок 4.22.** - График зависимости коэффициента адсорбции Образца № 1 от времени выдержки в сетке прибора

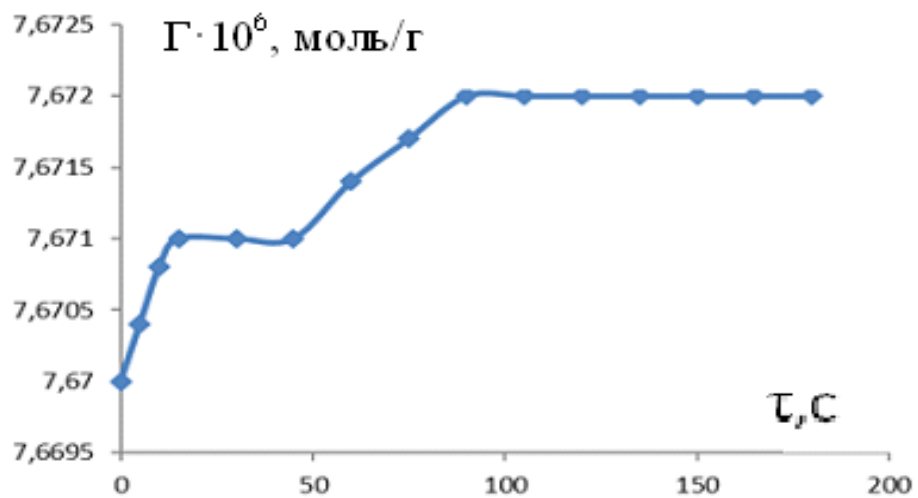




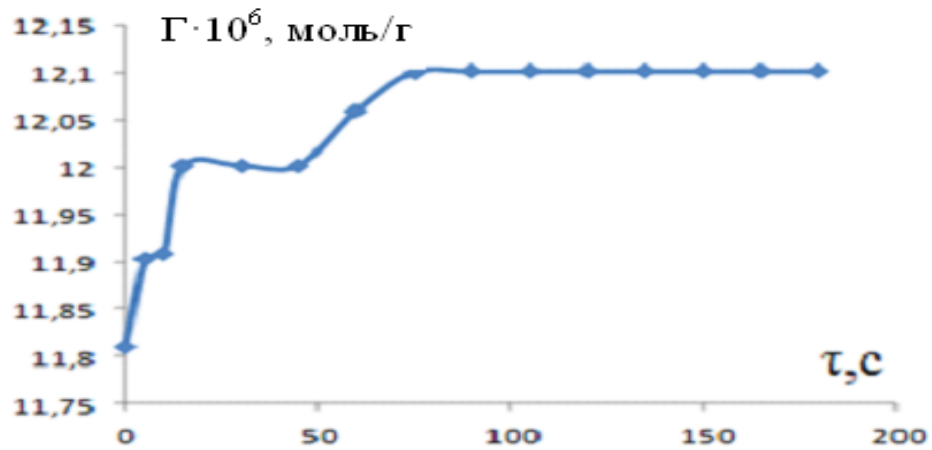
**Рисунок 4.23.** - График зависимости коэффициента адсорбции Образца № 2 от времени выдержки в сетке прибора



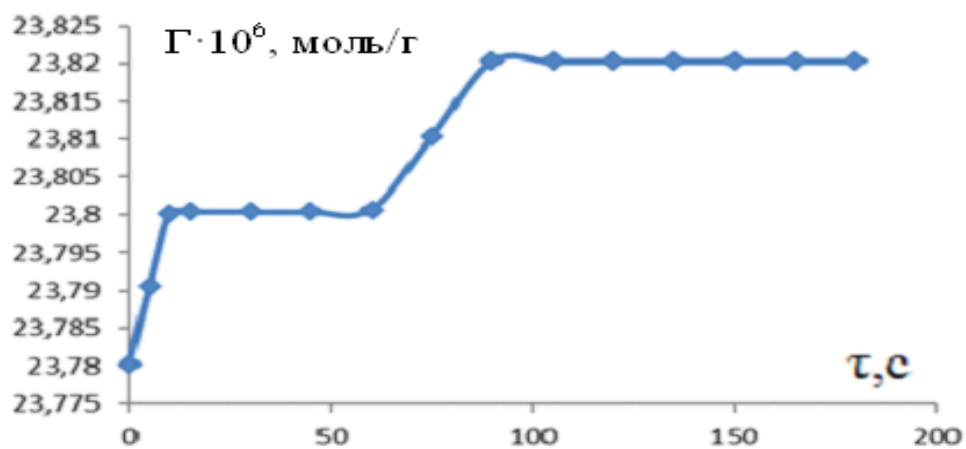
**Рисунок 4.24.** - График зависимости коэффициента адсорбции Образца № 3 от времени выдержки в сетке прибора



**Рисунок 4.25.** - График зависимости коэффициента адсорбции Образца № 4 от времени выдержки в сетке прибора



**Рисунок 4.26.** - График зависимости коэффициента адсорбции Образца № 5 от времени выдержки в сетке прибора



**Рисунок 4.27.** - График зависимости коэффициента адсорбции Образца № 6 от времени выдержки в сетке прибора

Как видно, из графиков, приведенных на рисунках 4.22 - 4.27, все графики имеют почти одинаковый ход. Данные графики напоминают процесс кристаллизации твердых тел.

#### **4.11. Анализ экспериментальных данных по теплопроводности растворов на основе нанопорошка гидразина**

Как показали результаты экспериментального исследования теплопроводности трехкомпонентных систем (этиленгликоль – вода – нанопорошок гидразина) с ростом параметров состояния (температура, давление) также

возрастает. Ранее уже отмечалось, что и движение и взаимодействие молекул в жидкостях представляет собой очень сложный процесс, зависящий от множества факторов. Хаотичное движение в них за счет теплового воздействия сочетается с наличием некоторого порядка, которое проявляется в результате сильной корреляции между молекулами жидкости. Перенос тепла движением молекул (кинетическая составляющая данного параметра, смотрите 4.3) в жидкостях вносит не большой вклад в значение  $\lambda$ . Данная составляющая во многом зависит от температуры и с ее ростом также увеличивается. Основной вклад в теплопроводность жидкостей вносит ее потенциальная составляющая, зависящая от взаимодействия молекул между собой. Повышение температуры влечет за собой разрушение ближнего порядка и соответственный переход жидкости в состояние плотного газа, поэтому и теплопроводность растет.

Подтверждением этому является закономерность, которая базируется на основе молекулярно – кинетической теории жидкостей. Благодаря влиянию внешнего давления жидкость хоть и незначительно, но все же сжимается, в следствие чего расстояние между молекулами сокращается, потенциал которых весьма чувствителен к изменению их расстояния между собой (минимум как  $r^{-6}$  для дисперсионных сил, притягивающей части потенциала Леннарда – Джонса и так далее). В связи с этим, даже при незначительном увеличении давления теплопроводность частично будет увеличиваться [86 - 87, 89, 101, 106, 107, 109, 113, 114, 125, 130, 131, 132, 134, 140].

Скорость звука обратно пропорциональна квадратичному корню от адиабатического модуля упругости (сжимаемости)

$$\vartheta = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)}, \text{ м/с} \quad (4.2)$$

где ,  $\partial P$  - изменение модуля упругости, Па,  $\rho$  – плотность растворов при различных параметрах состояния, ( $1 \text{ кг/м}^3$ ),  $\vartheta$  – скорость звука или скорость волны ( $1 \text{ м/с}$ ).

В общем виде зависимость  $\lambda$  от  $T$  и  $P$  по сути можно объяснить на основе концепции квазикристаллических моделей жидкости (например выражением (4.2)).

Установлено, что массовая доля молекул нанопорошка на значение коэффициента теплопроводности растворов влияет незначительно. В наших экспериментах по исследованию  $\lambda$  водных растворов этиленгликоля были использованы различные концентрации нанопорошка гидразина. Нами также было зафиксировано, что концентрационная зависимость теплопроводности данных растворов незначительна ( $\sim 7 - 9 \%$ ). Мы предполагаем, что такое поведение связано с тем, что макромолекулы нанопорошка не включаются в цепочку межмолекулярных взаимодействий, в так называемую «эстафету» переноса энергии взаимным влиянием молекул, которое является основополагающей для жидкостей.

В ряде работ [148, 149, 152] обнародованы результаты исследования теплопроводности полимерных растворов, согласно которым отмечен не большой ее рост с ростом концентрации полимера в растворе ( $\varphi$ ), зависимость которых устанавливается с помощью выражения:

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{(\lambda_1 - \lambda_0)\varphi}{b(1 - \varphi)}, \text{ Вт / (м}\cdot\text{К)} \quad (4.3)$$

где  $\lambda_0$  и  $\lambda_1$  - теплопроводность растворителя и полимера,  $b$  – эмпирическая константа. Скорее всего повышение теплопроводности раствора по мере роста концентрации полимера в нем связано с тем, что теплопроводность самого полимера значительно выше теплопроводности растворителя. В наших экспериментах в исследованных марках этиленгликоля и растворителя теплопроводность этиленгликоля несколько меньше теплопроводности бензола. Отсюда можно полагать, что для случая, когда ( $\lambda_s < \lambda_p$ ) знак  $b$  будет отрицательным ( $b < 0$ ).

В работе [149] также показано, что превышение концентрации более чем на 20 % относительно мало влияет на теплопроводность раствора, а температурная зависимость  $\lambda$  ( $T$ ) раствора имеет подобное поведение

температурной зависимости теплопроводности расплава полимера [106, 107, 109, 113, 114, 125, 130, 134].

Наши исследования показали, что макромолекулы порошка гидразина не столь значимо влияют на теплопроводность раствора. Скорее всего по нашему предположению такое поведение имеет место в связи с тем, что растворы разбавлены и концентрация порошка составляла не более  $\sim 0,4\%$ . Однако, наличие гидразина в растворе заметно влияет на характер  $\lambda(T)$ . Появление аномалий на кривых  $\lambda(T)$  является одним из подобных примеров [86, 87, 89, 101, 106 – 109, 113, 114, 125, 131].

Конечно, в растворе тепло также передаётся посредством молекул гидразина, но это в большей степени соответствует передачи тепла через многослойную стенку, т.е. жидкость – наночастица – жидкость, в каждом из слоев которой механизм передачи тепла отличается один от другого.

Наряду с тем, согласно сказанному, взаимодействие молекул растворителя и частиц гидразина происходит путем их столкновения. Каждое столкновение провоцирует импульс, который в свою очередь получают сегменты молекулы. Импульс пропорционален температуре системы и массе молекулы растворителя. Приобретая тепловое движение по итогам столкновения при повышенных значениях температуры сегменты макромолекул сворачиваются, что позволяет им перейти в другую пространственную конформацию. Известно, что переход в область с более высокой температурой, т.е. в так называемую «рыхлую» структуру сопровождается поглощением тепла, а это становится причиной возникновения «аномальной» области в зависимости  $\lambda(T)$  (таблицы 4.9 - 4.13 и рис. 4.9 - 4.11).

По этим причинам с повышением давления должно происходить смещение «аномальной» области в область с повышенной температурой, поскольку при повышенных давлениях способность сворачивания сегментов и «растекание» макромолекул усложняется, тем самым возникает необходимость в значительных импульсах, что требует более высоких температур.

Конечно, стоит отметить, что на устойчивость, строение структуры и другие физико - химические свойства растворов влияют множество факторов, включая способ их приготовления, как было отмечено ранее. Однако мы считаем, что способы приготовления растворов оказывают не большое влияние на их структуру и молекулы гидразина различной концентрации в растворе образуют непроницаемый клубок, в связи с чем и считаем, что они подчиняются одинаковым механизмам «растекания», перехода в новую конформацию сегментов.

#### 4.12. Влияние нанопорошка гидразина на изменение критерия Прандтля растворов на основе этиленгликоля и воды при атмосферном давлении и различных температурах

Согласно нашим экспериментальным работам и теоретической выкладке по теплофизическим свойствам исследуемых растворов ниже приведены соответствующие таблицы для растворов с внедрением наночастиц гидразина при различных температурах и атмосферном давлении (таблица 4.26) [106, 107, 109, 113, 114, 118, 122, 125].

**Таблица 4.26.** - Теплофизические свойства растворов системы этиленгликоля и воды с внедрением в них 0,4 % нанопорошка гидразина в зависимости от температуры при атмосферном давлении (№ 8 - (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ ) + 0,4 %  $N_2H_4$ )

Т, К	$\rho$ , кг/ м <sup>3</sup>	$\lambda, 10^3$ Вт/(м·К)	$\eta \cdot 10^3$ , Па·с	$\alpha \cdot 10^7$ м <sup>2</sup> /с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /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

Продолжение таблицы 4.26						
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

В таблице 4. 26, собраны результаты экспериментального исследования теплофизических свойств водных растворов этиленгликоля с добавлением нанопорошка гидразина (№ 8 - (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ ) + 0,4 %  $N_2H_4$ ), в частности представлены теплопроводность, плотность, динамическая вязкость, кинематическая вязкость и число Прандтля) при различных температурах и атмосферном давлении.

Располагая теплопроводностью, удельной изобарной теплоемкостью и плотностью изучаемых веществ получаем возможность рассчитать и их температуропроводность путем:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_p \rho}, \quad \text{м}^2/\text{с} \quad (4.4)$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $C_p$  - удельная изобарная теплоемкость, Дж / (кг·К);  $\rho$  – плотность исследуемых образцов (кг/м<sup>3</sup>).

Температурная зависимость данного параметра для этиленгликоля показана в столбце 8 таблицы 3.23. Используя экспериментальные значения плотности, коэффициента динамической вязкости и температуропроводности образцов нами был выполнен соответствующий расчет кинематической вязкости и числа Прандтля следующим образом:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \quad \text{м}^2/\text{с} \quad (4.5)$$

и

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}, \quad (4.6)$$

где  $\eta$ - коэффициент динамической вязкости, (Па с);  $\rho$  – плотность, (кг/м<sup>3</sup>);  $\alpha$ - температуропроводность (м<sup>2</sup>/с) изучаемых веществ при разных давлениях и температуре, результаты расчетов по уравнениям (4.5) и (4.6) собраны в таблице 4.26 (столбцы 5 и 6).

## Выводы по четвертой главе

1. Результаты исследований показали, что добавка нанопорошка гидразина в раствор на графике концентрационной зависимости показывает рост теплопроводности и спад плотности, динамической и кинематической вязкости в соответствии с законом прямой линии.
2. Полученные результаты по итогам экспериментов указывают на температурную зависимость роста теплопроводности и соответствующее уменьшение плотности образцов, что не имеет противоречия с существующими теориями.
3. Используя численный метод (метод профессора Г.Н. Дульнева с теорией Максвелла) был установлен удовлетворительный результат его применения для расчета ТФС опытных образцов.
4. 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%.
5. На основе экспериментов установлено, что добавление 0.4% нанопорошка гидразина в водный раствор этиленгликоля (30% этиленгликоль + 70% вода) в интервале температуры 280 – 363 К теплопроводность растет на 13,75 %, а температуропроводность растет на 6,6%.
6. Установлено, что при изменении температуры от 280 до 363 К, температуропроводность растет на 7,06 %, а критерий Прандтля уменьшается в целых 66,7 раз.



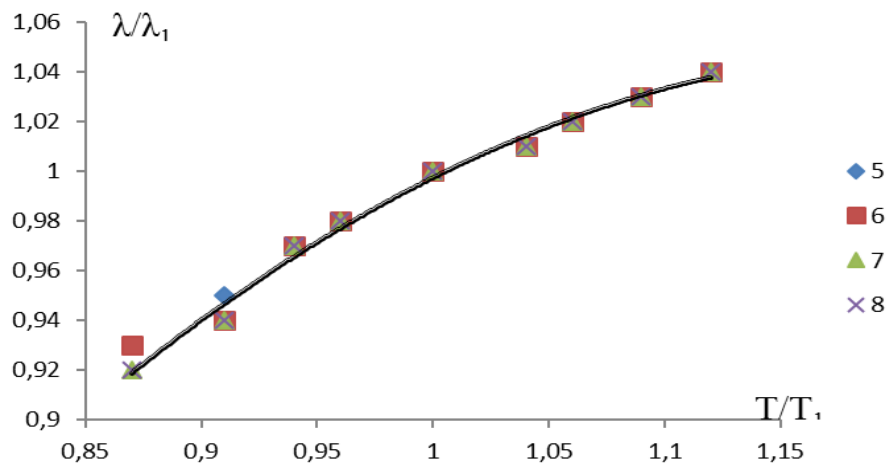
## Глава 5. АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМ И РЕОЛОГИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ РАСТВОРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ СОСТОЯНИЯ

### 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 [4, 12, 13, 44, 45, 49, 55, 104, 105, 106 – 109, 113, 115, 120, 125, 131, 145].

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (5.1)$$

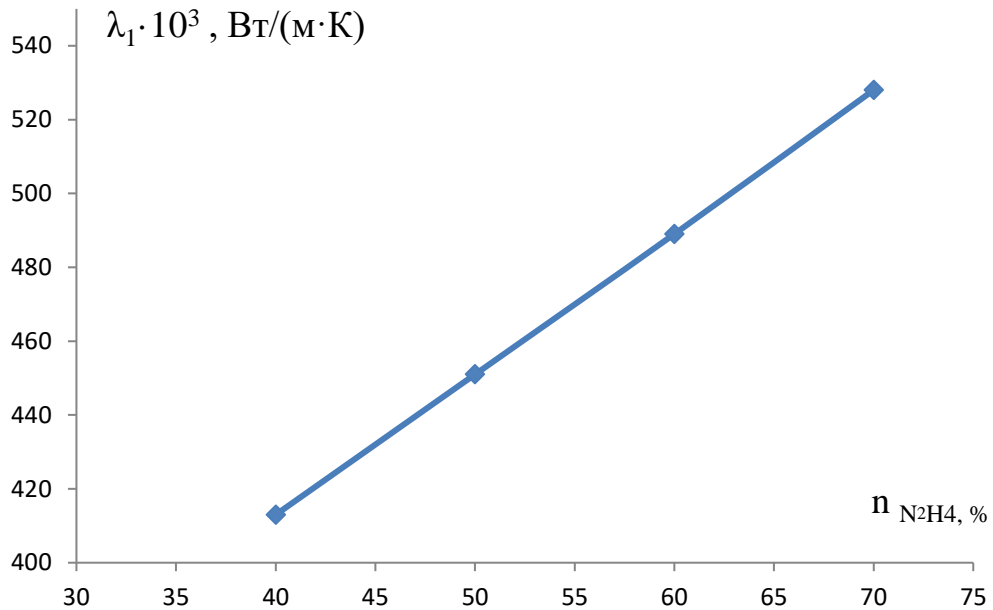
где,  $\lambda$  и  $\lambda_1$  - коэффициент теплопроводности исследуемых образцов при различных температурах  $T$ , К и  $T_1$ , К;  $T_1 = 323$  К.



**Рисунок 5.1.** - Относительная теплопроводность ( $\lambda/\lambda_1$ ) опытных образцов в зависимости от температуры ( $T/T_1$ ), также в относительной форме:  
Примечание: № 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 %  $H_2O$ )

Выполнимость данной графической зависимости (рис 5.1) представлена в виде выражения 5.2.

Путем соответствующего анализа было установлено, что  $\lambda_1$  являются значениями, характеризующими концентрацию гидразина в растворе (рис 5.3) [142, 143]:



**Рисунок 5.2.** - Зависимость  $\lambda_1$  образцов от концентрации нанопорошка гидразина ( $n$ )

Кривая (рисунок 5.1), имеет следующее выражение [55, 104, 105, 106, 109, 113, 115, 120, 125, 130, 131, 134].

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = \left[ -1,073 \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 + 2,613 \left( \frac{T}{T_1} \right) - 0,542 \right] \quad (5.2)$$

а прямая (рисунок 5.2), имеет вид:

$$\lambda_1 = (3,83n^2 + 259,6)10^{-3}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad (5.3)$$

при соответствующей подстановке получим:

$$\lambda = \left[ -1,073 \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 + 2,613 \left( \frac{T}{T_1} \right) - 0,542 \right] (3,83n^2 + 259,6) 10^{-3}, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (5.4)$$

Полученное уравнение (5.3) служит для численного определения теплопроводности образцов (№ 5, № 6, № 7, № 8) при различных температурах и концентрации воды с погрешностью около 3,29 % (таблица 5.1).

**Таблица 5.1.** - Сравнение вычисленных значений по коэффициенту теплопроводности с экспериментальными данными растворов на основе этиленгликоля и концентрации нанопорошка гидразина при различных температурах и атмосферном давлении

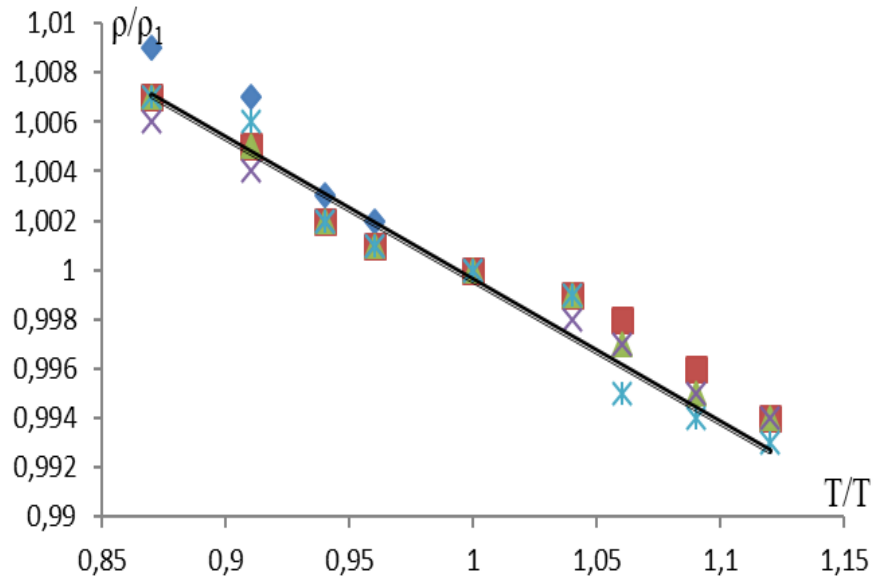
Т, К	280	293	303	310	323	333	343	363
$\lambda \cdot 10^{-3}, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ эксперимент.	382	391	399	406	413	418	421	428
$\lambda \cdot 10^{-3}, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ расчёт по форм. (5.3)	358	379	389	399	412	428	436	456
$\Delta, \%$	6,7	3,07	2,7	1,7	0,24	2,33	3,44	6,1
Среднее значение погрешности расчета уравнением (5.3), %	3,29							

## 5.2. Данные опытных исследований плотности изучаемых растворов и их обработка

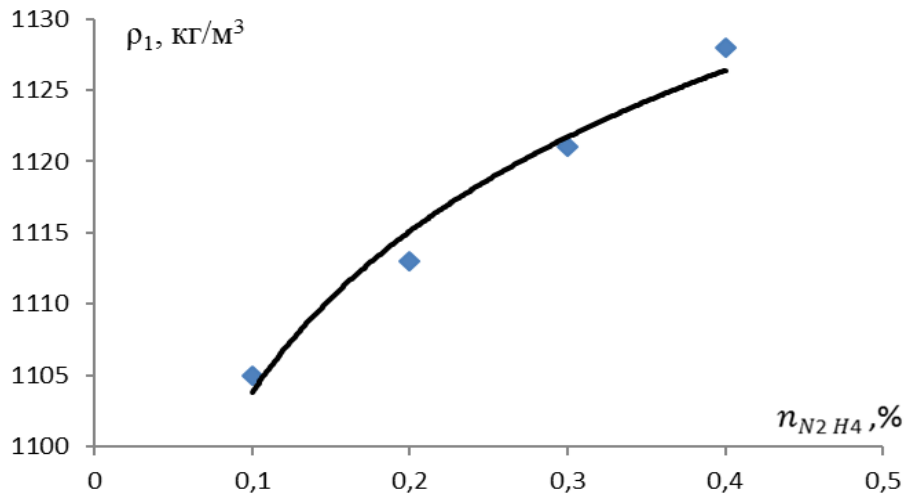
Результаты опытного исследования плотности образцов при атмосферном давлении и разных температурах были обобщены следующим образом [4, 12, 13, 44, 45, 49, 55, 104, 105, 106, 109, 113, 115, 120, 126, 127, 145]:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right) \quad (5.5)$$

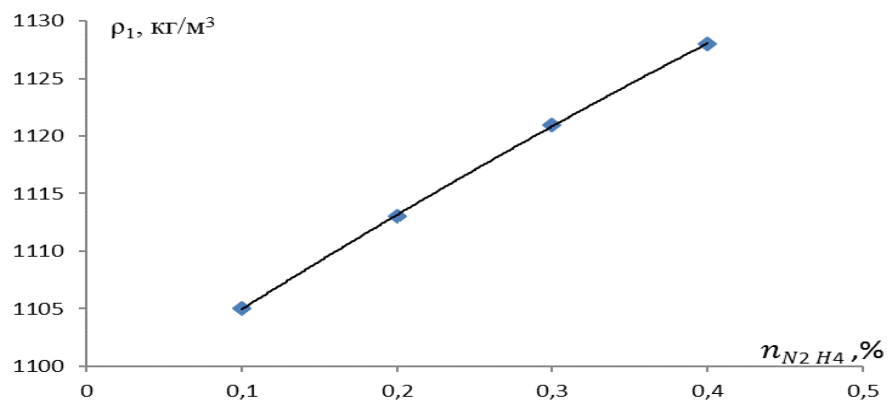
где,  $\rho$  и  $\rho_1$  - плотность опытных образцов при различных температурах Т, К и  $T_1$ , К соответственно;  $T_1 = 323$  К.



**Рисунок 5.3.** - Относительная плотность ( $\rho/\rho_1$ ) опытных образцов в зависимости от температуры ( $T/T_1$ ), также в относительной форме



(а)



(б)

**Рисунок 5.4.** - Зависимость  $\rho_1$  от концентрации нанопорошка гидразина ( $n$ ).

На основе графоаналитической обработки данных по плотности растворов системы этиленгликоля, воды и нанопрошка гидразина с учетом эмпирических уравнений, представленных на рисунках 5.3 и 5.4 (а, б) получили общую аппроксимационную зависимость в следующем виде [106, 107, 110, 111, 112, 115, 118, 122, 125, 128, 130]:

$$\rho = \left[ -0,057 \left( \frac{T}{T_1} \right) + 1,057 \right] \cdot [16,294 \ln(n_{N_2H_4}) + 1141,3], \text{ кг/м}^3 \quad (5.6)$$

$$\rho = \left[ -0,057 \left( \frac{T}{T_1} \right) + 1,057 \right] \cdot [-25(n_{N_2H_4})^2 + 89,5(n_{N_2H_4}) + 1096,2], \text{ кг/м}^3 \quad (5.7)$$

**Таблица 5.2.** - 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

Т, К	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 форм. (5.6)	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 уравне- нием (5.6), %	0,09							

Используя (5.5 и 5.6) 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 5.2).

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

Результаты опытного исследования динамической вязкости образцов при атмосферном давлении и разных температурах выполнено так. [4, 12, 13, 44, 45, 49, 104, 105, 106, 107, 112, 113, 118, 119, 122, 124, 125, 127, 130, 136]:

$$\frac{\eta}{\eta_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (5.8)$$

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

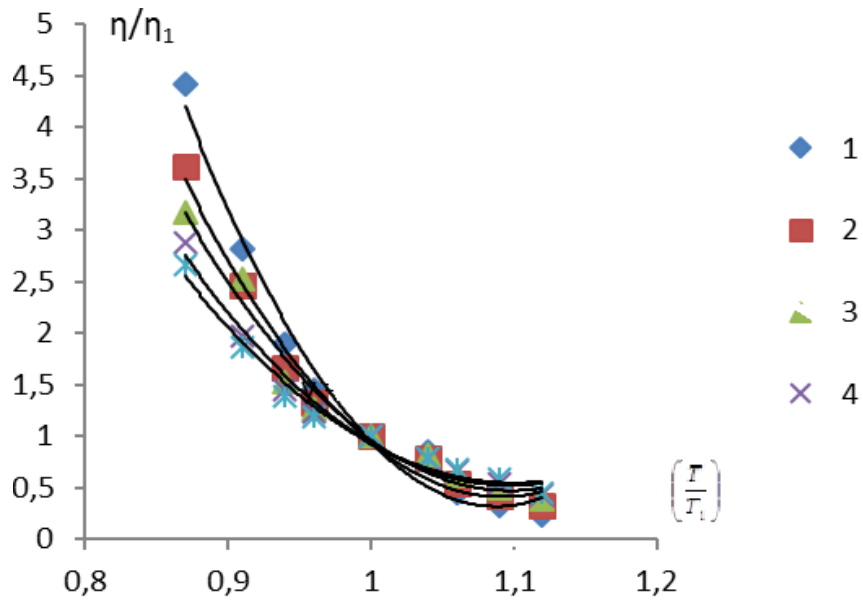
Выполнимость (5.7) графически изображена на рисунке 5.5, согласно которому все данные соответствуют своей общей кривой.

Кривая рисунка 5.3 имеет следующее уравнение [4, 12, 13, 44, 45, 49, 104 - 107, 109, 113, 115, 118, 122, 125, 127 -130, 136]:

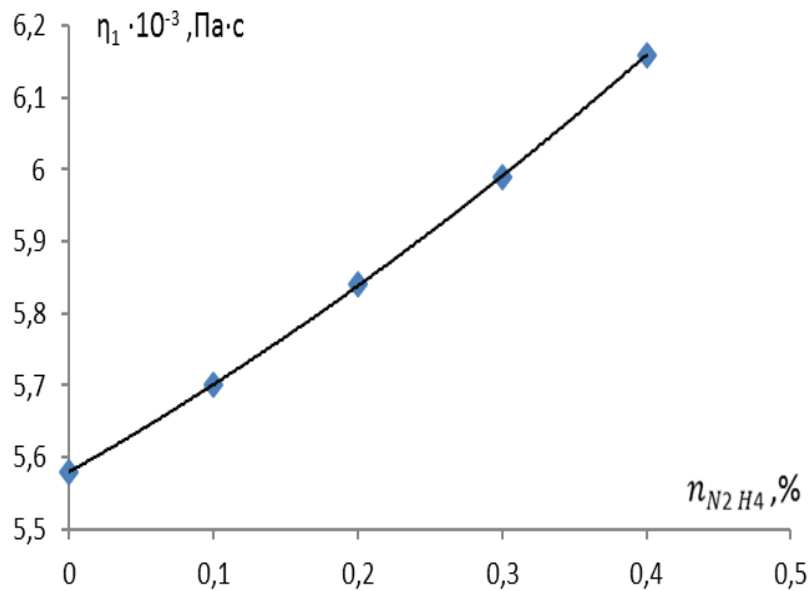
$$\frac{\eta}{\eta_1} = \left[ A \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 - B \left(\frac{T}{T_1}\right) + C \right]. \quad (5.9)$$

здесь  $A$ ,  $B$  и  $C$  коэффициенты, значения которых приведены на рисунке 5.5.

Анализом  $\eta_1$  было установлено, что оно носит концентрационный характер изменения нанопорошка гидразина в водном растворе этиленгликоля (рисунок 5. б).



**Рисунок 5.5.** - Относительная динамическая вязкость  $\left(\frac{\eta}{\eta_1}\right)$  растворов этиленгликоля и воды с добавкой нанопорошка гидразина от относительного изменения температуры опыта  $T/T_1$ : 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 5.6.** - Зависимость  $(\eta_1)$  образцов от концентрации нанопорошка гидразина в водном растворе этиленгликоля

Для кривой на рисунке 5.4, было получено следующее уравнение:

$$\eta_1 = \left[ 0,8757 (n_{N_2H_4})^2 + 1,1357 (n_{N_2H_4}) + 5,5797 \right] 10^{-3}, \text{Па} \cdot \text{с} \quad (5.10)$$

Подставив уравнение (5.9) в (5.8) получим [4, 12, 46, 49, 51, 58, 93, 96, 103, 105, 106, 111, 112, 130, 142]:

$$\eta = \left[ A \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 - B \left( \frac{T}{T_1} \right) + C \right] \cdot \left[ 0,7857 (n_{N_2H_4})^2 + 1,1357 (n_{N_2H_4}) + 5,5797 \right] 10^{-3}, \text{Па} \cdot \text{с} \quad (5.11)$$

Таким образом, полученное выражение (5.10), 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 % (таблицы 5.1 - 5.5), а для некоторых точек погрешность составляет до 15,6 %.

**Таблица 5.3.** - Сравнение расчетных значений с экспериментальными данными по динамической вязкости растворов (№ 8 - (30 %  $C_2H_6O_2$  + 70 %  $H_2O$ ) + 0,4 %  $N_2H_4$ ) при различных температурах и давлении  $p = 14,42$  МПа

T, К	280	293	303	310	323	333	353	363
$\eta \cdot 10^{-3}, \text{Па} \cdot \text{с}$ эксперимент.	18,89	15,73	10,49	8,38	7,33	6,32	2,49	2,69
$\eta \cdot 10^{-3}, \text{Па} \cdot \text{с}$ расчёт по форм. (5.10)	19,87	14,099	10,5	8,52	6,34	5,78	2,3	2,5
$\Delta, \%$	4,92	11,6	0,09	2,38	15,6	9,3	7,6	7,1
Среднее значение погрешности расчета по уравнению (5.10), %	7,32							

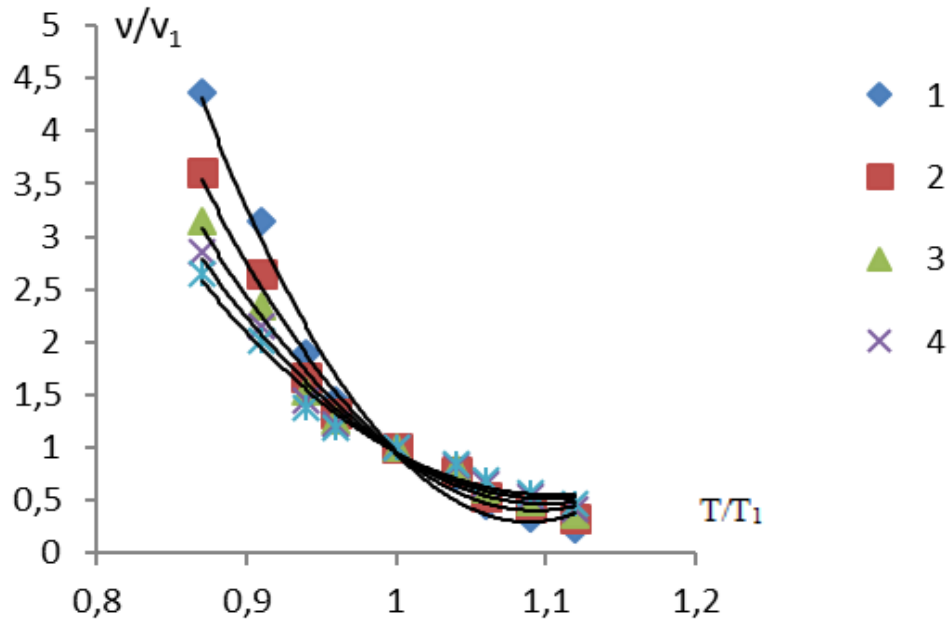


#### 5.4. Обработка экспериментальных данных по кинематической вязкости растворов на основе этиленгликоля с различной концентрацией нанопорошка гидразина

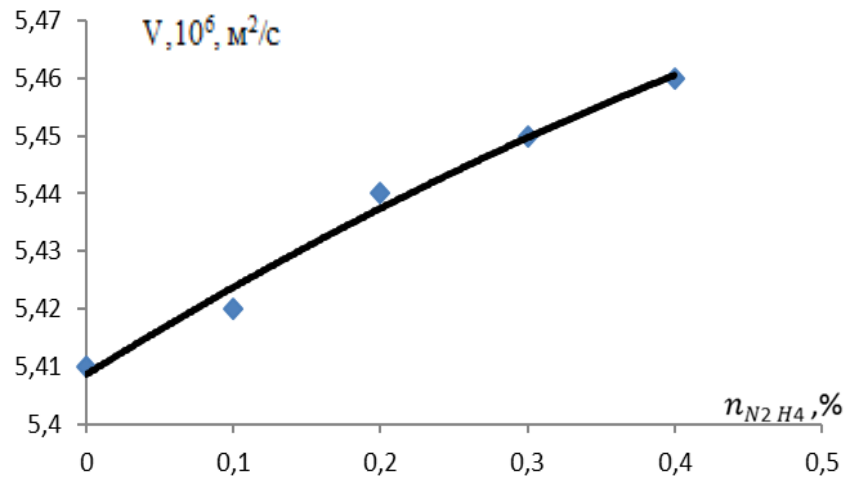
Результаты расчетного исследования кинематической вязкости образцов при атмосферном давлении и разных температурах были обобщены следующим образом [4, 12, 13, 44, 45, 49, 104, 105, 111, 116, 127, 130, 136]:

$$\frac{\nu}{\nu_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (5.12)$$

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



**Рисунок 5.7.** - График зависимости относительного коэффициента кинематической вязкости  $\left(\frac{\nu}{\nu_1}\right)$  растворов этиленгликоля и воды с внедрением в них нанопорошка гидразина от относительной 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 5.8.** - Зависимость коэффициента кинематической вязкости ( $\nu_1$ ) растворов при ( $T_1 = 323 \text{ К}$ ) от концентрации нанопорошка гидразина

$$\nu = \left[ A \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 - B \left( \frac{T}{T_1} \right) + C \right] \cdot \left[ -0,0714 (n_{N_2H_4})^2 + 0,1586 (n_{N_2H_4}) + 5,4086 \right] 10^{-6}, \text{ м}^2 / \text{с} \quad (5.13)$$

Таким образом, полученное выражение (5.12), 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 % (таблицы 5.1 - 5.5), лишь для некоторых точек она доходит до 18 % (таблица 5.4).

**Таблица 5.4.** - Сравнение расчетных значений с экспериментальными данными по кинематической вязкости растворов (№8 - (30 %  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$  + 70 %  $\text{H}_2\text{O}$ ) + 0,4 %  $\text{N}_2\text{H}_4$ ) при различных температурах и давлении  $p = 14,42 \text{ МПа}$ .

T, К	280	293	303	310	323	333	353	363
$\nu \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ эксперимент.	14,46	11,00	7,54	6,50	6,46	4,91	3,75	3,12
$\nu \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ расчёт по форм. (5.12)	16,09	10,22	8,1	7,3	7,05	6,01	3,58	3,28

Продолжение таблицы 5.4								
$\Delta, \%$	10,1	7,6	6,91	10,9	8,4	18,3	4,75	5,1
Среднее значение погрешности расчета уравнением (5.12), %	9,01							

## 5.5. Применение уравнения Тэйта к различным классам веществ в конденсированном состоянии и обзор

### 5.5.1. Уравнение состояния идеальных и реальных газов

Существует бесчисленное количество уравнений состояния, однако на сегодня не известно уравнение, отвечающее требованиям универсальности.

К примеру возьмем уравнение Клапейрона – Менделеева которое можно применить лишь для той категории газов, которые находятся под воздействием незначительных давлений, т.е. для идеальных газов [4, 12, 13, 44, 45]:

$$PV = \nu RT, \quad (5.14)$$

где  $P$  – давление,  $V$  – объем,  $\nu$  – количество вещества,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – абсолютная температура.

Известно, что состояние реальных газов от идеальных отличаются, следовательно с его помощью не возможно описать состояние реального газа. После долгих исследований Ван - дер - Ваальсом было предложено уравнение состояния для реальных газов, для чего им были внесены надлежащие поправки в предложенное ранее уравнение Менделеева – Клапейрона. Внесенные поправки учитывали размеры молекул и межмолекулярное взаимодействие [4, 12, 13, 44, 45, 49, 55, 77, 96, 98 - 105]:

$$\left( p + \nu^2 \frac{a}{v^2} \right) \cdot (v - \nu b) = \nu RT, \quad (5.15)$$

где  $a$  и  $b$  – поправки на силы притяжения и размеры молекул соответственно.

Однако данное уравнение также является приближенным. Поэтому значительное количество исследователей используют эмпирические либо полуэмпирические уравнения, в большинстве случаев позволяющие получить необходимый результат для определенной категории веществ. Например уравнения Тэйта, Марнегхена, Хадлестона, Берча, Ахундова - Мамедова, Сафарова и др. [4, 12, 13, 44, 45, 49, 98, 136 - 151]. Наиболее часто применяемым является уравнение типа Тейта [4, 12, 13, 44, 45, 49, 98, 136 - 151].

### 5.5.2. Уравнение состояния типа Тейта для расчета кинематической вязкости исследуемых растворов

В 1888 году, при исследовании плотности морской воды при давлениях до 50 МПа Тэйтом было предложено [4, 12, 13, 44, 45, 49, 98, 111, 127, 130, 136 -152]:

$$\frac{V_0 - V}{PV_0} = \frac{C}{\Pi + P} \quad (5.16)$$

где  $V_0$  – объем вещества, находящегося при атмосферном давлении и температуре  $T$ ,  $V$  – объем вещества при давлении  $P$  и той же температуре  $T$ ,  $C$  и  $\Pi$  – параметры не зависящие от давления.

Позднее было доказано [4, 12, 13, 44, 45, 49, 98, 136 - 151], что уравнение пригодно лишь до 300 МПа для воды и более 100 МПа для органических жидкостей.

Тамман [44, 78, 99 - 105, 149] предложил переработанную версию уравнения Тейта:

$$-\frac{1}{v_0} \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial p} \right)_T = \frac{A}{B + P}, \quad (5.17)$$

где  $A$  и  $B$  – параметры, которые не зависят от давления, но не лишены зависимости от температуры.

Проинтегрировав (5.17) получим [44, 78, 99 - 105, 136, 146]:

$$v = v_0 \cdot \left(1 - A \cdot \ln\left(\frac{B + P}{B + P_0}\right)\right), \quad (5.18)$$

где  $P_0$  – атмосферное давление.

Уравнение является наиболее удобным при изменяющемся давлении и плотности вещества [4, 12, 13, 44, 45, 47, 49, 55, 56, 58, 78, 98, 99 – 105, 111, 127]:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - A \cdot \ln\left(\frac{B + P}{B + P_0}\right)}, \quad (5.19)$$

где  $\rho_0$  – плотность при атмосферном давлении  $P_0$  и температуре  $T$ ,  $\rho$  – плотность при некотором давлении  $P$  и температуре  $T$ .

На сегодняшний день предлагается целый ряд модификаций уравнения Тэйта [4, 12, 13, 44, 45, 47, 49, 55, 56, 58, 78, 85, 99 – 105, 127], однако каждые из них применимы для определенной категории веществ и для другого класса они не пригодны в силу специфических свойств, присущих каждому веществу. Однако несмотря на многочисленность исследовательских работ, направленных на использование модельных [4, 12, 13, 44, 45, 47, 49, 55, 56, 58, 78, 85, 95 - 105] и статистических теорий, ни в одной из них нет описания физического смысла параметров  $A$  и  $B$ . Одни [4, 12, 13, 44, 45, 47, 49, 55, 56, 58, 78, 85, 95-105, 127] предполагают, что  $A^{-1}$  является мерой крутизны сил отталкивания, однако в большинстве случаев параметр  $A$  принимают в качестве постоянной величины. Следует также отметить и тот факт, что даже один и тот же класс веществ при изменении параметров состояния не может обладать одинаковыми силами отталкивания. Другая группа ученых - исследователей [4, 12, 13, 44, 45, 47, 49, 55, 56, 58, 78, 85] придерживаются того мнения, что  $A$  представляет собой первое координационное число.

Разные мнения существуют и касательно физического смысла параметра  $B$ . Р. Гинелл и А. Гинелл [136 - 138] считают, что  $B = -P_{кр}$  при  $T = T_{кр}$ . Атанов [146 - 150] полагает, что  $B = 3 P_{кр}$  при  $T = T_{кр}$ . Нис и Ск-

вайер [56 - 59] считают, что  $B = P_1$ . Авторы [57 - 59, 136 - 144] полагают, что является параметром  $B$ , который является пропорциональным энергии взаимного влияния между молекулами изучаемого вещества.

Также нет однозначного мнения по поводу зависимости этих коэффициентов от параметров состояния. Единственное, что известно, это тот факт, что с ростом температуры значение параметра  $B$  уменьшается. Рост температуры, от которого зависит уменьшение значения параметра  $B$ . Также остается спорным вопросом. Одни предполагают, что уменьшение носит гиперболический характер [4, 12, 13, 44, 45, 55, 56, 58, 78, 85, 126, 137-143] другие считают, что экспоненциальный [104], а третьи утверждают, что степенной [105].

Нет однозначности и касательно температурной зависимости параметра  $A$ . Большинство исследователей [56 - 59, 100 -105, 135 - 142] считают, что этот параметр не имеет температурную зависимость, а всего лишь является постоянно для категории жидкостей с одинаковым строением молекул. Так, для линейных углеводородов [136- 143]  $A = 0,091$ , для циклических [101, 144]  $A = 0,095$ .

Однако, более поздние работы привели ученых к таким выводам, что этот параметр не только может, но и должен зависеть от температуры. [4, 12, 13, 44, 45, 56, 78, 127, 138 – 144].

В работе [141, 142] изложены результаты исследований свойств трехкомпонентных растворов, основанных на методе сильфонного пьезометра  $P - V - T$ . Растворы были приготовлены путем добавления 0,2, 0,4, 0,6 и 0,8 мольных долей  $n$  - додекана к двухкомпонентному раствору 0,6  $n$  - гептана + 0,4  $n$  - гексадекана. Исследования выполнены в диапазоне температуры (313 – 453) К и давления (0,1 – 245) МПа.

Согласно опытам  $P - V - T$  данные двух - и трехкомпонентных растворов, также как и чистых компонентов, хорошо описываются уравнением Тейта [4, 12, 13, 44, 45, 56, 78, 127, 138 – 144]:

$$(V - V_0) = -AV_0 \ln \left[ \frac{B+P}{B+P_0} \right] \quad (5.20)$$

В данном случае, согласно предположениям авторов, параметр А не имеет температурной зависимости и с погрешностью 0,8% его можно принять равным 0,091, аналогично и для чистых компонентов. Что же касается параметра В, его значение с ростом температуры становится меньше, однако повышение концентрации додекана в тройном растворе способствует росту значения данного параметра.

С учетом сказанного можно утверждать, что предложенный переработанный вариант уравнения Тейта в виде (5.16), пригодно для описания этилена в жидкой фазе.

### 5.5.3. Уравнение типа Тейта в изучении жидких кристаллов

Авторами [4, 12, 13, 44, 45, 55, 56, 59, 78, 85, 138 - 143] были предприняты попытки в исследовании МБА (метоксибензилиден – п – бутиланилин) с применением уравнения типа Тейта:

$$\frac{V_0 - V}{V_0} = C \cdot \log \left[ \frac{B+P}{B+P_0} \right] \quad (5.21)$$

Изотропная (ИФ) и нематическая фазы (НФ) были исследованы по отдельности, из - за резкого изменения по плотности. Здесь параметр В считается линейной функцией температуры [4, 12, 13, 44, 45, 55, 56, 59, 78, 85, 138 - 143].

$$A = A_c \cdot \left[ 1 + \left( \frac{T_{cE}}{T_c} \right)^{e^2} \cdot \sqrt{\frac{T_c - T}{T_c}} \right] \quad (5.22)$$

$$B = B_c \cdot \left[ 1 + 3 \cdot \left( \frac{T_{cE}}{T_c} \right)^{6-nM^2} \cdot \left( \frac{T_c - T}{T_c} \right)^{1/\sqrt{e}} \right] \quad (5.23)$$

где  $A_c$  и  $B_c$  – являются параметры  $A$  и  $B$  исследуемой смеси в точке просветления под влиянием атмосферного давления,  $T_c$  – температура просветления данного раствора,  $A_{c0}$  и  $B_{c0}$  – параметры  $A$  и  $B$  в точке просветления для ЭББА,  $T_{c0}$  – температура просветления ЭББА,  $n_m$  – концентрация МББА в растворе,  $e$  – основание натурального логарифма.

Согласно результатам, можно заключить о том, что с помощью уравнения Тейта можно вычислить  $P - \rho - T$  свойства НЖК в большом диапазоне изменения давления, несмотря на расположение данными в небольшой области изменения параметров состояния. Что касается температурной зависимости, то прогнозирование затруднено в силу отсутствия экспериментального подтверждения закономерности изменения данных параметров от температуры.

Следует отметить, что новым вариантом уравнения типа Тейта (5.18 - 5.19) также воспользовались профессор Сафаров М.М. и его ученики. Они его успешно применили для расчета плотности, теплопроводности, а также и вязкости водных растворов гидразина, простых эфиров и растворов растительных масел [104, 105, 127].

Коэффициенты, приведенные в работах обобщены в виде графических зависимостей, на основе которых получены эмпирические выражения, позволяющие численно рассчитать плотность, вязкость и теплопроводность перечисленных веществ.

#### **5.5.4. Применение уравнение состояния типа Тэйта для численных расчетов коэффициента динамической вязкости исследуемых растворов**

Динамическую вязкость жидкостей можно определять как экспериментально, так и численно. Лаборатория теплофизики нашего университета располагает опытной установкой, с помощью которой при различных температурах и атмосферном давлении можно экспериментально опреде-



лить динамическую вязкость жидкостей. Не всегда есть возможность при высоких давлениях исследовать настоящий параметр. Таким образом, используя значения по коэффициенту динамической вязкости и плотности (таблица 3.4) при различных температурах и атмосферном давлении с помощью модифицированного уравнения Тейта нами был произведен расчет динамической вязкости системы этиленгликоля [4, 12, 13, 44, 51, 58, 59, 136 - 143].

Несмотря на высокую подвижность молекул жидкости, ее сжатие при значительных давлениях можно осуществить. Известно, что изменение объема прямо пропорционально изменению давления [104, 105, 127].

$$\frac{\Delta V}{V} \sim -\Delta P \quad (5.24)$$

Коэффициент сжимаемости. Сжимаемость –  $x$  представляет собой отношение изменения объема к изменению давления, ставшим причиной данного изменения [4, 12, 13, 44, 45, 58, 84, 96, 99 –105, 106 - 112].

$$x = -\frac{\Delta V}{V \cdot \Delta P}, 1/\text{Па} \quad (5.25)$$

X	Коэффициент сжимаемости жидкости, 1/Па	
V	Объём жидкости	м <sup>3</sup>
ΔV	Изменение объёма жидкости при изменении давления	м <sup>3</sup>
ΔP	Изменение давления	Па

по определению коэффициента сжимаемости

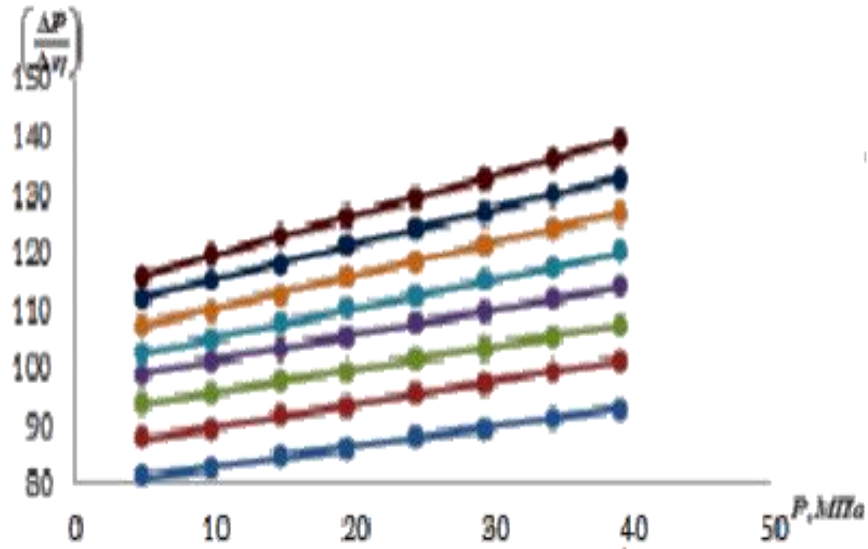
$$\Delta V = -X \cdot \Delta P \cdot V \quad (5.26)$$

или в дифференциальной форме

$$dV = -X \cdot dP \cdot V \quad (5.27)$$

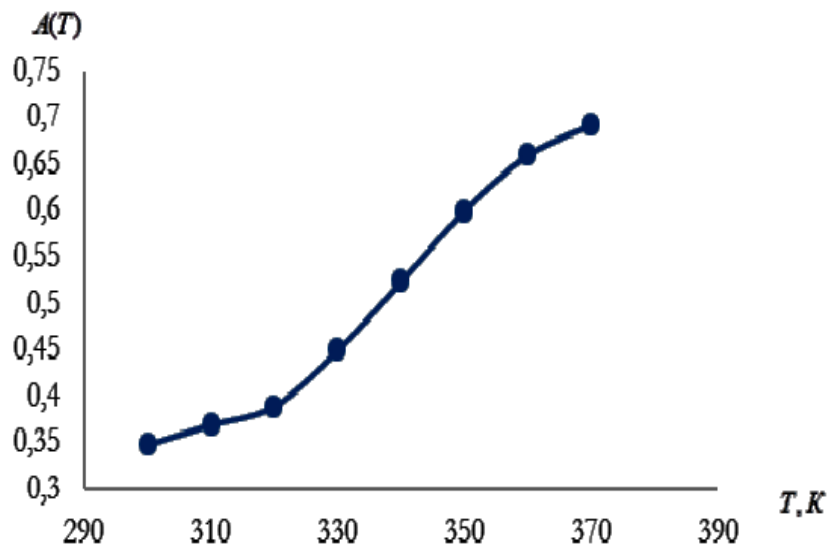
Поскольку для большинства случаев наблюдается его незначительное изменение, то им можно пренебречь. Минус в результатах свидетельствует

о росте давления при уменьшении объема и наоборот. Сжимаемость практически не зависит от температуры и давления.

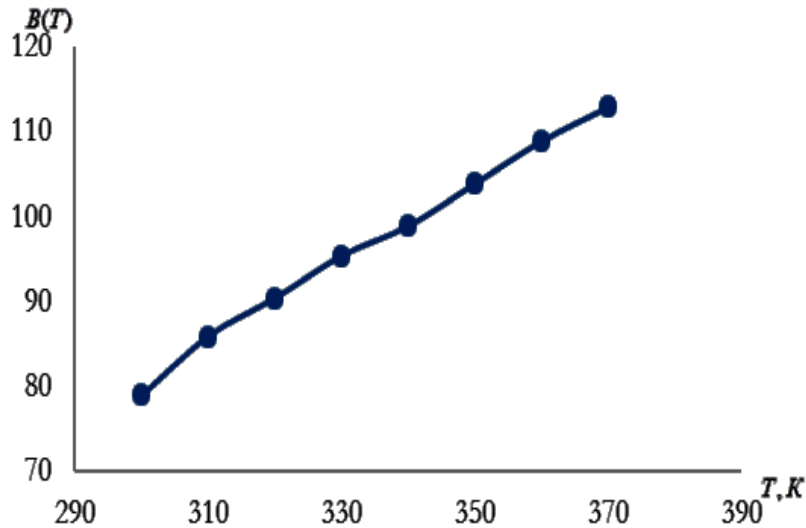


**Рисунок 5.9** -Зависимость  $(\Delta P/\Delta \eta)$  от давления ( $P$ , МПа) для исследованных растворов

Результаты, показали, что повышение температуры во всех исследованиях способствует уменьшению параметра  $B(T)$  (рис. 5.11), а параметр  $A(T)$  (рис. 5.10) имеет сложную зависимость от температуры.



**Рисунок 5.10** - Зависимость  $A$  от температуры опыта для исследованных растворов



**Рисунок 5.11** - Зависимость параметра В в уравнении Тейта от температуры опыта для исследованных растворов

Применив выражение (5.19) для расчета плотности жидких простых эфиров, водных растворов гидразина, фенилгидразина авторы [4, 12, 13, 44, 45, 47, 49, 55, 56, 99 - 105] представили полуэмпирическое уравнение в следующем виде:

Для водных растворов гидразина [4, 12, 13, 44, 45, 58, 75, 85, 99 - 105, 127]:

$$p = \frac{p_0}{\left[1 - (2,36T/T_1 - 0,96) \cdot (-5,59 \cdot 10^{-6} n_{H_2O}^2 + 5,97 \cdot 10^{-4} n_{H_2O} + 5,8 \cdot 10^{-3})\right]} = \frac{1}{\ln \left[ \frac{(0,32T/T_1 + 0,644) \cdot (-126n_{H_2O}^2 + 9,5 \cdot 10^3 n_{H_2O} + 7,51 \cdot 10^3) + p}{(0,32T/T_1 + 0,644) \cdot (-126n_{H_2O}^2 + 9,5 \cdot 10^3 n_{H_2O} + 7,51 \cdot 10^3) + p_0} \right]} \quad (5.28)$$

Уравнение (5.26) позволяет получить численные данные по плотности жидких простых эфиров, водных растворов гидразина и фенилгидразина в интервале температур  $T = (290 - 550)$  К и давлений  $P = (9,8 - 98,01)$  МПа с удовлетворительной согласованностью с экспериментально полученными данными со средней погрешностью  $0,5 - 3,6$  %.

### **Выводы по пятой главе**

Используя теплофизические свойства, полученные в соответствующих экспериментах и закон термодинамического подобия впервые получены эмпирические зависимости для численного определения теплопроводности, плотности, динамической и кинематической вязкости изученных растворов при различных температурах и концентрациях нанопорошка гидразина.

На основе уравнения типа Гейта с применением экспериментальных значений по плотности динамической и кинематической вязкости изучаемых образцов нами было выведено эмпирическое уравнение для расчета данных параметров не только при различных температурах, но и при различных давлениях.

## 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  $T = 363$  К,  $P = 14.42$  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 14,42 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 ( $\sigma_{\overline{Cp}} = 4,5$  %) и

кинематическую вязкость  $\sigma_{\text{ср}} = 3,5$  % 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 интервале 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 технологических и термодинамических процессов, а также в качестве справочных данных и в учебном процессе (акты внедрения прилагаются).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. Греков, А.П. Физическая химия гидразина. / А.П. Греков, В.Я. Веселов. // Киев: Наукова думка, 1979. –264 с.
2. Картавченко, А.В. Разработка каталитического пакета разложения низкотемпературного топлива (типа гидразингидрата) для глубоко - водного аппарата «Океан» /А.В. Картавченко, В.М. Григорьев, В.А. Дидык. // НПО ГИПХ, 1987. Инв. № 53 – 87. –28 с.
3. Патент. 3732694 (США). Metod for catalytic decomposition of monopropellant hydrazine / Blumenthal J.L., Guth E.D. – Оpubл. 15.05.73.
4. Зарипова, М.А. Теплофизические и термодинамические свойства водных растворов гидразина и фенилгидразина / Мохира Абдусаломовна Зарипова // Дисс..... к.т.н., Душанбе - 2006. - 154с.
5. Коровин, Н.В. Гидразин. / Н.В. Коровин. // – М.: Химия, 1980.–272с.
6. Захаров, А.Г. Транспортная космическая система. / А.Г. Захаров, Ю.К. Казаров. // – М.: ВИНТИ, 1976. – 248 с. – (Итоги науки и техники: Сер. Ракетостроение. Т. 7).
7. Pannetier, G. Diagrammes de Solidification et masses volumiques de melanges azoture d'hydrazinium - hydrazines deversement hydrates. / G. Pannetier, F. Margineanu. // Bull.Soc. Chem.France. – 1972. – N 10.– P. 3725 – 3728.
8. Сарнер, С. Химия ракетных топлив. / С. Сарнер //–М.: Мир, 1969.– 488с.
9. Chang, E.T. Thermodynamic properties of gases in propellants. II. Solubilities of helium, nitrogen and argon gas in hydrazine, methylhydrazine. / E.T. Chang, N.A. Gokcen, T.M. Poston. // J. Phys. Chem.–1968.–V.72, N 2.–P.638– 642.
10. Штехер, М.С. Топлива и рабочие тела ракетных двигателей. / М. С.Штехер // – М.: Машиностроение, 1976. – 302 с.
11. Одрит, Л., Огг Б. Химия гидразина / Пер. с англ. Е.А. Яковлевой. – М.: ИЛ, 1954. – 238 с.
12. Сафаров, М. М. Теплофизические свойства простых эфиров и водных растворов гидразина при различных температурах и давлениях. /



- Махмадали Махмадиевич Сафаров. // Дисс....д-ра техн. наук, Душанбе,- 1993. – 495с.
13. Зарипова, М.А. Теплофизические и термодинамические свойства водных растворов гидразина и фенилгидразина. / М.А. Зарипова //Монография. Душанбе, 2007.-129с.
  14. Практикум по общей физики. Под общей редакцией профессора В.Ф. Ноздерева. Уч. пособие для физико - математических факультетов. - М., 1971.-311с.
  15. Волькенштейн, В.С. Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов. / В.С. Волькенштейн. // - Л.: Энергия, 1971.- 145с.
  16. Мустафаев, Р.А. Теплофизические свойства углеводородов при высоких параметрах состояния. / Р.А. Мустафаев. // - М.: Энергия, 1980.- 286 с.
  17. Платунов, Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме. / Е.С. Платунов. // - Л.: Энергия, 1973. - 142 с.
  18. Филиппов, Л.П. Исследование теплопроводности жидкостей. / Л.П. Филиппов. // М.: Изд. МГУ. - 1970. - 227 с
  19. Kraussold, N. Forschung ejbiete ynghw. vol. 4, - № 4, - 1934, - 186s.
  20. Краткий справочник физико - химический величин. / Под редакции К.П. Мищенко, А.А. Равделя // Издательство “Химия” Ленинградские отделения, 1972.-200с.
  21. Парфёнов, В.Г. Регрессионный и корреляционный анализ. Обработка результатов наблюдений при измерениях: / В.Г. Парфёнов // - Учебн. пособие ЛИТМО. - Л. - 1983, - 78 с.
  22. Зарипова, М.А. Стандартные значения энергии Гиббса образования ионов ассоциатов в водном растворе аэрозина. / М.А. Зарипова, Т.Р. Тиллоева, Х.А. Зоиров, М.М. Сафаров // Тезисы докладов научно методической конференции «Современные проблемы физики» посвящ. памяти заслуженного учителя школы Тадж. ССР Джабарова Г.Д. - Душанбе, 22 декабря 2007, - С. 80-82.

23. Кирилин, В.А. Исследования термодинамических свойств веществ. / В. А. Кирилин, А.Е. Шейндлин. // – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1963. –560 с.
24. Кей, Дж. Таблица физических величин. / Дж. Кей, Т. Леби //– 1962. М.: – 244 с.
25. Давлатов, Н.Б. Плотность и уравнение состояния бинарных водных растворов (0,5 N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> + 0,5 H<sub>2</sub>O) мол. / М.М. Сафаров, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова. // 4 Конференция Евро-Азия - 2014, М. - С. 45 - 49.
26. Патанкар, С.В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах. / С.В. Патанкар. // Пер. с англ. Е.В. Калабина; под. ред. Г.Г. Янькова. - М.: Издательство МЭИ, 2003.-312с.
27. Пул, Ч. (мл.). Нанотехнологии. / Ч. Пул (мл.), Ф. Оуенс. // М. Техносфера, 2006. - 336с.
28. Гордов, А.Н. Статистические методы обработки результатов теплофизического эксперимента. /А.Н. Гордов, В.Г. Парфёнов, А.Ю. Потягайл, А. В. Шарков. // - Учебн. пособие ЛИТМО. - Л. - 1982. - 72 с.
29. Температурные измерения: Справочник. // Ю.А. Геращенко, А.Н. Гордов, Р.И. Лях, В.И. Стаднюк, Н.Я.Ярышев, -Киев: Наукова думка, 1984. - 495с.
30. ГОСТ 8. 207 - 76 ГСИ, Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. М.: Изд – во стандартов, 1976. - 9 с.
31. ГОСТ 8. 31 - 80(ст. СЭВ 403 – 76) ГСИ. Эталоны. Государственная система обеспечения единства измерений. Способы выражения погрешностей. М.: Изд-во стандартов, 1980.-9 с.
32. Рабинович, С.Г. Методика вычисления погрешности результатов измерения. / С.Г. Рабинович. // Метрология. - 1970. - № I. - С.3 - 12.
33. Сергеев, О.А. Метрологические основы теплофизических измерений. / О.А. Сергеев. // - М.: Изд-во стандартов, 1972. - 156 с.

34. Кудряшова, Ж.Ф. Рекомендация по методам обработки результатов наблюдений при прямых измерениях. / Ж.Ф. Кудряшова, С.Г. Рабинович. // Тр. Метрологических институтов СССР. - 1972. - Вып. 134 (194). - С.5 – 90.
35. Практикум по высокомолекулярным соединениям. // В.А. Кабанова. - М.: Химия, 1985. - 224 с.
36. Цедерберг, Н.В. Теплопроводность газов и жидкостей. / Н.В. Цедер-берг // - М.: Госэнергоиздат, 1963. - 403с.
37. Голубев, И.Ф. Тр. ЭНИ им. Есьмана АН Аз ССР. / И.Ф. Голубев, Я. М. Назиев. // Баку. - 1962. - Т 15. - С. 70 – 73.
38. Гиллит, Дж. Фотофизика и фотохимия полимеров. / Дж. Гиллит. // -М: Мир, 1988. - 435 с.
39. Ахундов, Т.С. Теплопроводность ароматических углеводородов в зависимости от температуры и давления. / Т.С. Ахундов, Н.Э. Гасанова. // Изв. вузов. Нефть и газ. - 1963. - № II. - С.67 – 69
40. Давлатов, Н.Б. Влияние фуллерена  $C_{60}$ ,  $C_{70}$ , нанокристаллической меди на изменение теплопроводности и температуропроводности жидкого гидразина в широком интервале параметров состояния. / М.М. Сафаров, Н.Б. Давлатов, И.Б. Маниш. Т.Р. Тиллоева. // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17. № 19. - С. 60 - 63.
41. Давлатов, Н.Б. Теплофизические свойства некоторых углеродных материалов / М.М. Сафаров, Т.Р. Тиллоева, Э.Ш. Тауров, С.С. Рафиев, и др. // Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/4 (216), - С. 40-45.
42. Давлатов, Н.Б. Компьютерное моделирование химических и фазовых равновесий в системах с неидеальными растворами. / М.М. Сафаров, Н.Б. Давлатов, М.М. Гуломов, и др.// Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/4 (216), - С.166 -169.

43. Давлатов, Н.Б. Плотность и уравнение состояния бинарных водных растворов ( $0,5 \text{ N}_2\text{H}_4 + 0,5 \text{ H}_2\text{O}$ ) мол. / М.М. Сафаров, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова. // *Материалы 10 Международной теплофизической школы, 3 - 8 октября 2016 г., “Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий”*. Душанбе - Тамбов, 2016. - С. 335 -340.
44. Гусейнов, К.Д. Исследование термодинамических свойств ряда кислородосодержащих органических веществ в широком интервале параметров состояния: / Камал Дадаш огли Гусейнов. // *Дисс....д - ра техн. наук, Баку, - 1979.-392с.*
45. Сафаров, М.М. Влияние некоторых наноразмерных амфотерных оксидов на изменение тепло - электро - и термодинамических свойств гидразингидрата. / М.М. Сафаров, Х.А. Зоиров. // *Монография. Душанбе. - 2016. - 229с.*
46. Голубев, И.Ф. Измерение плотности азота и водорода при низких температурах и высоких давлениях. / И.Ф. Голубев, О.А. Добровольский // *Газовая промышленность. – 1964. - № 5. –С.43 – 48.*
47. Зарипова, М. А. Влияние наночастиц на изменение теплофизических, термодинамических свойств некоторых кислородосодержащих, азотосодержащих органических жидкостей при различных температурах и давлениях. / Мохира Абдусаломовна Зарипова. // *Автореф. Дисс. ...д-ра техн. наук. Казань – 2016. - 43с.*
48. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов. / Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филлипов, А.А. Тарзиманов, Е.Е. Тоцкий. // М.: Энер - гоатомиздат, 1990, - 352с.
49. Сафаров, М.М. Теплофизические свойства простых эфиров в широком интервале параметров состояния (теплопроводность и плотность). / М. М. Сафаров, К.Д. Гусейнов. // *Монография - Душанбе, 1996.- 196с.*

50. Геращенко, Ю.А. Температурные измерения: Справочник. / Ю.А. Геращенко, А.Н. Гордов, Р.И. Лах, Н.Я. Ярышев. // - Киев, Наукова думка.1984, - 495с.
51. Буравой, С.Е. Перспективы исследования теплофизических свойств методами монотонного режима. / С.Е. Буравой, Е.С. Платунов, В.В. Курепин. // Материалы 5 Международной теплофизической школы. 20 - 24 сентября 2004 г. Часть 1. Тамбов, Изд. ТГТУ. - С. 66 - 74.
52. Теплофизические измерения и приборы. / Е.С. Платунов, С.Е. Буравой. В.В. Курепин, Г.С. Петров; Под общ. ред. Е.С. Платунова. - Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд., 1986. - 256 с.
53. Прикладная физика: Теплообмен в приборостроении. / Г.М. Кондратьев. Г.Н. Дульнев, Е.С. Платунов, Н.А. Ярышев. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2003. - 560 с.
54. Platunov, E.S. Instruments for Measuring Thermal Conductivity, Thermal diffusivity, and Specific Heat under Monotonic Heating. / E.S.Platuronov // Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods. Vol. 2. Recommended Measurement Techniques and Practices, Plenum Press. New York and London. 1992. - P.347 - 373.
55. Зарипова, М.А. Экспериментальные установки для измерения теплопроводности и плотности водных растворов гидразина и фенилгидразина. / М.М. Сафаров, Иман Бахроми Маниш, А.Н. Нурматов. // Монография: - Иран. - Изд. Эсхаг, Тегеран, пл. Энгиллаб, 2013.- 238с.
56. Сысоев, В.М. О статистическом обосновании функционального вида уравнения Тэйта. / В.М. Сысоев. // Физика жидкого состояния. – Киев, 1975. – № 3. – С. 34–38.
57. Сысоев, В.М. Изотермическое уравнение состояния плотных жидкостей и газов. / В.М. Сысоев // УФЖ. – 1980. – Т. 25. – № 1. – С. 123–130.
58. Сысоев, В.М. Исследование связи теплофизических свойств вещества с параметрами межмолекулярного взаимодействия на основе уравнения

- Тэйтта. / В.М. Сысоев, А.З. Голик // Теплофизика высоких температур.– 1983. – Т. 21. – № 3. – С. 454–459.
59. Лабинов, М. С. Уравнение состояния этилена при высоких давлениях. / М.С. Лабинов, В.М. Сысоев, А.В. Чалый. // Физика жидкого состояния. – Киев, 1973. – №4. – С. 47 – 50.
60. Сафаров, М.М. Способ и устройства для определения коэффициента адсорбции ферромагнетных наночастиц в зависимости от температуры при атмосферном давлении. / М.М. Сафаров, М.М. Холиков, З.Ю. Норов, Т.Р. Тиллоева, и др. // Патент Республики Таджикистан Патент Республики Таджикистан № ТЈ 824, 2016. - 3с.
61. Сафаров, М.М. Способ и устройства для определения коэффициента адсорбции ферромагнетных наночастиц в зависимости от магнитного поля. / М.М. Сафаров, Д.С. Джураев, М.М. Холиков, З.Ю. Норов, Т. Р. Тиллоева, и др. // Патент Республики Таджикистан Патент Республики Таджикистан № ТЈ 825, 2016. - 5с.
62. Абдуназаров, С.С. Физико – химические свойства увлажненных кобальтовых и иридиевых катализаторов на основе пористого гранулированного оксида алюминия. / Сунатулло Савзалиевич Абдуназаров. // Дис ... к.т.н., Душанбе, 2018. - 146 с.
63. Мирзомамадов, А.Г. Теплопроводность, температуропроводность, адсорбционные свойства увлажненных медных и никелевых катализатора на основе пористой гранулированных окись алюминия. / Алимамад Гулмамадович Мирзомамадов. // Дис.....к.т.н., Душанбе, 2017. - 176с.
64. Менькина, Н.Н. Физико - химические процессы в пароводяном цикле электростанции. / Н.Н. Менькина. //М.: “Энергия”, 1977. - 236с.
65. Стырикович, М. А. Внутрикотловые процессы. / М.А. Стырикович. // М.-Л., Госэнергоиздат, 1957. – 339 с.
66. Турнер, Д. И. Новый метод поддержания чистоты внутренней поверхности парообразующих труб прямоточных парогенераторов. / Д.И. Турнер. // Экс. - инф. «Теплоэнергетика», 1973, № 25, - 14—23с.

67. Манькина, Н. Н. Механизм влияния гидразина на процесс железного накипеобразования. / Н.Н. Манькина, Б.Н. Соболев. // «Теплоэнергетика», 1962, №3, - 48-50.
68. Манькина, Н.Н. Промывка лопаточного аппарата турбины гидразинтидратом. / Н.Н. Манькина, Е.Ю. Кострикина, Я.А. Ставицкий. // - «Электрические станции». 1965, № 10, -С. 32—34.
69. Акользин, П.А. Предупреждение коррозии металла паровых котлов. / П.А. Акользин // М., «Энергия», 1975. - 296 с.
70. Вриланд, Л.К. Коррозия углеродистых, низ. легированных и нержавеющей сталей в условиях кипящего водо - водяного реактора (вне-реакторные испытания) - В кн.: Коррозия конструкционных материалов водо - охлаждаемых реакторов. / Л.К. Вриланд, Г.Г. Гоул, В.Л. Пирл. // М., Атомиздат, 1965, - С.109 -120.
71. Несмеянова, К.А. Влияние кислорода на коррозию сталей в наводных потоках при температуре 280° С. / К.А. Несмеянова // «Атомная энергия», 1970, т, 29 вып, 2, - С. 86 - 91.
72. Акользин, П.А. Защита теплоэнергетического оборудования от коррозии. / П. А. Акользин, Н. Н. Манькина. // В кн.: Освоение энергоблоков (пусковые реж металл, водоподготовка, автоматика). Под ред. В. Е. Доро-щука. М., «9 - тия», 1971, - С. 125 - 135.
73. Карпенко Г. В. Влияние водорода на свойства сталей. / Г. В. Карпенко, Р. И. Крипякевич// М., «Металлургия», 1962., 95. -259 с.
74. Вержинская, А.В. Новый универсальный метод определения теплофизических коэффициентов. / А. В. Вержинская, Новиченко Л.Н. // Инженерно – физический журнал. - 1960. - Т.3. - 9с.
75. Абас-заде, А.К. О теплопроводность нефтяных масел и их смесей. Азербайджанское нефтяное хозяйство. / А. К. Абас-заде, А. А. Гильманов. // -1964. № 1. - С. 36 - 38.

76. Хен, А. А. Лучисто – конвективный теплообмен в среде с селективными оптическими свойствами. / А. А. Хен, О. А. Сергеев. // Теплофизика высоких температур. - 1971. - Т. 9 - Вып. 2. - С. 353 - 359.
77. Зарипова, М.А. Экспериментальное исследование теплопроводности гидразина при высоких параметрах состояния. / М. М. Сафаров, М. А. Зарипова. // Измерительная техника. – 1993. - № 4. – С.48 – 49.
78. Зарипова, М.А. Влияние наночастиц на изменение теплофизических, термодинамических свойств некоторых кислородосодержащих, азотосодержащих органических жидкостей при различных температурах и давлениях. / Мохира Абдусаломовна Зарипова. // Автореф. Дисс. ...д-ра техн. наук. Казань – 2016.- 43с.
79. Давлатов, Р.Дж. Взаимосвязь между динамической вязкостью и коэффициентом преломления света растворов в зависимости от температуры при атмосферном давлении. / Р. Дж. Давлатов, М. М. Сафаров, Д. Ш. Хакимов, А. Р. Раджабов, Х. Х. Ойматова. // Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. Душанбе, №4 (40) – 2017. - С. 17 -27.
80. Давлатов, Р.Дж. Взаимосвязь между коэффициентом поверхностного натяжения и плотностью растворов системы бензол и диизопропиловый эфир. / Д.Ш. Хакимов, Р.Дж. Давлатов, М.М. Гуломов. // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. Душанбе, Сино, 2017. №1/3. - С. 118 - 123.
81. Голубев, И.Ф. Определение удельного веса жидкостей и газов при высоких давлениях методом гидростатического взвешивания. / И.Ф. Голубев // Научн. труды ГИАП. – М., 1957. – Вып. УП. – С.47 – 61.
82. Каплан, И.Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий. / И. Г. Каплан // – М.: Наука, 1982. – 311 с.
83. Карапетянц, М.Х. Химическая термодинамика. / М.Х. Карапетянц // – М.: Химия, 1975.– 512 с.



84. Давлатов, Р.Дж. Автоматизированный комплекс для определения термодинамических характеристик нанопорошков и пищевых продуктов при различных температурах. / М.М. Гуломов, М.М. Сафаров, М.А. Зарипова Х.Х. Ойматова, Р. Дж. Давлатов, Ш. Р. Сафаров. // Материалы 11 МТФШ “Информационно - сенсорные системы в теплофизических исследованиях”, Т.1, Тамбов, 6 - 9 ноября 2018, - С. 169 - 173.
85. Димитриев, А.О. Введение в нанотеплофизику. / А.О. Димитриев, // М.: - БИНОМ, Лаборатория знаний. - 2015. - 790с. (Нанотехнология
86. Сафаров, М.М. Устройства для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей. / М.М. Сафаров, М.А. Зарипова М.М. Гуломов, Дж. Ф. Собиров, С.С. Рафиев, Д.Ш. Раджабова, А.Р. Раджабов. и др.// Патент Республики Таджикистан, - № ТЈ 923, - Душанбе, - 2017. - 5с.
87. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, М.: - 1963, - 708с.
88. Магомедов, У.Б. Справочник по теплопроводности и динамической вязкости воды и водных растворов солей. / Алхасов А. Б., Магомедов М. М. // Под ред. акад. В.Е. Фортова. - М.: ФИЗМАТЛИТ. 2013.- 224с.
89. Международные таблицы и уравнения для теплопроводности воды и водяного пара. Справочный материал // Теплоэнергетика. 1980. №4. - С. 70 - 74.
90. Александров, А.А. Скелетная таблица удельного объема воды и водяного пара. Справочный материал // Теплоэнергетика.1987. № 3.- С.71-77.
91. Dietz F.J., de Groot J. J., and Franck E.U. The Thermal Conductivity of water to 250 °C and 350 MPa // Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 1981. V. 85, No. 11.- P.1005-1009.
92. Амирханов, Х.И. Экспериментальное исследование теплопроводности воды при температурах (30 – 200) °С и давлениях (98,2 - 686,5) МПа / Х.И. Амирханов., Адамов А.П., Магомедов У.Б. // В сб. Теплофизические

- свойства веществ и материалов. // ГСССД. М.: Изд – во стандартов. 1984. Вып. 21. - С.35 - 39.
93. Григорьев, Б.А., Теплопроводность обычной и тяжелой воды и водных растворов не электролитов. / Григорьев Б.А., Ганиев Ю.А., Сафронов Г. А., Ишханов А.М., Расторгуев Ю.Л. Госстандарт. // ВНИЦ МВ. М.: Изд - во стандартов. 1985. - 64 с.
94. Амирханов, Х.И., Таблицы рекомендуемых справочных данных. Вода. Теплопроводность воды в диапазоне температур (25 – 200) °С и давлений (100 – 400) МПа. / Амирханов, Х.И., Адамов А.П., Магомедов У.Б. Всесоюзный научно - исследовательский центр по материалам и веществам Госстандарта СССР. М., 1987. - 10 с. Деп. в ВНИИТИ 10.06.87, № 370 - кк. 87.
95. Григорьев, Б.А., Теплопроводность воды в зависимости от температуры и плотности при высоких давлениях. / Григорьев Ё.Б., Ишханов А.М. Григорьев, Б.А. // Часть 1: Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. 2001. №3. - С.55 - 61.
96. Давлатов, Р.Дж. Взаимосвязь между теплопроводность и вязкости растворов полистирола и бензола. / М.М. Сафаров, Р.Дж. Давлатов, А.Г. Мирзомамадов. // Материалы 8 Международной научно - практической конференции “Перспективы развития науки и образования”, посвященной 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан и 60 - летию ТТУ имени акад. М.С. Осими (3 - 4 ноября 2016 г.), часть 2, Душанбе, - С. 193 - 196.
97. Davlatov, R.J. Thermodynamic properties of nano fluids in dependence temperature and pressures. / М.М. Safarov, М.А., Zaripova, А.Nematov, Т.Р.Tilloeva, S.S. Rafiev, R.Dj. Davlatov e.t. // Book of Abstracts, 6th Rostocker International Conference: THERMAL 2017 “Thermophysical Properties for Technical Thermodynamics” Institute of Technical Thermodynamics University of Rostock, Germany, (17 – 18) July 2017, - P.77.

98. Давлатов, Р.Дж. Взаимосвязь между динамической вязкостью и коэффициентом преломления света растворов в зависимости от температуры при атмосферном давлении. / Р.Дж. Давлатов, М.М. Сафаров, А. Неъматов Д.Ш. Хакимов, А.Р. Раджабов, Х.Х. Ойматова // Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. Душанбе, №4 (40) – 2017. - С.17 -27.
99. Абовский, В.А. Об уравнении состояния Тэйта. // Теплофизика высоких температур. – 1972. – Т. 10. – № 6. – С. 1221 – 1225
100. Абовский, В.А. Уравнение Тейта. // Теплофизика высоких температур. – 1972. – Т. 9. – С. 644.
101. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, М.: - 1972, - 688с.
102. Сысоев, В.М. Исследование связи теплофизических свойств вещества с параметрами межмолекулярного взаимодействия на основе уравнения Тэйта. / В.М. Сысоев., Голик А.З. // Теплофизика высоких температур. – 1983. – Т. 21. – № 3. – С. 454–459.
103. Расторгуев, Ю.Л. Уравнение состояния Тэйта и его проверка по экспериментальным данным. / Расторгуев, Ю.Л., Ковальский Е.В. // Изв. ВУЗов. – Сер. Нефть и газ. – 1976. – № 8. – С. 57– 60.
104. Сафаров, М.М. Обобщение уравнение Тейта для жидких простых эфиров. / ТВТ, Т. 30, № 3, 1992, - М., - С. 650 - 658.
105. Сафаров, М.М. Модифицированное уравнение Тейта для расчета теплопроводности простых эфиров. / ИФЖ, Т.66, №6, 1994, Минск, - С. 721-724.
106. 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.

107. Rafiev, S.S. Influence of carbon nanotubes, nanometallic to exchange thermophysical and thermodynamics properties of hydrazinehydrate (rocket fuel) in dependence temperature and pressures. / M.M. Safarov, H.A. Zoirov, T.R. Tilloeva, Z.U. Norov, B.M. Mahmadiyev, S.S. Rafiev e.t. // Conference book, 10 ICTP, "Thermophysical properties measurements in the quality control of sub-stances, materials and products». Dushanbe - Tambov, 3 - 8 october 2016. - P.201-218.
108. Rafiev, S. S. Computer modeling of heat transfer process for nanofluids/ M.M. Safarov, M.M. Gulomov, D.Sh. Rajabova, S.S. Rafiev e.t. // 4 International computer simulation, China, 2017, - p. 56.
109. 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 международной конференции фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. / г.Махачкала, 6 - 9 сентября 2017.- С.433 - 436.
110. Rafiev, S.S. Thermodynamic properties of nano fluids in dependence temperature and pressures. / M.M. 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.
111. Рафиев, С.С. Уравнение типа Тейта для расчета плотности жидкостей, растворов при различных температурах и давлениях. / М.М. Сафаров, М. М. Гуломов, Д.Ш. Хакимов, С.С. Рафиев, А.Р. Раджабов. // Материалы научно - практической конференции "8 Ломоносовских чтения", Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г, Душанбе, 27 - 28 апреля 2018 - С.34-38.
112. 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. // Международной научно - практической

- конференции “Актуальные проблемы преподавания математики и естественных наук в кредитной системы обучения” КТГУ имени Носира Хусрава, Бохтар, 2018- С. 458 - 461.
113. 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 (Scopuse).
114. Рафиев, С.С. Влияние металлических наночастиц на изменение реологических свойств углеводов. / М.М. Сафаров, Х.Х. Ойматова, Ш.Р. Сафаров, С.С. Рафиев, С.С. Джумъев и др. // 6 Международной научно - технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосберегающие и эффективность в технических системах”, Тамбов, 3 - 5 июня 2019, - С.72 - 73.
115. Рафиев, С.С. Влияние нанопорошка гидразина на изменение энтропии тернарных системы кремниевой кислоты и многослойных углеродных нанотрубок. / М.М. Сафаров, Ш.Р. Сафаров, Х.Х. Ойматова, С.С. Рафиев и др. // Материалы 4 Международной научной конференции: «Вопросы физической и координационной химии» Посвященной памяти докторов химических наук, профессоров Якубова Хамида Мухсиновича и Юсуфова Зухуриддина Нуриддиновича, 3 - 4 мая 2019. - С.195 - 202.
116. Рафиев, С.С. Вклад нанотрубок и сажи на поведение реологических и термодинамических свойств простых эфиров и хладагентов. / М.М. Сафаров, Б.А. Тимеркаев, Х.Х. Ойматова, С.С. Рафиев, Ш.Р. Сафаров и др. / 6 Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосберегающие и эффективность в технических системах”, Тамбов, 3 - 5 июня 2019, - С.169 – 17
117. 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.
118. 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. // Материалы Международной научной конференции «Современные проблемы естественных и гуманитарных наук и их роль в укреплении научных связей между странами», посвящённой 10 - летию Филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе (10 - 11 октября 2019г.) - С.109 -113.
119. Рафиев, С.С. Математические модели динамики адсорбции нанопорошка гидразина. / М.М. Сафаров, С.С. Рафиев. // Материалы Международной научной конференции на тему «Современные проблемы математики и методика её преподавания» посвященная 25 – летию конституции Республики Таджикистан и 80 – летию доктора педагогических наук, профессора Шарифзода Джума Шариф (г. Бохтар, 18-19 октября 2019 г.). - С. 66 - 68.
120. 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 международной научной конференции “Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук”, Санкт Петербург 12 июля 2020г. - 2020. - С.19 - 20 (doi: 10. 18411 / sciencepublic – 12 – 07 – 2020 - 03) idsp: science public – 12 – 07 – 2020 - 03, Scopus
121. 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.
122. 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 научно - практической конференции “Ломоносовские тени”, посвященной 75 - летию Победы в великой Отечественной войне (1941 – 1945 г), Ч.1., Душанбе, 25 - 26 сентября 2020 г. - С.53 - 58.
123. Рафиев, С.С. Расчет одного из основных термодинамических потенциалов (энергии Гельмгольца) термных 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.
124. Рафиев, С.С. Влияние нанопорошка гидразина на изменение энергии Гиббса в термных системах. / Х.Х. Ойматова, Ш.Р. Сафаров, Дж. Ф. Собиров, М.М. Сафаров, С.С. Рафиев. // Сборник трудов. Инновация, Наука, Образование, (научный журнал) М. 2021, №27, - С.917 - 925.
125. 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.
126. Рафиев, С.С. Способ обобщения коэффициента адсорбции зернистых материалов (способ Сафарова М.М.) / С.С. Абдуназаров, С.С. Рафиев и др. // Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал) Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2017, №1/2, - С. 132 - 137.
127. 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. // ТНУ, Душанбе - 2018, №2,- С.92 - 98.
128. 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 Таджикского национального университета. Серия естественных наук. Душанбе, 2018, №2, - С. 122 - 127.

129. Рафиев, С.С. Коэффициент адсорбции нанопорошка гидразина в адсорбенте воды при различном времени увлажнения. / С.С. Рафиев, М.М. Сафаров, Ш.З. Нажмудинов. // Вестник Технологического университета Таджикистана. ТУТ, Душанбе, 2019, №2, (37) - С. 22 - 28.
130. Рафиев, С.С. Кинематическая вязкость теплоносителей, внедренных в них нанопорошка гидразина. / С.С. Рафиев. // Вестник Бохтарского Государственного университета имени Носира Хусрава (научный журнал) серия естественных наук. Бохтар, 2021, №2/4 (93) – С. 54 - 58.
131. Сафаров, М.М. Устройства для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей. Патент Республики Таджикистан. / М.М. Гуломов, С.С. Рафиев, Д.Ш. Раджабова, А.Р Раджабов и др. // Патент Республики Таджикистан № TJ 923, 2017. - 5с
132. Сафаров, М.М. Комплексная солнечная установка для получения тепловой и электрической энергии. / С.С. Рафиев, Д.Ш. Раджабова, А. Р. Раджабов, Б.М. Махмадиев, Назарзода Х. Х и др. / Патент Республики Таджикистан № TJ 919, 2017. - 5с.
133. Рафиев С.С. Устройства слежения за солнцем. / Абдурахмонов А.Я., Абдуллоев Б.Т., Одинаев Н.Х., Каримзода Дж.Х., Сафаралиев М.Д., Абдуллоев И.Т., Назарзода Х.Х., Зувайдуллозода Ф.З., Рафиев С.С. Фохаков А.С. // Патент Республики Таджикистан №1202, 2018.-5с.
134. Рафиев С.С. Способ определения коэффициента адсорбции наноматериалов. / Сафаров М.М., Абдуназаров С.С. Рафиев С.С и др. // Патент Республики Таджикистан № TJ 1279, 2021. - 9с.
135. Сафаров М.М. Установка для автоматизированного определения теплопроводности твердых тел. / Саидзода К.Б., Рафиев С.С, Сафаров Ш. Р и др. // Патент Республики Таджикистан № TJ 1185, 2021.-7с.
136. Tait, P.G. Report on Jome of the Physical Properties of Water. – 1888. – V. 47. pp. 234 - 238.
137. Ginell, R. //J. Chem. Phys.–1961.– V. 34.-P.1249.
138. Ginell, R. // J. Chem. Phys. – 1961. – V. 34. – P. 2174.



139. Ginell R. Compressibility of solids. / Ginell R., Quigley T.J. – 1965. – V. 26. – № 7. – P. 1157 – 1169.
140. Циклис, Д.С. О корреляции констант уравнения Тэйти. / Масленникова В.Я., Абовский В.А. // Докл. АН СССР. – 1977. – Т. 233. – № 5. – С. 816–820.
141. Neese George A. On the Tait and related empirical equations of state. / Neese George A., Squire David R. // J. Phys. Chem. – 1968. – V. 72. – № 1. – P. 128–136.
142. Голик, А.З. Исследование уравнения состояния и упругих свойств молекулярных жидкостей. / Адаменко И.И., Голик А.З., Радченко И.И., Соколовская С.Ф. // Физика жидкого состояния. – Киев, 1975. – № 3. – С. 38–43.
143. Голик, А.З. Уравнение состояния, упругие и тепловые свойства молекулярных жидкостей. / Адаменко И.И., Махно М.Г. Голик А. З., // УФЖ. – 1982. – Т. 27. – № 5. – С. 708–711
144. Адаменко, И.И. Об уравнении состояния Тэйти. / Адаменко И.И., Самойленко Л.П. // Физика жидкого состояния. – Киев, 1987. – № 15. – С. 117 – 120.
145. Бондаренко, В.В. О термодинамическом подходе к выводу уравнения состояния вещества. II. Вычисление сжимаемости // ЖФХ. – 1993. – Т. 67. – № 12. – С. 2406–2409.
146. Cibulka, I. Liquid densities at elevated pressures of walkanes from C<sub>5</sub> to C<sub>16</sub>: a critical evaluation of experimental data. / Cibulka, I., Hnedkovsky L. // J. Chem. and Eng. Data. – 1996. – V. 41. – № 4. – P. 657–668.
147. Ginell, R. Tait coefficients of water in humidity and moisture. / Ginell, R., Ginell A.M. – N. Y., 1965. – V. 3.- P.456 - 459.
148. Wohl, A. Die Kompressions - gleichung der Flussung Keiten // Z. Phus. Chem. – 1921. – № 2. – P. 995.
149. Пазынич, Р.А. Плотность и скорость звука в бензоле и н-гексане при давлении до 6000 кгс/см<sup>2</sup> / Пазынич, Р.А., Разумихин В.Н.,

- Сейфер А.Л. Труды ВНИИФТРИ. – Сер. Исследования в области высоких давлений. – М., 1971. – С. 181–190.
150. Вервейко, В.Н. Акустические и  $P - V - T$  исследования некоторых органических жидкостей при высоких давлениях: Дис. ... канд. физ. – мат. наук. – Курск, 1991. – 147 с.
151. Вервейко, В.Н. Уравнение Тэйта. / Вервейко М.В., Мелихов Ю.Ф., Мельников Г.А // Ультразвук и термодинамические свойства вещества. – Курск, 1993. – С. 42–49.
152. Голик, А.З. Влияние давления на плотность и упругие свойства изомеров этилбензола. / Голик, А.З. Адаменко И.И., Махно М.Г. // Физика жидкого состояния. – Киев, 1983. – № 6. – С. 45–49.
153. Будтов, В.Я. Тепломассоперенос в полимерных процессах. // В.Я. Будтов, В.В. Констов. / Л. Химия, 1993. - 256с.
154. Bohne, D., Thermal Conductivity, Density, Viscosity, and Prandtl – Numbers of Etylene Glycol – Water Mixtures / S. Fischer, E. Obermier // Institut fur – und Thermodynamic, Universitat. Gb Siegen, Paul – Bonatz – Strabc 9-11, D-5900 Siegen, Federal Republic of Germany. 1984.
155. Nikos, G., Thermodynamic Properties of Water + Etylene Glycol at 283.15, 293.15, 303.15 K / Tsierkezos and Ioanna E. Molinou // J. Chem/ Eng. Data 1998, 43, 989 – 993.
156. Tongfan, Sun., Density, Viscosity, and Thermal Conductivity of Aqueous Etylene + Diethylene, and Triethylene Glycol Mixtures between 290 K and 450 K / Aryn S. Teja // J. Chem/ Eng. Data 2003, 48, 198 – 202.
157. An Huang., Thermal conductivity of etylene glycol and water dinary mixtures at evaluated temperature and pressure // Yandiong Bao., Houpei Li., Yu Liu., Xiong Zheng., Guangzhao Qin // The journal of Chemical Thermodynamics 175 (2022) 106900.
158. <https://Liderair.ru/product-category/kondicionirovanie/tehnologicheskie-zhidkosti/jetilenglikol>.

**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 № TJ 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 № TJ 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 № TJ 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 № TJ 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 теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении”, Казань, 2016. - С. 217 - 220.

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

[15-A]. **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-A]. **Rafiev, S. S.** Thermodynamic properties of nano fluids in dependence temperature and pressures. / M.M. 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 Ther-modynamics University of Rostock, Germany, 17– 18 July 2017, - P. 77.

[17-A]. **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-A]. **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-A]. **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 (Scopuse).

[20-A]. **Рафиев, С.С.** Влияние металлических наночастиц на изменение реологических свойств углеводов. / 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-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 химий», 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 системе обучения КТГУ имени Носира Хусрава, (г. Бохтар, 18-19 октября соли 2019). - С.66-68.

[26-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. // 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 / Н.Н. 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.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

**Таблица П.1.** - Исходные данные для количественной оценки доверительной погрешности измерения плотности

№	Наименование	Величина
1	2	3
1	Вес сердечника в воздухе $m_{сер}^{воз}$ , кг	$3,3471 \cdot 10^{-3}$
2	Погрешность определения веса сердечника в воздухе $\Delta m_{сер}^{воз}$ , кг	$1,2 \cdot 10^{-7}$
3	Вес нити в воздухе $m_{н}^{воз}$ , кг	$0,9428 \cdot 10^{-3}$
4	Погрешность определения веса нити в воздухе $\Delta m_{н}^{воз}$ , кг	$10^{-7}$
5	Вес поплавок в воздухе $m_{поп}^{воз}$ , кг	$5,7433 \cdot 10^{-3}$
6	Погрешность определения веса поплавок в воздухе $m_{поп}^{воз}$ , кг	$1,89 \cdot 10^{-7}$
7	Плотность воздуха $\rho_{воз}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,2
8	Погрешность определения плотности воздуха, $\Delta \rho_{воз}$ , кг/м <sup>3</sup>	0,003
9	Плотность гексана $\rho_{гек}$ , кг/м <sup>3</sup>	661
10	Погрешность определения плотности гексана $\Delta \rho_{гек}$ , кг/м <sup>3</sup>	0,003
11	Вес поплавок в гексане $m_{поп}^{гек}$ , кг	$10,3427 \cdot 10^{-3}$
12	Погрешность определения веса поплавок в гексане $\Delta m_{поп}^{гек}$ , кг	$10^{-6}$
13	Вес сердечника в гексане $m_{сер}^{гек}$ , кг	$2,1776 \cdot 10^{-3}$
14	Погрешность определения веса сердечника в гексане, $\Delta m_{сер}^{гек}$ , кг	$10^{-6}$
15	Вес нити в гексане $m_{нит}^{гек}$ , кг	$5,5089 \cdot 10^{-3}$
16	Погрешность определения веса нити в гексане $\Delta m_{нит}^{гек}$ , кг	$10^{-6}$
17	Объем поплавок, м <sup>3</sup>	$2,6051 \cdot 10^{-6}$
18	Погрешность определения объема поплавок, м <sup>3</sup>	$3,25 \cdot 10^{-11}$
19	Объем сердечника, м <sup>3</sup>	$0,4301 \cdot 10^{-6}$
20	Погрешность определения объема сердечника, м <sup>3</sup>	$2,13 \cdot 10^{-11}$



Продолжение таблица П.1.		
21	Объем нити, м <sup>3</sup>	$0,2 \cdot 10^{-8}$
22	Погрешность определения объема нити, м <sup>3</sup>	$4,62 \cdot 10^{-11}$
23	Величина коэффициента линейного расширения кварца, $\Delta_1$	1,0004
24	Погрешность расчета коэффициента линейного расширения кварца, железного сердечника, платиновой нити	$10^{-6}$
25	Величина коэффициента линейного расширения железного сердечника, $\Delta_3$	1,01
26	Величина коэффициента линейного расширения платиновой нити, $\Delta_5$	1,0075
27	Величина коэффициента сжимаемости кварца	0,9974
28	Величина коэффициента сжимаемости железного сердечника, $\Delta_4$	0,9994
29	Величина коэффициента сжимаемости платиновой нити, $\Delta_6$	0,9996
30	Погрешность определения коэффициента сжимаемости кварца, железного сердечника, платиновой нити	$10^{-5}$
31	Шаг температуры, t, с	25
32	Погрешность измерения температуры опыта $\Delta T$ , К	0,01
33	Шаг давления P, Па	$49 \cdot 10^5$
34	Погрешность определения давления $\Delta P$ , Па	$0,05 \cdot 10^5$
35	Доверительная граница погрешности измерения плотности в относительной форме при $\alpha = 0,95$ , %	0,044
36	Методическая погрешность, %	0,026
37	Инструментальная погрешность, %	0,03
38	Общая относительная погрешность измерения плотности, %	0,10

### Расчет погрешности измерения плотности исследуемых объектов

Согласно расчетному уравнению (2.41) доверительная граница погрешности результатов измерений плотности определяется из соотношения:

$$\Delta \rho = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_4}\right)^2 (\Delta \Delta_4)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_5}\right)^2 (\Delta \Delta_5)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_6}\right)^2 (\Delta \Delta_6)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial V_H}\right)^2 (\Delta V_H)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial m_1}\right)^2 (\Delta m_1)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial m_2}\right)^2 (\Delta m_2)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial V_{II}}\right)^2 (\Delta V_{II})^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_1}\right)^2 (\Delta \Delta_1)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_2}\right)^2 (\Delta \Delta_2)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial V_C}\right)^2 (\Delta V_C)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_3}\right)^2 (\Delta \Delta_3)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial \Delta T}\right)^2 (\Delta T)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial \Delta P}\right)^2 (\Delta P)^2} \quad (\text{II.1})$$

где

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial \Delta_4} &= \frac{m_1(m_2 - m_1)V_C \Delta_3}{(V_{II} \Delta_1 \Delta_2 + V_C \Delta_3 \Delta_4 + V_H \Delta_5 \Delta_6)} = -\frac{9,0853 - 5,890810^3 0,430110^6 1,01}{(2,605110^6 1,00040,9974 + 0,430110^6 1,010,9994 + 0,210^{-8} 1,0075 \cdot 0,9996)^2} = -\frac{3,19450,434410^9}{(2,5999410^6 + 0,434110^6 + 2,01410^9)^2} = \\ &= \frac{1,387710^9}{(3,03610^6)^2} = -150,6 \end{aligned} \quad (\text{II.2})$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_5} = -\frac{(m - m_2 + m_1)V_H \Delta_6}{(V_{II} \Delta_1 \Delta_2 + V_C \Delta_3 \Delta_4 + V_H \Delta_5 \Delta_6)^2} = -\frac{3,19450,210^8 0,9996}{(3,03610^6)^2} = -\frac{6,386410^9}{(3,03610^6)^2} = -6929 \quad (\text{II.3})$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_6} = -\frac{(m_1 - m_2 + m_1)V_H \Delta_5}{(V_{II} \Delta_1 \Delta_2 + V_C \Delta_3 \Delta_4 + V_H \Delta_5 \Delta_6)^2} = -\frac{3,19450,210^8 1,0075}{(3,03610^6)^2} = -\frac{6,436910^9}{(3,03610^6)^2} = -6984 \quad (\text{II.4})$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial V_H} = -\frac{(m - m_2 + m_1)\Delta_5 \Delta_6}{(V_{II} \Delta_1 \Delta_2 + V_C \Delta_3 \Delta_4 + V_H \Delta_5 \Delta_6)^2} = -\frac{3,19451,00750,9996}{(3,03610^6)^2} = -\frac{3,2172}{(3,03610^6)^2} = -3,4910^1 \quad (\text{II.5})$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial m_1} = -\frac{1}{(V_{II} \Delta_1 \Delta_2 + V_C \Delta_3 \Delta_4 + V_H \Delta_5 \Delta_6)} = \frac{1}{3,03610^{-6}} = 3,2910^5$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial m_2} = -\frac{1}{(V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6)} = -\frac{1}{3,03610^{-6}} = -3,2910^5 \quad (\text{II.6})$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial V_{II}} = -\frac{(m - m_2 + m_1)\Delta_1\Delta_2}{(V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6)^2} = -\frac{3,19451,00040,9974}{8(3,03610^6)^2} = -\frac{3,1875}{9,217310^{12}} = -3,458210^{11} \quad (\text{II.7})$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_1} = -\frac{(m - m_2 + m_1)\Delta_2 V_{II}}{(V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6)^2} = -\frac{3,19450,99742,605110^6}{(3,03610^6)^2} = -\frac{8,310^6}{9,217310^{12}} = -0,910^6 \quad (\text{II.8})$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_2} = -\frac{(m - m_2 + m_1)\Delta_1 V_{II}}{(V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6)^2} = -\frac{3,19451,00042,605110^6}{9,217410^{12}} = -\frac{8,3253^6}{9,217310^{12}} = -0,910^6 \quad (\text{II.9})$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial V_C} = -\frac{(m - m_2 + m_1)\Delta_3\Delta_4}{(V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6)^2} = -\frac{3,19451,01,0,9994}{9,217410^{12}} = -\frac{3,2245}{9,217310^{12}} = -3,49810^{11} \quad (\text{II.10})$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \Delta_3} = -\frac{(m - m_2 + m_1)V_C\Delta_4}{(V_{II}\Delta_1\Delta_2 + V_C\Delta_3\Delta_4 + V_H\Delta_5\Delta_6)^2} = -\frac{3,19450,430110^6,0,9994}{9,217410^{12}} = -\frac{1,373110^6}{9,217310^{12}} = -1,4910^5 \quad (\text{II.11})$$

Подставляя значения (II.2) – (II.11) в выражение (II.1), получим:

$$\begin{aligned} \Delta \rho &= \sqrt{(-150,6)_1^2 (10^{-4})^2 + (-692,9)_2^2 (10^{-6})^2 + (-698,4)_3^2 (10^{-5})^2 + (-3,4910^{11})^2 (0,46110^{-12})^2 +} \\ &+ (3,2910^5)^2 (10^{-7})^2 + (-3,458210^{11})^2 (0,32510^{-12})^2 + (-0,910^{-6})^2 (10^{-7})^2 + (-0,910^{-6})^2 (10^{-5})^2 +} \\ &+ (-3,49810^{11})^2 (0,21310^{-12})^2 + (-1,4910^5)^2 (10^{-6})^2 + (0,6)^2 (10^{-2})^2 + (0,2)^2 (0,510^{-5})^2 =} \\ &= \sqrt{8,4910^{-2}} = 0,291. \end{aligned}$$

Доверительная граница погрешности измерения плотности в относительной форме при  $\alpha = 0,95$

$$\sigma_\rho = \frac{\Delta \rho}{\rho} \cdot 100\% = \frac{0,291}{661} \cdot 100\% = 0,044\%.$$

**Таблица П. 2.** Отклонение расчетных значений теплопроводности водных растворов этиленгликоля от литературных данных [154] в зависимости от температур и концентрации при атмосферном давлении ( $p = 0,101$ ) МПа.

Т,К	100% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>			90% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 10% H <sub>2</sub> O			80% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 20% H <sub>2</sub> O			70% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 30% H <sub>2</sub> O			60% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40% H <sub>2</sub> O			50% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50% H <sub>2</sub> O			40% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60% H <sub>2</sub> O			30% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70% H <sub>2</sub> O		
	Эксперименть данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперименть данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперименть данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперименть данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперименть данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперименть данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперименть данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперименть данных	Литературных данных	Отклонение %
293	251	246	2,0	273	266	2,6	293	288	1,7	318	310	2,5	348	338	2,5	378	368	2,7	418	406	2,9	450	448	0,4
303	252	247,4	1,8	274	274	0	296	302	-1,9	326	330	-1,2	356	356	0	388	388	0	432	424	1,8	464	466	-0,4
310	253	248,2	1,9	276	278	-0,7	298	306	-2,6	329	334	-1,4	360	362	-0,5	394	392	0,5	438	428	2,3	470	472	-0,4
323	254,8	250	1,9	278	280	-0,7	302	312	-3,2	336	340	-1,1	368	368	0	406	400	1,5	448	436	2,7	482	480	0,4
333	256	251,4	1,8	279	282	-1,0	306	314	-2,5	342	342	0	375	372	0,8	413	404	2,2	456	440	3,6	488	486	0,4
343	257	253	1,5	280	284	-1,4	308	316	-2,5	348	346	0,5	382	376	1,5	422	410	2,9	466	446	4,4	494	492	0,4
353	258	254	1,5	283	286	-1,0	310	318	-2,5	354	348	1,7	388	380	2,1	428	414	3,3	472	452	4,4	504	500	0,8
363	259,5	255	1,7	286	288	-0,6	312	320	-2,5	359	350	2,5	392	384	2,0	434	420	3,3	480	460	4,3	512	508	0,7

**Таблица П. 3.** Отклонение расчетных значений теплопроводности водных растворов этиленгликоля от литературных данных [101] в зависимости от температур и концентрации при атмосферном давлении ( $p = 0,101$ ) МПа.

Т,К	100% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>			90% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 10% H <sub>2</sub> O			80% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 20% H <sub>2</sub> O			70% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 30% H <sub>2</sub> O			60% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40% H <sub>2</sub> O			50% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50% H <sub>2</sub> O			40% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60% H <sub>2</sub> O			30% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70% H <sub>2</sub> O		
	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %
280	249,5	253	-1,3	269	273	-1,4	288	294	-2	314	320	-1,8	340	349	-2,5	366	380	-3,6	404	413	-2,1	435	450	-3,3
293	251	255	-1,5	273	276	-1,0	293	298	-1,6	318	324	-1,8	348	356	-2,2	378	388	-2,5	418	422	-0,9	450	460	-2,1
303	252	256	-1,5	274	278	-1,4	296	300	-1,3	326	328	0,6	356	360	-1,1	388	394	-1,5	432	432	0	464	474	-2,1
310	253	257	-1,5	276	280	-1,4	298	304	-1,9	329	332	-0,9	360	362	-0,5	394	398	-1,0	438	436	0,4	470	480	-2,0
323	254,8	258	-1,2	278	282	-1,4	302	306	-1,3	336	336	0	368	370	-0,5	406	406	0	448	446	0,4	482	492	-2,0
333	256	260	-1,5	279	284	-1,7	306	308	-0,6	342	338	1,1	375	375	0	413	412	0,2	456	454	0,4	488	500	-2,4
343	257	261	-1,5	280	286	-2,0	308	310	-0,6	348	344	1,1	382	380	0,5	422	420	0,4	466	462	0,8	494	508	-2,7
353	258	262	-1,5	283	288	-1,7	310	312	-0,6	354	346	2,3	388	384	1,0	428	426	0,4	472	470	0,4	504	520	-3,0
363	259,5	263	-1,3	286	290	-1,3	312	314	-0,6	359	348	3,1	392	388	1,0	434	430	0,9	480	474	1,2	512	524	-2,2

**Таблица П. 4.** Отклонение расчетных значений теплопроводности водных растворов этиленгликоля от литературных данных [157] в зависимости от температур и концентрации при атмосферном давлении ( $p = 0,101$ ) МПа.

Т,К	100% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>			90% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 10% H <sub>2</sub> O			80% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 20% H <sub>2</sub> O			70% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 30% H <sub>2</sub> O			60% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40% H <sub>2</sub> O			50% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50% H <sub>2</sub> O			40% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60% H <sub>2</sub> O			30% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70% H <sub>2</sub> O		
	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %
293	251	251	0	273	270	1,1	293	291	0,6	318	315	0,9	348	341	2,0	378	372	1,6	418	408	2,4	450	452	-0,4
303	252	252	0	274	273	0,3	296	295	0,3	326	320	1,8	356	347	2,5	388	378	2,6	432	414	4,3	464	460	0,8
310	253	253	0	276	275	0,3	298	298	0	329	323	1,8	360	350	2,8	394	382	3,1	438	421	4,0	470	469	0,2
323	254, 8	255	-0,07	278	277	0,3	302	300	0,6	336	326	3,0	368	356	3,3	406	391	3,8	448	430	4,1	482	480	0,4
333	256	256	0	279	279	0	306	303	0,9	342	330	3,6	375	362	3,5	413	396	4,2	456	440	3,6	488	491	-0,6
343	257	257	0	280	280	0	308	305	0,9	348	332	4,9	382	365	4,6	422	401	5,2	466	447	4,2	494	495	-0,2
353	258	258	0	283	282	0,3	310	307	0,9	354	335	5,6	388	367	5,7	428	403	6,2	472	450	4,8	504	502	0,3
363	259, 5	258	0,5	286			312			359			392			434			480			512		

**Таблица П.5.** Отклонение расчетных значений плотности водных растворов этиленгликоля от литературных данных [154] в зависимости от температур и концентрации при атмосферном давлении ( $p = 0,101$ ) МПа.

Т, К	100% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>			90% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 10% H <sub>2</sub> O			80% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 20% H <sub>2</sub> O			70% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 30% H <sub>2</sub> O			60% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40% H <sub>2</sub> O			50% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50% H <sub>2</sub> O			40% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60% H <sub>2</sub> O			30% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70% H <sub>2</sub> O		
	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %	Экспериментальные данные	Литературные данные	Отклонение %
273	1114	1126	-1,0	1106	1119	-1,1	1093	1111	-1,6	1083	1101	-1,6	1072	1089	-1,5	1058	1075	-1,5	1048	1061	-1,2	1036	1046	-0,9
280	1113	1121	-0,7	1104	1114	-0,8	1090	1106	-1,4	1081	1097	-1,4	1069	1086	-1,5	1057	1072	-1,3	1045	1059	-1,3	1035	1044	-0,8
293	1112	1113	-0,08	1100	1105	-0,7	1088	1097	-0,8	1079	1088	-0,8	1067	1077	-0,9	1056	1065	-0,8	1044	1052	-0,7	1033	1039	-0,5
303	1110	1105	0,4	1096	1098	-0,1	1084	1090	-0,5	1074	1081	-0,6	1063	1071	-0,7	1054	1060	-0,5	1040	1047	-0,6	1029	1035	-0,3
310	1109	1101	0,7	1094	1093	0,09	1083	1085	-0,1	1073	1075	-0,1	1061	1066	-0,4	1052	1055	-0,2	1039	1043	-0,3	1028	1031	-0,2
323	1107	1090	1,5	1092	1084	0,7	1082	1076	0,5	1071	1067	0,3	1059	1057	0,1	1051	1048	0,2	1038	1037	0,09	1027	1025	0,1
333	1105	1083	2,0	1090	1076	1,3	1081	1069	1,1	1070	1061	0,8	1058	1051	0,6	1049	1042	0,6	1037	1031	0,5	1026	1019	0,6
343	1104	1074	2,7	1088	1067	1,9	1080	1060	1,8	1068	1052	1,5	1057	1043	1,3	1047	1033	1,3	1035	1023	1,1	1024	1011	1,2
353	1103	1066	3,4	1086	1059	2,5	1078	1051	2,5	1066	1043	2,2	1056	1034	2,1	1045	1024	2,0	1033	1014	1,8	1022	1003	1,8
363	1102	1056	4,3	1084	1050	3,2	1076	1043	3,1	1064	1034	2,9	1054	1026	2,7	1044	1016	2,7	1031	1005	2,5	1020	994	2,6

**Таблица П.6.** Отклонение расчетных значений плотности водных растворов этиленгликоля от литературных данных [158] в зависимости от температур и концентрации при атмосферном давлении ( $p = 0,101$ ) МПа.

Т, К	100% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>			90% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 10% H <sub>2</sub> O			80% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 20% H <sub>2</sub> O			70% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 30% H <sub>2</sub> O			60% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 40% H <sub>2</sub> O			50% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 50% H <sub>2</sub> O			40% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 60% H <sub>2</sub> O			30% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 70% H <sub>2</sub> O		
	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %	Эксперимент данных	Литературных данных	Отклонение %
273	1114	1127	-1,5	1106	1120	-1,2	1093	1111	-1,6	1083	1101	-1,6	1072	1088	-1,4	1058	1075	-1,5	1048	1061	-1,2	1036	1046	-0,9
280	1113	1122	-0,8	1104	1115	-0,9	1090	1107	-1,5	1081	1096	-1,3	1069	1084	-1,3	1057	1071	-1,3	1045	1058	-1,2	1035	1044	-0,8
293	1112	1113	-0,08	1100	1106	-0,5	1088	1098	-0,9	1079	1088	-0,8	1067	1077	-0,9	1056	1064	-0,7	1044	1052	-0,7	1033	1038	-0,4
303	1110	1106	0,3	1096	1099	-0,2	1084	1091	-0,6	1074	1081	-0,6	1063	1071	-0,7	1054	1058	-0,3	1040	1047	-0,6	1029	1031	-0,1
310	1109	1101	0,7	1094	1094	0	1083	1086	-0,2	1073	1076	-0,2	1061	1066	-0,4	1052	1054	-0,1	1039	1042	-0,2	1028	1029	-0,09
323	1107	1093	1,2	1092	1085	0,6	1082	1077	0,4	1071	1067	0,3	1059	1057	0,1	1051	1046	0,4	1038	1035	0,2	1027	1023	0,3
333	1105	1085	1,8	1090	1078	1,1	1081	1069	1,1	1070	1060	0,9	1058	1051	0,6	1049	1040	0,8	1037	1029	0,7	1026	1018	0,7
343	1104	1078	2,4	1088	1070	1,6	1080	1062	1,6	1068	1053	1,4	1057	1044	1,2	1047	1034	1,2	1035	1023	1,1	1024	1011	1,2
353	1103	1070	3,08	1086	1063	2,1	1078	1054	2,2	1066	1046	1,9	1056	1036	1,9	1045	1026	1,8	1033	1016	1,6	1022	1005	1,6
363	1102	1063	3,6	1084	1055	2,7	1076	1046	2,8	1064	1038	2,5	1054	1028	2,5	1044	1018	2,5	1031	1009	2,1	1020	997	2,3



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ГУВОҲНОМА

Шахрванд Рафиев С.С.

муаллифи ихтирои *Дастгоҳи комплекси офтобӣ барои ҳосил намудани энергияи гармӣ ва барқ*

Ба ихтироъ  
нахустпатенти № ТҶ 919 дода шудааст.

Дорандаи  
нахустпатент Сафаров М.М., Абдужалилзода Ф.

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Сафаров М.М., Абдужалилзода Ф., Мирзоев С.Х.,  
Назарзода Х.Х., Заринова М.А., Гуломов М.М., Давлатов Р.Ҷ., Ҳакимов Д.Ш.,  
Абдуллоев М.А., Рачабова Д.Ш., Рачабов А.Р., Махмадиев Б.М.

Аввалияти ихтироъ 13.02.2018

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 13.02.2018

Аризаи № 1801177

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

27 июли с. 2018 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз 13 феввали с. 2018 то 13 феввали с. 2028

Ин гувоҳнома ҳангоми амалӣ гардонидани ҳукуку имтиёзҳое, ки барои муаллифони ихтироот бо қонунгузории ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Ч.Чумъахонзода





Республика Таджикистан

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ  
ВЕДОМСТВО(19) **TJ** (11) **919**(51) **МПК F24J2/00; F24J2/42**

## (12) **Описание изобретения**

### К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

(21) 1801177

(22) 13.02.2018

(46) Бюл.138, 2018

(71) Сафаров М.М.(ТJ); Абдужалилзода Ф. (ТJ).

(72) Сафаров М.М.(ТJ); Абдужалилзода Ф.(ТJ);

Мирзоев С.Х.(ТJ); Назарзода Х.Х.(ТJ);

Зарипова М.А.(ТJ); Гуломов М.М.(ТJ);

Давлатов Р.Дж.(ТJ); Хакимов Д.Ш.(ТJ);

Рафиев С.С.(ТJ); Абдуллоев М.А.(ТJ);

Раджабова Д.Ш.(ТJ); Раджабов А.Р.(ТJ);

Махмадиев Б.М.(ТJ).

(73) Сафаров М.М.(ТJ); Абдужалилзода Ф. (ТJ).

(54) **КОМПЛЕКСНАЯ СОЛНЕЧНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

(56) 1. Патент Российской Федерации RU № 2059168

2.Патент Российской Федерации RU № 2347152

3.Патент Российской Федерации RU № 2343367

(57) Изобретение относится к гелиоэнергетической технике и может быть применено для теплоснабжения потребителей в городских, сельских и горных условиях с использованием энергии солнечного излучения.

Установка содержит элементы из полупроводниковых элементов, емкость, патрубки для ввода холодного теплоносителя и отбора нагретого теплоносителя. Емкость окрашена в

серебристый цвет, 1/3 часть которой залита теплоаккумулирующим материалом - водным раствором метилового спирта и к боковой стенке емкости изнутри вмонтирован металлический змеевик, погруженный в теплоаккумулирующий материал. Устройство также содержит люксметр для измерения освещенности или солнечной радиации. В электрической цепи, в качестве полупроводников применены односпайная (хромель-алюмелевая) и дифференциальная (хромель-алюмель-хромелевая) термопары, подключенные к двум нановольтамперметрам, служащим для измерения температур, силы тока и напряжения. К одному нановольтамперметру подключены одни концы односпайной термопары, а другие - к точке крепления на стенке емкости. Ко второму нановольтамперметру одними концами подключена дифференциальная термопара, а двое других ее концов присоединены: один - к точке крепления емкости, а второй - к точки крепления на алюминиевой пластине. Алюмелевый полупроводник термопары соединен с точками крепления на емкости и алюминиевой пластине. К выходу второго нановольтамперметра, через ключ - с одной стороны и нагрузку - с другой стороны, присоединен аккумулятор для накопления электрической энергии.

Изобретение относится к гелиоэнергетической технике и может быть применено для теплоснабжения потребителей в городских, сельских и горных условиях с использованием энергии солнечного излучения.

Известна установка горячего водоснабжения [1]. Гелиоприемник выполнен не менее чем из двух солнечных коллекторов, бака-аккумулятора, патрубков подачи холодной и отбора горячей воды.

Другим аналогом является солнечная установка [2], содержащая солнечный коллектор, бак-аккумулятор, патрубки подвода и отвода теплоносителя, а также потребитель тепла и систему регулирования.

Прототипом является солнечная комбинированная установка для получения электрической энергии и тепла [3], содержащая полую вертикальную ось, на которой укреплены полые полусферические концентраторы, диаметры которых уменьшаются от нижерасположенных до верхнерасположенных, солнечные элементы, расположенные на нижней поверхности концентраторов, верхняя поверхность концентраторов, шарообразный полый резервуар для подогрева жидкости, емкость для накопления подогретой жидкости, труба для подачи подогретой жидкости, потребителям, солнечные лучи и патрубок для ввода жидкости (теплоносителя) в установку.

К основным недостаткам известных технических решений можно отнести большую материалоемкость, значительный объем, большие занимаемые площади и усложненные конструкции.

Целью изобретения является разработка комбинированного устройства для получения тепловой и электрической энергии более простого по конструкции с минимальными затратами.

Принципиальная схема установки приведена на Фиг. 1.

Установка состоит из окрашенной в серебристый цвет алюминиевой емкости 1, оснащенной заливной горловиной 2 с вентилями и сливным патрубком 3, 1/3 часть которой содержит теплоаккумуляторный материал 4 - водный раствор метилового спирта. Изнутри, к боковой стенке емкости 1, смонтирован металлический змеевик 5, погруженный в теплоаккумуляторный материал 4 и имеющий входной патрубок 6 для подачи холодной воды (теплоносителя) и выходной патрубок 7 для отбора нагретой воды. В электрической цепи устройства используются два нановольтамперметра (тестера) 8 модели UT71A/B/C/D/E. К одному нановольтамперметру подключены одни концы односпайной (хромель-алюмелевой) термопары 9, другие концы которой присоединены к точке крепления 10 на стенке емкости 1. Ко второму нановольтамперметру того

же типа одними концами подключена дифференциальная (хромель-алюмелевая-хромель) термопара 11, двое других ее концов присоединены: один - к точке крепления 10, а второй - к точке крепления 12 на алюминиевой пластине 13. Алюмелевый полупроводник термопары 11 соединяет точки 10 и 12. К выходу второго нановольтамперметра через ключ 14 - с одной стороны и нагрузку 15 - с другой стороны присоединен аккумулятор 16, служащий для накопления электрической энергии.

Для измерения температур, силы тока и напряжения емкости 1 и пластины 13 используют тестеры 8, а для измерения освещенности или солнечной радиации - люксметр 17.

Установка работает следующим образом. Посредством заливной горловины 2 с вентилями в емкость 1 до 1/3 его части заливают теплоаккумуляторный материал 4 - водный раствор метилового спирта, который устанавливают под солнцем. Под воздействием прямых солнечных лучей нагревается гелиопоглощающая поверхность емкости 1 и содержащийся в нем теплоаккумуляторный материал 4, которые в свою очередь, нагревают змеевик 5. Подаваемая холодная вода (теплоноситель) по входному патрубку 6 змеевика 5, нагреваясь, выходит через его выходной патрубок 7 и далее поступает к потребителю. Одновременно, вследствие нагревания в точке 10 на емкости 1 и холодного состояния в точке 12 на алюминиевой пластине 13, срабатывает эффект Петле. А именно, под влиянием разницы температур термопары 9 и 11 возникает термо Э.Д.С. и по цепи течет электрический ток силой 30 мА и напряжением 12В. При замкнутом ключе 14 выработанный электрический ток подается к нагрузке 15 и аккумулятору 16 для накопления заряда и далее - потребителю.

При подключении преобразователя вырабатываемый постоянный электрический ток можно преобразовать в переменный напряжением 220 В и частотой ~50 Гц.

Осуществимость заявленной разработки проверена на экспериментальном стенде. С целью определения наиболее эффективного времени года измерительные работы проводились ежедневно в течение трех месяцев - июль, август и октябрь.

В течение светового дня, каждые 30 мин, нановольтамперметрами 8 определяли температуру емкости 1 и алюминиевой пластины 13, и параллельно люксметром 17 измеряли освещенность. Одновременно тестером 8 измеряли электрический ток и напряжение, возникающих в точке 10 емкости 1 вследствие разности температур спаев дифференциальной термопары 11. Результаты полученных данных эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1.  
Зависимость изменений температуры ёмкость накопителя тепла и алюминиевой пластины при различных время проведение эксперимента

№	Время года	Дата и время	Температура емкости, °С	Температура алюминиевой пластины	Температура емкости и алюминиевой пластины вместе	Интервал времени измерений
1.	Июль	31.07.2017, 13 <sup>00</sup> - 13 <sup>30</sup>	74,0	31,8	60,0	9 <sup>00</sup> - 18 <sup>00</sup>
2.	Август	25.08.2017, 11 <sup>00</sup> - 11 <sup>30</sup>	73,6	31,8	58,6	9 <sup>00</sup> - 18 <sup>00</sup>
3.	Октябрь	30.10.2017, 11 <sup>30</sup> - 12 <sup>00</sup>	53,3	26,0	52,5	9 <sup>00</sup> - 17 <sup>30</sup>

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

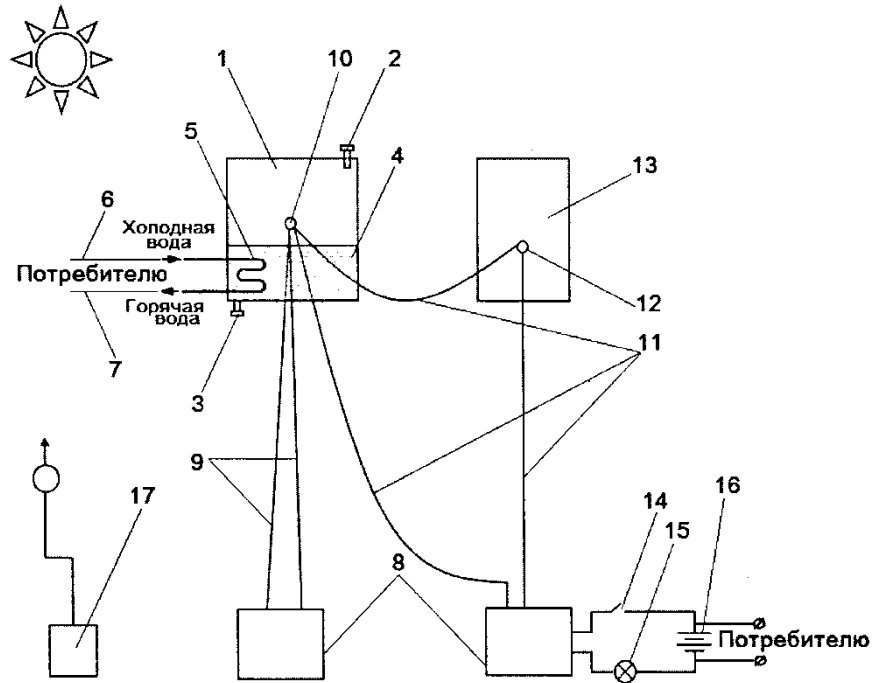
Комплексная солнечная установка для получения тепловой и электрической энергии, содержащая элементы из полупроводниковых элементов, емкость, патрубки для ввода холодного теплоносителя и отбора нагретого теплоносителя, отличающаяся тем, что емкость окрашена в серебристый цвет, 1/3 часть которой залита теплоаккумулирующим материалом - водным раствором метилового спирта, к боковой стенке емкости внутри вмонтирован металлический эмсевик, погруженный в теплоаккумулирующий материал, содержит люксметр для измерения освещенности или солнечной радиации, в электрической цепи, в качестве полупроводников применены односпайная (хромель-алюмелевая) и дифференциальная (хромель-алюмель-хромелевая) термопары, подключенные к двум нановольт-

амперметрам, служащим для измерения температур, силы тока и напряжения: к одному нановольтамперметру подключены одни концы односпайной термопары, а другие - к точке крепления на стенке емкости; ко второму нановольтамперметру одними концами подключена дифференциальная термопара, а двое других ее концов присоединены: один - к точке крепления емкости, а второй - к точке крепления на алюминиевой пластине, а ее алюмелевый полупроводник соединен с точками крепления на емкости и алюминиевой пластине; к выходу второго нановольтамперметра, через ключ - с одной стороны и нагрузку - с другой стороны, присоединен аккумулятор для накопления электрической энергии.

Компьютерный набор: Фатхуллаева М.С.

Заказ	Тираж	Подписное
Национальный патентно-информационный центр РТ734042, г. Душанбе, ул. Айни. 14а		

**КОМПЛЕКСНАЯ СОЛНЕЧНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ  
ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**



РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН  
ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин **Рафиев С.С.**

Является автором изобретения **Комплексная солнечная установка для получения  
тепловой и электрической энергии**

На изобретение выдан малый патент №ТJ **919**

Патентообладатель **Сафаров М.М., Абдужалилзода Ф.**

Страна **Республика Таджикистан**

Соавторы **Сафаров М.М., Абдужалилзода Ф., Мирзоев С.Х., Назарзода Х.Х.,  
Зарипова М.А., Гуломов М.М., Давлатов Р.Дж., Хакимов Д.Ш.,  
Абдуллоев М.А., Раджабова Д.Ш., Раджабов А.Р., Махмадиев Б.М.**

Приоритет изобретения **13.02.2018**

Дата подачи заявки **13.02.2018**

Заявка № **1801177**

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Республики Таджикистан

**23 июля 2018**

Малый действителен с **13 февраля 2018**  
Патент

г. по **13 февраля 2028** г.

Настоящее удостоверение предьявляется при реализации прав и льгот,  
установленных действующим законодательством



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ГУВОҲНОМА

Шахрванд Рафиев С.С.

муаллифи ихтирои *Дастгоҳ барои ченкунии коэффисиенти гармигузаронии  
наномоеъҳо*

Ба ихтироъ  
нахустпатенти № ТҶ 923 дода шудааст.

Дорандаи  
нахустпатент Сафаров М.М.

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Сафаров М.М., Мирзоев С.Ҳ., Зарипова М.А., Ғуломов М.М.,  
Собиров Ҷ.Ф., Файзиев Б.Ғ., Давлатов Р.Ҷ., Ҳақимов Д.Ш., Абдуллоев М.А.,  
Раҷабова Д.Ш., Раҷабов А.Р.

Аввалияти ихтироъ 10.10.2017

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 10.10.2017

Аризаи № 1701147

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

1 августи с. 2018 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
эътибор дорад аз 10 октябри с. 2017 то 10 октябри с. 2027

Ин гувоҳнома ҳангоми амалӣ гардонидани ҳукуку  
имтиёзҳои, ки барои муаллифони ихтироот бо қонунгузори  
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Ҷ. Ҷумъахонзода





Республика Таджикистан

(19) **TJ** (11) **923**  
(51) **МПК G01 N 25/00**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ  
ВЕДОМСТВО**(12) Описание изобретения**  
**К МАЛОМУ ПАТЕНТУ**

(21) 1701147

(22) 10.10.2017

(46) Бюл.138, 2018

(71) Сафаров М.М.(ТJ).

(72) Сафаров М.М.(ТJ); Мирзоев С.Х.(ТJ);  
Зарипова М.А.(ТJ); Гуломов М.М.(ТJ);  
Собиров Дж.Ф.(ТJ); Файзиев Б.Г.(ТJ);  
Давлатов Р.Дж.(ТJ); Хакимов Д.Ш.(ТJ);  
Рафиев С.С.(ТJ); Абдуллоев М.А.(ТJ);  
Раджабова Д.Ш.(ТJ); Раджабов А.Р.(ТJ).

(73) Сафаров М.М.(ТJ).

**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
НАНОЖИДКОСТЕЙ.**(56) I.П.С.Булкин, О.Н.Васильева, Т.И.Малова,  
Я.В.Пузырев. Изучение явлений переноса в  
воздухе.(57) Изобретение относится к теплофизике и  
может быть использовано для определения  
коэффициента теплопроводности наножд-

костей. Устройство содержит вакуумный насос и манометр, присоединенные через краник к внутреннему сосуду измерительной трубки, содержащей внешний сосуд с термостатирующей средой. По оси внутреннего сосуда установлен нагревательный элемент, присоединенный к последовательно соединенному источнику постоянного питания, постоянному резистору, амперметру и вольтметру, который параллельно присоединен к источнику питания и резистору. Устройство дополнительно оснащено емкостью из нержавеющей стали, содержащей исследуемый объект – нанождкость. Емкость посредством трубки через краники присоединена к полиэтиленовому мешочку, размещенному в прежимном сосуде, содержащем глицерин. Прежимной сосуд при помощи трубки присоединен к грузопоршневому манометру.



Изобретение относится к теплофизике и может быть использовано для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей.

В качестве прототипа принята установка [П.С.Булкин, О.Н.Васильева, Т.И.Малова, Я.В.Пузырев. Изучение явлений переноса в воздухе. МГУ им. В.И.Ломоносова. Физический факультет. Общий физический практикум. Москва. 2007 год] для определения теплопроводности газов и содержащая вакуумный насос манометр, присоединенных через краник к внутреннему сосуду измерительной трубки, содержащей внешний сосуд, внутри которого содержится термостатирующая среда - воздух. По оси внутреннего сосуда установлен нагревательный элемент - натянута проволока из никеля, которая замыкает электрическую цепь: присоединена к последовательно соединенным источнику постоянного питания, постоянному резистору, амперметру и вольтметру, параллельно присоединенному к источнику питания и резистору.

Недостатками прототипа являются ограничение исследуемых материалов (газов) и возможность определения теплопроводности только при одной комнатной температуре и атмосферном давлении.

Целью является разработка устройства для измерения переносных свойств наножидкостей, а именно их теплопроводности при различных температурах и давлениях с использованием разных термостатирующих веществ.

Технический результат достигается путем дополнительного оснащения конструкции прототипа емкостью с исследуемым объектом, прежимным сосудом, размещенным в нем полиэтиленовым мешочком и грузопоршневым манометром.

Принципиальная схема устройства приведена на Фиг. 1.

Устройство состоит из емкости 1, выполненной из нержавеющей стали и содержащая исследуемый объект 2 - наножидкость. Емкость 1 посредством трубки 3 через краники К1 и К2 присоединена к полиэтиленовому мешочку 4, размещенного в прежимном сосуде 5, содержащем глицерин 6. Прежимной сосуд 5 при помощи трубки присоединен к грузопоршневому манометру 7 (МП-2500 или МП-600). К трубке, соединяющей емкость 1 и прежимной сосуд 5, через краники К3 и К4 посредством трубки присоединены вакуумный насос 8 и манометр М, который также присоединен и к внутреннему сосуду 9 измерительной трубки, содержащей внешний сосуд 10, служащий в качестве рубашки и внутри которого содержится термостатирующая среда 11 (воздух, вода или масло). По оси внутреннего сосуда 8 установлен нагревательный элемент 12 - натянута проволока из никеля, которая замыкает электрическую цепь: присоединена к

последовательно соединенным источнику постоянного питания 13, постоянному резистору 14, амперметру А и вольтметру V, параллельно присоединенному к источнику питания 12 и резистору 13.

Устройство работает следующим образом.

Предварительно емкость 1 заполняют исследуемым объектом 2, а внешний сосуд 9 измерительной трубки - термостатирующей средой 10. Затем при комнатной температуре и атмосферном давлении в электрическую цепь подают постоянный электрический ток и поставив полученные значения вольтметра V и амперметра А в формулу (1) определяют мощность нагревательного элемента 11.

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

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

После перекрывают краны К1, К2 и К4 и при помощи насоса 7 в системе создают вакуум(давлением  $\approx 10^{-3}$  мм.рт. столба), достаточного для всасывания исследуемого объекта 2. Затем перекрывают кран К1 и открывают кран К3. Вследствие этого исследуемый объект 2 заполняет полиэтиленовый мешочек 3 прежимного сосуда 4 и внутренний сосуд 8 измерительной трубки. После чего перекрывают краны К3 и К1 и в электрическую цепь подают ток. В зависимости от вида термостатирующей среды 10 пошагово во времени нагревают нагревательный элемент 11: воздух каждые  $\approx 10$  мин до температуры 50°C, воду - каждые  $\approx 5$  мин - до 100°C и масло каждые  $\approx 5$  мин до 200°C. Одновременно, при помощи грузопоршневого манометра 6, пошагово каждые 4,9 МПа, увеличивают давление в исследуемом объекте 2.

Используя полученные данные, по формуле (1) определяют подводимую мощность нагревательного элемента 11 в зависимости от температуры, а по формуле (2) - его сопротивление в зависимости от давления. По формуле (2) определяют значение температуры опыта в измерительной ячейке.

$$R=R_0(1+\alpha(T-T_0)) \quad (2)$$

где,  
R- сопротивление никелевой проволоки (Ом); R<sub>0</sub>- сопротивление никелевой проволоки при комнатной температуре (Ом); α- коэффициент температурной зависимости от сопротивления(1/К); T<sub>0</sub> - комнатная температура (К); T - температуры опыта при пошаговом нагреве (К).

Поставив значения мощности и удельного сопротивления нагревательного элемента 11, с помощью которого определяется разность температур, по формуле (3) определяют коэффициент теплопроводности исследуемого объекта 2:

5

923

6

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{w \ln \left( \frac{r_1}{r_2} \right)}{2\pi L (T_1 - T_2)} \quad (3)$$

где,  $\lambda_{\text{ср}}$  - коэффициент теплопроводности исследуемых наножидкостей [Вт/(м.К)], W-

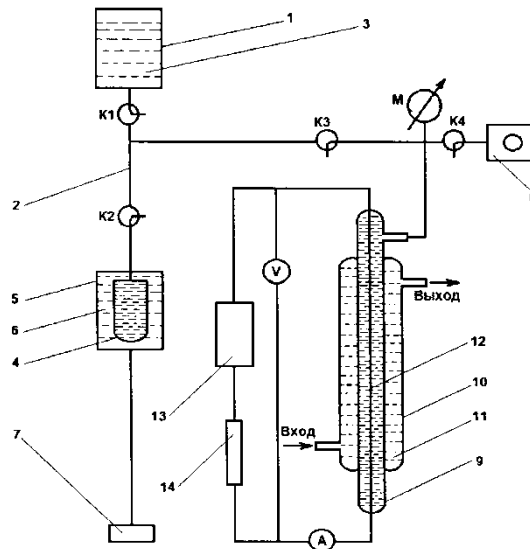
мощность никелевой проволоки (Вт);  $T_1 - T_0$  - разность температур (К); L-длина проводника (м);  $r_0$  - радиус никелевой проволоки (мм);  $r_1$  - внутренний радиус внешнего цилиндра (мм).

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Устройство для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей, содержащая вакуумный насос и манометр, присоединенные через краник к внутреннему сосуду измерительной трубки, содержащей внешний сосуд, внутри которого содержится термостатирующая среда - воздух, по оси внутреннего сосуда установлен нагревательный элемент - натянута проволока из никеля, которая замыкает электрическую цепь: присоединена к последовательно соединенным источнику постоянного питания, постоянному

резистору, амперметру и вольтметру, параллельно присоединенному к источнику питания и резистору, отличающееся тем, что дополнительно оснащено емкостью из нержавеющей стали, содержащей исследуемый объект - наножидкость, и которая посредством трубки через краники присоединена к полиэтиленовому мешочку, размещенному в прежимном сосуде, содержащем глицерин, присоединенном при помощи трубки к грузопоршневому манометру.

### УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НАНОЖИДКОСТЕЙ



Фиг. 1

Компьютерный набор: Фатхуллова М.С.

Заказ

Тираж

Подписное

Национальный патентно-информационный центр РГ734042, г. Душанбе,  
ул. Айни, 14а

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН  
ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин **Рафиев С.С.**

Является автором изобретения **Устройство для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей**

На изобретение выдан малый патент №TJ **923**

Патентообладатель **Сафаров М.М.**

Страна **Республика Таджикистан**

Соавторы **Сафаров М.М., Мирзоев С.Х., Зарипова М.А., Гуломов М.М., Собиров Дж.Ф., Файзиев Б.Г., Давлатов Р.Дж., Хакимов Д.Ш., Абдуллоев М.А., Раджабова Д.Ш., Раджабов А.Р.**

Приоритет изобретения **10.10.2017**

Дата подачи заявки **10.10.2017**

Заявка № **1701147**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан **1 августа 2018**

Малый действителен с **10 октября 2017** г. по **10 октября 2027** г.  
Патент

Настоящее удостоверение предъявляется при реализации прав и льгот, установленных действующим законодательством



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ШАҲОДАТНОМА

Шаҳрванд Рафиев С.С.

муаллифи ихтирон *Дастгоҳ барои ба таври автоматӣ муайян кардани гармигузаронии ҷисмҳои сахт*

Ба ихтироъ  
нахустпатенти № ТҶ 1185 дода шудааст.

Дорандан Сафаров М.М., Саидзода Қ.Б.  
нахустпатент

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Сафаров М.М., Саидзода Қ.Б., Зарипов Ҷ.А.,  
Сафаров Ш.Р., Зарипова М.А., Шарипов С.М., Тиллоева Т.Р., М. Ҷабборзода,  
Маҳмадиев Б.М., Умарализода М.У., Сафаров М.М.

Аввалияти ихтироъ 03.05.2021

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 03.05.2021

Аризаи № 2101552

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

27 сентябри с. 2021 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент

этибор дорад аз 3 майи с. 2021 то 3 майи с. 2031

Ин шаҳодатнома хангоми амалӣ гардонидани ҳуқуқи имтиёзхое, ки барои муаллифони ихтироот бо конунгузории ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН  
ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин **Рафиев С.С.**

Является автором изобретения **Установка для автоматизированного определения теплопроводности твердых тел**

На изобретение выдан малый патент №ТД **1185**

Патентообладатель **Сафаров М.М., Саидзода К.Б.**

Страна **Республика Таджикистан**

Соавторы **Сафаров М.М., Саидзода К.Б., Зарипов Дж.А., Сафаров Ш.Р., Зарипова М.А., Шарипов С.М., Тиллоева Т.Р., М. Джабборзода, Махмадиев Б.М., Умарализода М.У., Сафаров М.М.**

Приоритет изобретения **03.05.2021**

Дата подачи заявления **03.05.2021**

Заявление № **2101552**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан **27 сентября 2021**

Малый действителен с **3 мая 2021** г. по **3 мая 2031** г.  
Патент

Настоящее удостоверение предъявляется при реализации прав и льгот, установленных действующим законодательством





Республика Таджикистан

(19) **TJ** (11) 1185  
(51) **МПК G 01 N 25/00**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ  
ВЕДОМСТВО**(12) Описание изобретения**  
К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

1

(21) 2101552

(22) 03.05.2021

(46) Бюл. 176, 2021

(71)(73) Сафаров М.М. (TJ); Саидзода К.Б. (TJ)

(72) Сафаров М.М. (TJ); Саидзода К.Б. (TJ);

Зарипов Дж.А. (TJ); Сафаров Ш.Р. (TJ);

Зарилова М.А. (TJ); Шарипов С.М. (TJ);

Тиллоева Т.Р. (TJ); М. Джабборзода (TJ);

Махмадиев Б.М. (TJ); Умарализода М.У. (TJ);

Сафаров М.М. (TJ); Рафиев С.С. (TJ)

**(54) УСТАНОВКА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

(56) 1. Патент Российской Федерации RU 2456582.

2. Измерение теплоемкости: Метод. указания к лаб. работам / Сост.: В. И. Ляшков, В. А. Русин. Тамбов: Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2003. 16 с.

3. <https://gigabaza.ru/doc/8506.html>.

(57) Изобретение относится к области теплофизики, теплотехники, а также автоматизации процессов, и может быть использовано для определения теплопроводности твердых тел.

Сущность изобретения заключается в том, что к источнику переменного тока на 220 В подключен блок питания, содержащий выключатель регулиро-

2

вочного трансформатора с встроенным переменным резистором, соединенным с одним его выходом, к которому последовательно подключен ампер-метр (А). Вольтметр (В) параллельно подключен к переменному резистору (R) и одному концу самодельного нагревательного блока, подключенного к другому выходу регулирующему трансформатора. Нагревательный блок выполнен на базе осветителя микроскопа марки ОИ-32М, из коллектора которого изъята верхняя часть с линзой. В качестве измерительного столика установлена плоская алюминиевая пластина с загнутыми краями. Внутри вместо осветительной лампы накаливания под пластиной в качестве нагревательного элемента установлена нихромовая спираль, подключенная к амперметру. На пластине расположен исследуемый керамический образец цилиндрической формы. К нему в нижней и верхней точках установлены одни концы двух термодатчиков (хромель-алюмелевых термопар), а их другие концы подключены к двум нановольтамперметрам, которые соответственно подключены к USB-портам двух компьютеров с установленными в них специальными программами.

Данная установка позволяет проводить измерения при нагреве и охлаждении в интервале температур от 20 до 200°C и наоборот в динамическом режиме.

Изобретение относится к области теплофизики, теплотехники, а также автоматизации процессов, и может быть использовано для определения теплопроводности твердых тел.

Известно устройство [1] для измерения температуры, включающее основание, крышку и стеклянные волокна, на которых расположен образец, к которому приклеена термопара, а угольный термометр сопротивления установлен в отверстие у основания, нагреватель намотан по внешней поверхности крышки, в верхней части крышки установлено окно из оптического стекла, с одной стороны верхней крышки утоплена термопара калориметра, с другой стороны крышки расположена трубка-держатель калориметра, внутри которой проходят провода, а над окном расположен световод, подведенный к калориметру по трубке вместе с подводящими проводами.

Известно устройство [2], включающее блок питания, двойной тумблер, электрический нагреватель адиабатического калориметра, вольтметр и амперметр.

Устройстве включает следующие некоторые близкие признаки: подача питания на электрический нагреватель адиабатического калориметра с жидкостью, измерение падения напряжения и ток в цепи соответственно вольтметром и амперметром, нагревание электронагревателя с рабочим напряжением 25-30В, прогрев до заданной температуры (35-40°C), запись показаний термометра через каждые 0,5 мин до значений 4,40-4,60К. После этого выключают электронагреватель. В том же режиме (через каждые 0,5 мин) продолжают записывать показания термометра, заполняя протокол измерений.

В качестве прототипа принята установка ФПТ1-8 для определения теплоемкости твердых тел [3]. Установка состоит из трех основных частей: блока приборного, блока рабочего элемента и стойки. На передней панели блока приборного расположены: тумблер «СЕТЬ», который осуществляет подключение установки к сети питающего напряжения; тумблер «НАГРЕВ», который включает нагреватель; регулятор «НАГРЕВ», с помощью которого регулируется мощность нагревателя; вольтметр и амперметр с помощью которых измеряются напряжение и ток в цепи нагревателя; секундомер, с помощью которого измеряется время нагрева калориметра. Секундомер приводится в действие при включении питания блока приборного. Блок рабочего элемента закрыт спереди съемным экраном из органического стекла. При выполнении работы экран навешивается на заднюю стенку блока рабочего элемента. На панели блока рабочего элемента расположен цифровой термометр для измерения температуры. Внизу в гнездах размещены исследуемые образцы из различных материалов и рукоятка для установки образцов в нагреватель.

Общими недостатками перечисленных аналогов, в том числе и ближайшего аналога являются:

- сложность конструкции;
- большая погрешность измерений;
- длительность процесса осуществления способа измерений;

- большой шаг измерения параметров;
- проведение дополнительных действий, а именно запись и фиксация данных, составление таблиц, диаграмм и др.

Целью предложенного изобретения является разработка установки, позволяющей осуществить измерение теплопроводности твердых тел автоматизированным способом.

Поставленная цель достигается путем динамического нагрева твердых тел определенной формы с помощью вновь разработанной экспериментальной установки и одновременного измерения их теплопроводности.

Заявленные разработки поясняются графическими изображениями Фиг. 1 - 4.

На Фиг. 1 изображена принципиальная схема установки;

на Фиг. 2 - диаграмма зависимости изменения температуры испытываемого образца в верхней точке;

на Фиг. 3 - диаграмма зависимости температуры испытываемого образца в нижней точке;

на Фиг. 4 - диаграмма зависимости ( $ln\theta$ ) от времени охлаждения.

Сущность изобретения заключается в том, что (Фиг. 1) к источнику 1 переменного тока на 220 В подключен блок питания, содержащий выключатель 2 регулирующего трансформатора 3 с встроенным переменным резистором 4, соединенным с одним его выходом, к которому последовательно подключен амперметр 5 (А). Вольтметр 6 (В) параллельно подключен к переменному резистору 4 (R) и одному концу установленного нагревательного блока 7, подключенного к другому выходу регулирующего трансформатора 3.

Нагревательный блок 7 выполнен на базе осветителя микроскопа марки ОИ-32М, из коллектора которого изъята верхняя часть с линзой. Вместо них в качестве измерительного столика установлена плоская алюминиевая пластина 8 с загнутыми краями. Внутри вместо осветительной лампы накаливания под пластиной 8, в качестве нагревательного элемента установлена нихромовая спираль (на чертеже не показана), подключенная к амперметру 5. На пластине 8 расположен исследуемый керамический образец 9 цилиндрической формы. К нему для измерения температур в его нижней и верхней точках соответственно установлены одни концы двух термодатчиков (хромель-алюмелевых термопар) 10, а их другие концы подключены к двум нановольтамперметрам 11, которые соответственно подключены к USB-портам двух компьютеров 12 с установленными в них специальными программами.

Принцип работы изобретения заключается в том, что установка используется для керамического образца и осуществляется в два этапа таким образом: (см. Фиг. 2-4).

На первом этапе после подготовки всех элементов устройства от источника электроэнергии 1 через ключ 2 стабилизированного блока питания подают питание в нагревательный блок 7. Силу тока и напряжение контролируют соответственно по ам-

перметру 5 и вольтметру 6. При этом нагревается нихромовая спираль, которая в свою очередь нагревает алюминиевую пластину 8 и исследуемый керамический образец 9. Нижний и верхний термодатчики 10, преобразовывая тепло в электрические сигналы, передают его двум нановольтамперметрам 11, которые соответственно направляют их двум компьютерам 12. При помощи специальных программ компьютеры 12 считывают сигналы и пошагово регистрируют их каждые 1 сек, начиная с комнатной температуры до 130°C.

1185

На втором этапе после завершения первого этапа выключают установку и прекращают подачу питания. Исследуемому образцу 9 дают остыть до первоначальной температуры, а именно комнатной. При этом ход охлаждения образца 9 аналогично его нагреву по первому этапу пошагово регистрируют каждые 1 сек при помощи компьютеров 12.

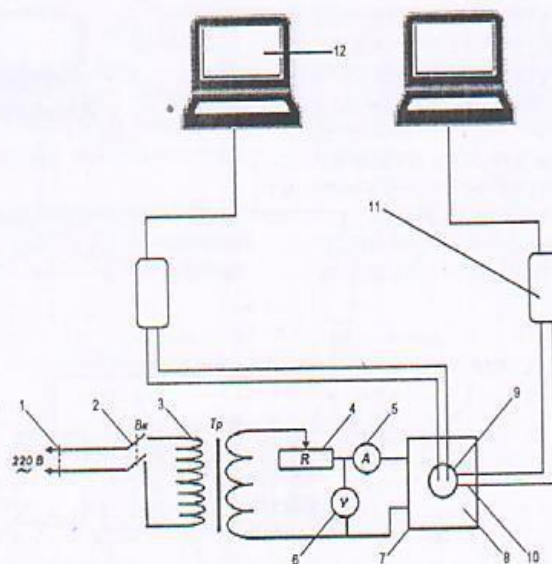
Таким образом, предложенная установка позволяет проводить измерения при нагреве и охлаждении в интервале температур от 20 до 200°C, и наоборот в динамическом режиме.

### Формула изобретения

Установка для автоматизированного определения теплопроводности твердых тел, содержащая исследуемый образец, блок питания, нагреватель, амперметр, вольтметр, отличающаяся тем, что блок питания содержит выключатель регулировочного трансформатора с встроенным переменным резистором, соединенным с одним его выходом, к которому последовательно подключен амперметр (А), вольтметр (В) параллельно подключен к переменному резистору (R) и одному концу нагревательного блока, подключенного к другому выходу регулировочного трансформатора, в качестве измерительного столика установлена плоская алюминиевая пластина с загнутыми краями, внутри которой, под пластиной уста-

новлены нихромовая спираль, подключенная к амперметру, на пластине расположен исследуемый керамический образец цилиндрической формы, к которому в нижней и верхней точках соответственно установлены одни концы двух термодатчиков (хромель-алюмелевых термопар), а их другие концы подключены к двум нановольтамперметрам, которые соответственно подключены к USB-портам двух компьютеров с установленными в них специальными программами.

Установка по пункту 1, отличающаяся тем, что нагревательный блок выполнен на базе осветителя микроскопа марки ОИ-32М, из коллектора которого изъята верхняя часть с линзой.



Фиг. 1



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ШАҲОДАТНОМА

Шахрванд Рафиев С.С.

муаллифи ихтирои *Дастгоҳи назораткунандаи самти офтоб*

Ба ихтироъ  
нахустпатенти № ТҶ 1202 дода шудааст.

Дорандаи Каримзода Чамшед Ҳалим  
нахустпатент

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Абдурахмонов А.Я., Абдуллоев Б.Т., Одинаев Н.Х.,  
Каримзода Ч.Х., Сафаралиев М.Д., Абдуллоев И.Т., Назарзода Х.Х.,  
Зувайдуллозода Ф.З., Фохаков А.С.

Аввалияти ихтироъ 07.12.2018

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 07.12.2018

Аризаи № 1801261

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

9-ноябри с. 2021 ба кайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз 7 декабри с. 2018 то 7 декабри с. 2028

Ин шаҳодатнома хангоми амалӣ гардонидани ҳукуку  
имтиёзхое, ки барои муаллифони ихтироот бо кунунгузори  
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН  
ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин **Рафиев С.С.**

Является автором изобретения **Устройство слежения за солнцем**

На изобретение выдан малый патент №ТJ **1202**

Патентообладатель **Каримзода Джамшед Халим**

Страна **Республика Таджикистан**

Соавторы **Абдурахмонов А.Я., Абдуллоев Б.Т., Одинаев Н.Х.,  
Каримзода Дж.Х., Сафаралиев М.Д., Абдуллоев И.Т.,  
Назарзода Х.Х., Зувайдуллозода Ф.З., Фохаков А.С.**

Приоритет изобретения **07.12.2018**

Дата подачи заявления **07.12.2018**

Заявление № **1801261**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан **9 ноября 2021**

Малый действителен с **7 декабря 2018** г. по **7 декабря 2028** г.  
Патент

Настоящее удостоверение предъявляется при реализации прав и льгот, установленных действующим законодательством



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ШАҲОДАТНОМА

Шахрванд Рафиев С.С.

муаллифи ихтирои *Тарзи муайян намудани коэффисиенти ҷаббиши  
наномавобҳо*

Ба ихтироъ  
нахустпатенти № ТҶ 1279 дода шудааст.

Дорандаи Сафаров М.М., Зарипов Ҷ.А., Зарипова М.А.  
нахустпатент

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Хаммуаллиф(он) Сафаров М.М., Зарипов Ҷ.А., Зарипова М.А.,

Махмадов С.А., Зоиров Х.А., Тиллоева Т.Р., Давлатов Н.Б.,

Абдуназаров С.С., Сафаров П.М., Сафаров М.М., Нейматов Ғ.Н.

Аввалияти ихтироъ 07.12.2021

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 07.12.2021

Аризаи № 2101613

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

19 июли с. 2022 ба кайд гирифта шуд

Нахустпатент

эътибор дорад аз 7 декабри с. 2021 то 7 декабри с. 2031

Ин шаҳодатнома хангоми амали гардонидани ҳукуку  
имтиёзҳое, ки барои муаллифони ихтироот бо конунгузории  
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН  
ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин Рафиев С.С.

Является автором изобретения Способ определения коэффициента адсорбции  
наноматериалов

На изобретение выдан малый патент №ТJ 1279

Патентообладатель Сафаров М.М., Зарипов Дж.А., Зарипова М.А.

Страна Республика Таджикистан

Соавторы Сафаров М.М., Зарипов Дж.А., Зарипова М.А., Махмадов С.А.,  
Зоиров Х.А., Тиллоева Т.Р., Давлатов Н.Б., Абдуназаров С.С.,  
Сафаров П.М., Сафаров М.М., Неъматов Г.Н.

Приоритет изобретения 07.12.2021

Дата подачи заявления 07.12.2021

Заявление № 2101613

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 19 июля 2022

Малый действителен с 7 декабря 2021 г. по 7 декабря 2031 г.  
Патент

Настоящее удостоверение предъявляется при реализации прав и льгот,  
установленных действующим законодательством





Республика Таджикистан

(19) **TJ** (11) 1279  
(51) **МПК: G01N 9/02;**  
**G01N 25/56**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ  
ВЕДОМСТВО(12) **Описание изобретения**  
К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

1

(21) 2101613  
(22) 07.12.2021  
(46) Бюл. 186, 2022  
(71)(73) Сафаров М.М. (ТJ); Зарипов Дж.А. (ТJ);  
Зарипова М.А. (ТJ)  
(72) Сафаров М.М. (ТJ); Зарипов Дж.А. (ТJ);  
Зарипова М.А. (ТJ); Махмадов С.А. (ТJ); Зоиров Х.А.  
(ТJ); Тиллоева Т.Р. (ТJ); Давлатов Н.Б. (ТJ);  
Абдуназаров С.С. (ТJ); Сафаров П.М. (ТJ); Сафаров  
М.М. (ТJ); Рафиев С.С. (ТJ); Незматов Г.Н. (ТJ)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА  
АДСОРБЦИИ НАНОМАТЕРИАЛОВ  
(57) Изобретение относится к области теплофизики и  
может быть использовано для определения коэффи-  
циента адсорбции наноматериалов, конкретно по-  
рошкообразных веществ.

Способ заключается в том, что в термостат и в  
установленный внутри него другой сосуд заливают  
воду комнатной температуры. Монтированную в нем  
полиметаллическую сеточную ячейку заполняют  
исследуемым образцом и нагревают воду в обеих  
сосудах. Причем воду в термостате нагревают до  
40°C и поддерживают ее постоянной, а воду во  
внутреннем сосуде нагревают пошагово каждые 1  
мин увеличивая температуру на каждые 5°C.  
Процессы нагревания, увеличения массы при  
влажном и сухом состоянии исследуемого образца  
фиксируют. По снятым данным составляют таблицу  
и диаграмму зависимости коэффициента адсорбции  
от времени увлажнения образца при различных  
температурах и массах. По полученным данным  
составляют другую таблицу с диаграммой кривой

2

уравнения, по которой определяют относительную  
зависимость коэффициента адсорбции при длитель-  
ности 5 мин при различных температурах. Для опре-  
деления погрешности измерений используют урав-  
нение:

$$\frac{\Gamma}{\Gamma_1} = -0.0071 \left(\frac{t}{t_1}\right)^2 + 0.0262 \left(\frac{t}{t_1}\right) + 0.9822$$

(1)

где

$\Gamma$  - коэффициент адсорбции,  $\Gamma_1$  - среднее  
значение коэффициента адсорбции,  $t$  - время, мин,  $t_1$   
- среднее значение времени адсорбции равно 5 мин.

На основании полученных результатов  
коэффициент адсорбции определяют по следующему  
уравнению:

$$\Gamma = \frac{\Delta m \cdot 10^{-6}}{m_1 \cdot 10^{-2} \mu \cdot 10^{-2}} = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 10^{-2}}{(m_1 \cdot \mu) \cdot 10^{-6}}, \left[ \frac{\text{мол}}{\text{кг}} \right]$$

(2)

где

$\Gamma$  - коэффициент адсорбции,  $m_1$  - масса  
исследуемого объекта в сухом виде (г);  $m_2$  - масса  
исследуемого объекта во влажном состоянии (г);  $\mu$  -  
молярная масса воды,  $[18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{мол}}{\text{кг}}]$ .

3

Изобретение относится к области теплофизики и может быть использовано для определения коэффициента адсорбции наноматериалов, конкретно порошкообразных веществ, например, при проведении лабораторных исследований в высших учебных заведениях, строительстве и других областях.

В результате патентного поиска аналогов, имеющих сходные существенные признаки с заявляемым изобретением, не выявлено.

Целью является разработка способа близкого по точности для определения коэффициента адсорбции порошкообразных веществ в зависимости от времени при различных температурах.

Поставленная цель достигается путем применения доступных устройств и средств.

Заявляемое техническое решение поясняется графическими материалами Фиг. 1 - 7, где

на Фиг. 1 приведена таблица 1 с исходными данными, полученными на опытах,

на Фиг. 2 - диаграмма зависимости коэффициента адсорбции от времени увлажнения исследуемого образца при различных температурах и массах,

на Фиг. 3 - таблица 2 относительной зависимости коэффициента адсорбции от времени при различных температурах,

на Фиг. 4 - диаграмма относительной зависимости коэффициента адсорбции от времени при различных температурах,

на Фиг. 5 - диаграмма относительной зависимости коэффициента адсорбции от времени увлажнения,

на Фиг. 6 - таблица 3 анализа результатов экспериментов для определения зависимости среднего значения массы и функциональной зависимости исследуемого образца от температуры,

на Фиг. 7 - диаграмма зависимости среднего значения массы исследуемого образца от температуры.

Способ осуществляется следующим образом. В термостат (наружный сосуд) и в установленный внутри него другой (внутренний) сосуд меньшего размера заливают воду комнатной температуры соответственно 1,5 л и 0,5 л. Монтированную в нем полиметаллическую сеточную ячейку заполняют исследуемым образцом массой 0,5 г. Затем нагревают воду в обоих сосудах. Причем воду в

1279

4

термостате нагревают до определенной температуры (40°C) и поддерживают ее постоянной, а воду во внутреннем сосуде нагревают пошагово каждые 1 мин увеличивая температуру на каждые 5°C. В ходе испарения воды исследуемый образец увлажняется и набирает вес. Процессы нагревания, изменения (увеличения) массы при влажном и сухом состоянии исследуемого образца в зависимости от его увлажнения во времени фиксируют. По полученным исходным данным при помощи компьютера (программы Excel) составляют таблицу 1 (Фиг. 1) и на ее основе диаграмму зависимости коэффициента адсорбции от времени увлажнения образцов при различных температурах и массах (Фиг. 2). Далее используя данные таблицы 1 определяют относительную зависимость коэффициента адсорбции от времени при различных температурах (таблица 2, Фиг. 3) и по полученным исходным данным составляют соответствующую диаграмму (Фиг. 4) с несколькими кривыми, образовавшимися в зависимости от введенных данных. Для определения относительной зависимости коэффициента адсорбции от времени увлажнения при шаге длительностью 5 мин (Фиг. 5) по той же компьютерной программе составляют диаграмму кривой уравнения. На основании этого с целью определения погрешности измерений используют следующее уравнение:

$$\frac{\Gamma}{\Gamma_1} = -0.0071 \left(\frac{t}{t_1}\right)^2 + 0.0262 \left(\frac{t}{t_1}\right) + 0.9822 \quad (1)$$

где

$\Gamma$  - коэффициент адсорбции,  $\Gamma_1$  - среднее значение коэффициента адсорбции,  $t$  - время, мин,  $t_1$  - среднее значение времени адсорбции равно 5 мин.

На основании изложенного и полученных результатов коэффициент адсорбции определяют по следующему уравнению:

$$\Gamma = \frac{\Delta m \cdot 10^{-3}}{m_2 \cdot 10^{-3} \mu \cdot 10^{-3}} = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 10^{-3}}{(m_1 \cdot \mu) \cdot 10^{-6}} \quad (2)$$

$\left[ \frac{\text{мол}}{\text{кг}} \right]$

где

$\Gamma$  - коэффициент адсорбции,  $m_1$  - масса исследуемого объекта в сухом виде (г);  $m_2$  - масса исследуемого объекта во влажном состоянии (г);  $\mu$  - молярная масса воды,  $\left[ 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{мол}}{\text{кг}} \right]$ .

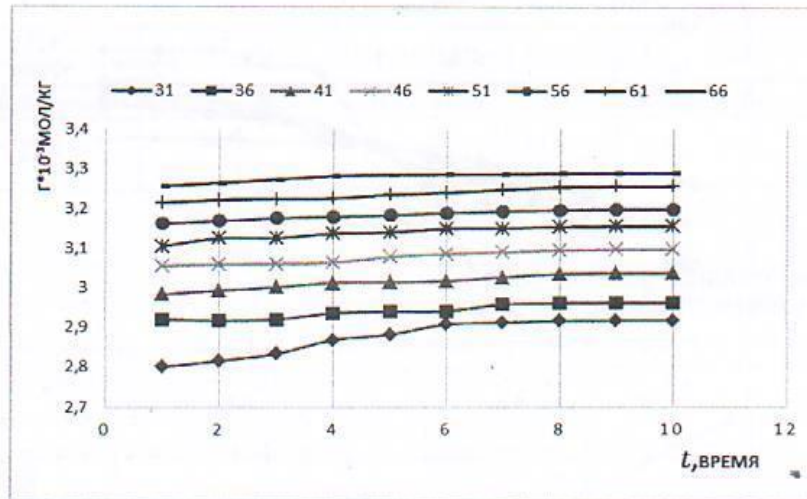
СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА  
АДСОРБЦИИ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Таблица  
Исходных данных на основе опытов

Таблица 1

T, °C	31	36	41	46	51	56	61	66
t, мин								
1	2,81	2,918	2,983	3,054	3,104	3,161	3,214	3,256
2	2,815	2,918	2,993	3,059	3,124	3,168	3,221	3,264
3	2,833	2,919	3,002	3,06	3,125	3,175	3,224	3,273
4	2,867	2,935	3,013	3,063	3,136	3,179	3,225	3,282
5	2,881	2,939	3,014	3,078	3,139	3,182	3,234	3,285
6	2,906	2,940	3,017	3,085	3,148	3,188	3,239	3,286
7	2,911	2,958	3,027	3,089	3,149	3,192	3,247	3,287
8	2,915	2,961	3,035	3,094	3,153	3,195	3,253	3,288
9	2,916	2,962	3,037	3,096	3,154	3,197	3,255	3,289
10	2,916	2,962	3,037	3,096	3,154	3,197	3,255	3,289

Фиг. 1



Фиг. 2

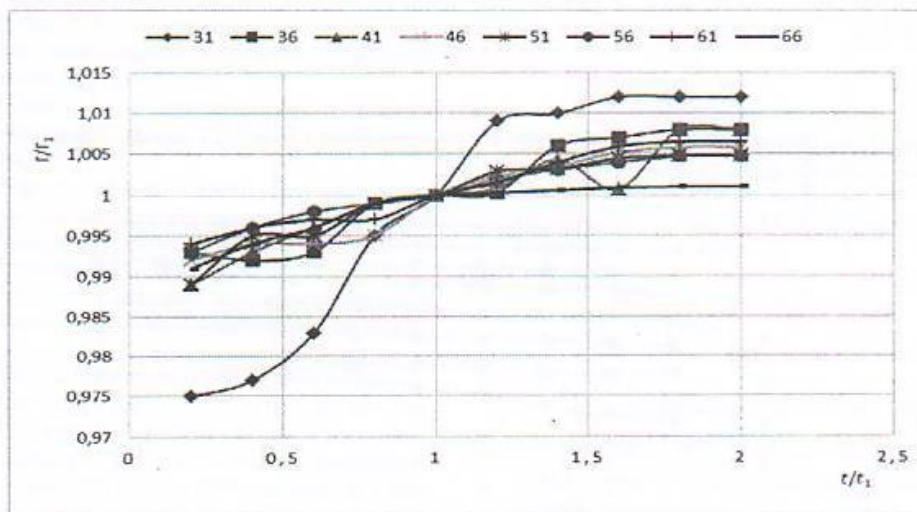
СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА  
АДСОРБЦИИ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Таблица  
относительной зависимости коэффициента адсорбции  
от времени при различных температурах

Таблица 2

t, C	31	36	41	46	51	56	61	66
0,2	0,975	0,993	0,989	0,992	0,989	0,993	0,994	0,991
0,4	0,977	0,993	0,993	0,994	0,995	0,996	0,996	0,994
0,6	0,983	0,993	0,996	0,994	0,995	0,998	0,997	0,996
0,8	0,995	0,999	0,999	0,995	0,999	0,999	0,997	0,999
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,2	1,009	1,0003	1,0009	1,0023	1,0029	1,0019	1,0015	1,0003
1,4	1,01	1,006	1,0043	1,0035	1,0032	1,0031	1,004	1,0006
1,6	1,012	1,007	1,0069	1,0052	1,0045	1,004	1,0059	1,0009
1,8	1,012	1,008	1,0076	1,0058	1,0048	1,0047	1,0065	1,001
2	1,012	1,008	1,0076	1,0058	1,0048	1,0047	1,0065	1,001

Фиг. 3



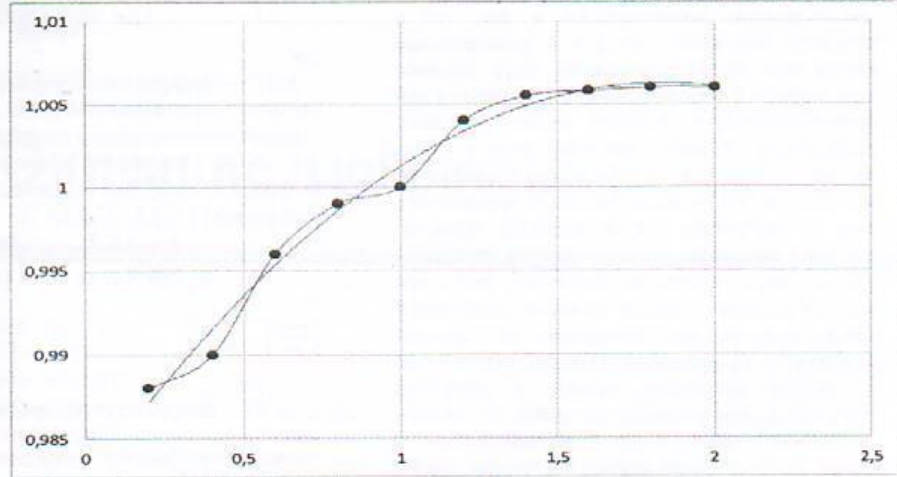
Фиг. 4



9

1279

10

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА  
АДСОРБЦИИ НАНОМАТЕРИАЛОВ

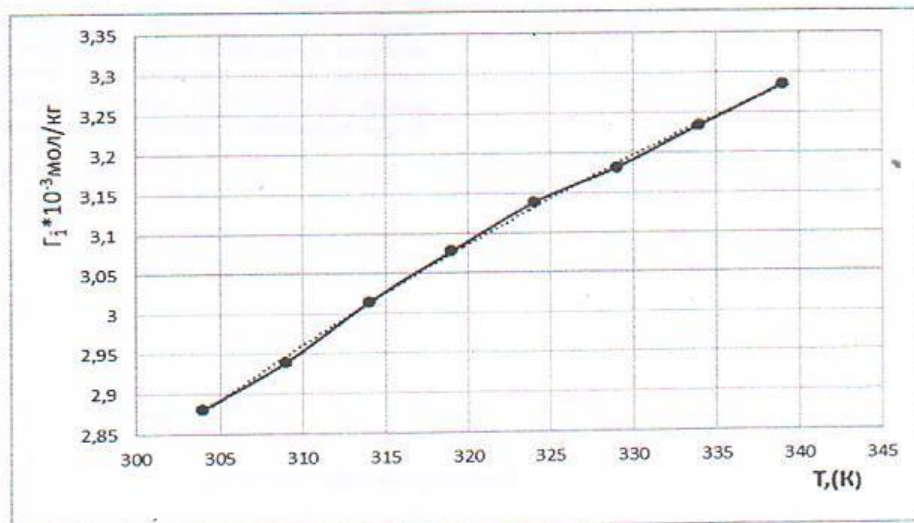
Фиг. 5

Таблица  
анализа результатов экспериментов для определения зависимости среднего значения массы и функциональной зависимости исследуемого образца от температуры

Таблица 3

Т, К	304	309	314	319	324	329	334	339
$\Gamma_1 \cdot 10^{-3}$ , мол/кг	2,881	2,939	3,014	3,078	3,139	3,182	3,234	3,285
Погрешность, %	-1%	-1,4%	-1,1%	-1,1%	-1%	-1,4%	-1,3%	-1,2%
$\Sigma$ , %	-1,2%							

Фиг. 6

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА  
АДСОРБЦИИ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Фиг. 7

## Формула изобретения

Способ определения коэффициента адсорбции наноматериалов, заключающийся в том, что в термостат (наружный сосуд) и в установленный внутри него другой (внутренний) сосуд заливают воду комнатной температуры, монтированную в нем полиметаллическую сеточную ячейку заполняют исследуемым образцом, нагревают воду в обеих сосудах, причем воду в термостате нагревают до температуры 40°C и поддерживают ее постоянной, а воду во внутреннем сосуде нагревают пошагово каждые 1 мин увеличивая температуру на каждые 5°C, процессы нагревания, увеличения массы при влажном и сухом состоянии исследуемого образца в зависимости от его увлажнения во времени фиксируют, по исходным данным при помощи компьютера составляют таблицу и диаграмму зависимости коэффициента адсорбции от времени увлажнения образца при различных температурах и массах, по полученным данным составляют другую таблицу с диаграммой кривой уравнения, по которой определяют относительную зависимость коэффициента адсорбции при длительности 5 мин при различных температурах, для определения погрешности измерений используют уравнение:

$$\frac{\Gamma}{\Gamma_1} = -0.0071 \left( \frac{t}{t_1} \right)^2 + 0.0262 \left( \frac{t}{t_1} \right) + 0.9822 \quad (1)$$

где

$\Gamma$  - коэффициент адсорбции,  $\Gamma_1$  - среднее значение коэффициента адсорбции,  $t$  - время, мин,  $t_1$  - среднее значение времени адсорбции равно 5 мин, и на основании полученных результатов коэффициент адсорбции определяют по следующему уравнению:

$$\Gamma = \frac{\Delta m \cdot 10^{-3}}{m_1 \cdot 10^{-2} \mu \cdot 10^{-2}} = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 10^{-3}}{(m_1 \cdot \mu) \cdot 10^{-6}}$$

$$\left[ \frac{\text{мол}}{\text{кг}} \right] \quad (2)$$

где

$\Gamma$  - коэффициент адсорбции,  $m_1$  - масса исследуемого объекта в сухом виде (г);  $m_2$  - масса исследуемого объекта во влажном состоянии (г);  $\mu$  - молярная масса воды,  $[18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{мол}}{\text{кг}}]$

Компьютерный набор: Нигораи А.

Заказ

Тираж

Подписное

Национальный патентно-информационный центр РТ 734042 г. Лушанба, ул. Айни, 14а



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени академика М.С. Осими

734042, Душанбе, просп. академиков Раджабовых, 10, Тел: (+992 37) 221-35-11,

Факс: (+992 37) 221-71-35, E-mail: rector.ttu@mtu.tj, Web: www.ttu.tj



Ректор М.С. Осими

М.С. Осими

« 07 » 09 2023г.

#### А К Т

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Рафиева Саидбега Самиевича на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» на тему «Исследование теплофизических и термодинамических свойств теплоносителей внедренных нанопорошка гидразина»

Комиссия в составе председателя комиссии - проректора по учебной работе, к.т.н., доцента Маджидзода Т.С. и членов комиссии: начальника учебно-методического управления, д.т.н., доцента Фохакова А.С., заведующего кафедрой «Теплотехника и теплоэнергетика (ТТ и ТЭ)», к.т.н., доцента Тагоева С.А., и.о. профессора кафедры «ТТ и ТЭ», д.т.н., доцента Зарифзода М.А. и доцента кафедры «ТТ и ТЭ» к.т.н., доцента Зарипова Дж.А. свидетельствует о том, что материалы диссертационной работы Рафиева Саидбега Самиевича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **01.04.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»**, имеют теоретическую и практическую значимость, заключающуюся в модернизации опытных устройств по исследованию теплопроводности, плотности и вязкости жидких веществ, получении экспериментальных данных по теплопроводности, плотности и вязкости теплоносителя - водного раствора этиленгликоля в зависимости от температуры, давления и концентрации нанопорошка гидразина, получении эмпирических уравнений, с помощью которых можно проводить численный расчет данных параметров и прогнозирование теплофизических и реологических свойств исследуемых объектов с учетом параметров состояния и концентрации нанопорошка.

Результаты диссертации являются новыми, базируются на строгих физико-химических утверждениях и рекомендуются в качестве справочного и расчетного материала при решении общих задач тепломассопереноса, а также при разработке принципиально новых и более эффективных теплоносителей. Они могут быть также использованы в образовательном процессе.

**Реализация материалов диссертации Рафиева Саидбега Самиевича:**

- в учебном процессе при изучении дисциплин: «Системы производства и распределения энергоносителей», «Тепло – и массообменные оборудования предприятий» «Теоретические основы теплотехники», для специальностей кафедры «Теплотехника и теплоэнергетика»;

- при выполнении научно-исследовательских работ по направлению исследование теплофизических и термодинамических свойств жидких теплоносителей;

- при подготовке выпускных квалификационных работ бакалавров.

Использование результатов диссертационной работы позволяет повысить качество преподавания вышеуказанных дисциплин и работ.

**Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:**

**Рафиев, С.С.** Кинематическая вязкость теплоносителей, внедренных в них нанопорошка гидразина / С.С. Рафиев // Вестник Бохтарского государственного университета им. Н. Хусрава (научный журнал). Серия естественных наук. – Бохтар, 2021. №2/4 (93), С. 54-58. **Рафиев, С.С.** Коэффициент адсорбции нанопорошка гидразина в адсорбенте воды при различном времени увлажнения / С.С. Рафиев, М.М. Сафаров, Ш.З. Нажмудинов // Вестник Технологического университета Таджикистана, ТУТ, Душанбе, 2019, №2 (37), С.22-28. **Рафиев, С.С.** Устройство для определения коэффициента адсорбции теплопроводности наножидкостей / М.М. Гуломов, С.С. Рафиев, Д.Ш. Раджабова, А.Р. Раджабов и др. // Патент Республики Таджикистан, №TJ 923, 2017. -5 с. **Рафиев, С.С.** Адсорбционные, теплофизические, термодинамические свойства некоторых наночастиц и их влияния на поведение теплоносителей / М.М. Сафаров, Т.Р. Тиллоева, З.Ю. Норов, С.С. Рафиев // Материалы 10-0й школы-семинара молодых учёных и специалистов «Проблемы тепломассобмена и гидродинамики в энергомашиностроении – Казань, 2016. С.217-220.

**По результатам реализации получен следующий положительный эффект:**

- усовершенствованы экспериментальные установки, позволяющие выполнить комплексное измерение теплофизических и реологических

свойств объектов исследования при заданном интервале температуры и давления;

- получены эмпирические уравнения, позволяющие рассчитать плотность, теплопроводность и реологические свойства технического этиленгликоля в зависимости от температуры, давления и концентрации нанопорошка гидразина.

Учитывая научное и практическое значение работы, основные её достижения рекомендуются использовать в учебном процессе на лекционных и практических занятиях по курсам «Системы производства ии распределения энергоносителей», «Тепло – и массообменные оборудования предприятий» «Теоретические основы теплотехники» для специальностей кафедры «Теплотехника и теплоэнергетика».

#### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ

Проректор по учебной работе,  
к.т.н., доцент

Маджидзода Т.С.

#### ЧЛЕНЫ КОМИССИИ:

Начальник учебно-методического  
управления, д.т.н., доцент

Фохаков А.С.

Зав. кафедрой «ТТ и ТЭ»,  
к.т.н., доцент

Тагоев С.А.

И.о. профессора кафедры «ТТ и ТЭ»  
д.т.н., доцент

Зарифзода М.А.

Доцент кафедры «ТТ и ТЭ»  
к.т.н., доцент

Зарипов Дж.А.

Подписи к.т.н., доцента Маджидзода Т.С., д.т.н., доцента Фохакова А.С., к.т.н., доцента Тагоева С.А., д.т.н., доцента Зарифзода М.А. и к.т.н., доцента Зарипова Дж.А. заверяю:

Начальник отдела кадров и специальных работ  
ТТУ им. акад. М.С. Осими

Кодирзода Н.Х.





«Утверждаю»

профессор Таджикского государственного педагогического университета имени Садрриддина Айни

Ибодуллозода А.

«28» 08 2023 г.

### АКТ

научно-технической комиссии о реализации и внедрении научных положений и выводов кандидатской диссертации Рафиева Саидбега Самиевича на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» на тему: «Исследование теплофизических и термодинамических свойств теплоносителей внедренных нанопорошка гидразина».

**Комиссия в составе:** проректора по научной работе ТГПУ имени Садрриддина Айни, профессора Сангинзода Д., зав. кафедрой общей физики ТГПУ имени Садрриддина Айни, кандидата технических наук, доцента Сияхакова С. М., профессора кафедрой общей физики ТГПУ имени Садрриддина Айни Кадирова Б. А., кандидата физико-математических наук, доцента кафедрой общей физики ТГПУ имени Садрриддина Айни Неъматова А., кандидата технических наук, и. о. доцента кафедры общей физики ТГПУ имени Садрриддина Айни Мирзомамадова А.Г. -свидетельствуют о том, что по результатам исследования коэффициента эффективной теплопроводности, температуропроводности, плотности, коэффициента динамической и кинематической вязкости технических растворов этиленгликоля при разных параметрах состояния  $T=(273-363)$  К и  $P=(0,101-14,42)$  МПа были получены следующие научные результаты, указанные в кандидатской диссертации Рафиева Саидбега Самиевича:

- в получении данных по теплофизическим, термодинамическим и кинетическими характеристикам теплоносителей, состоящих из двух и трех компонентов, которые используются в качестве достоверных справочных данных в инженерно-технических расчетах промышленного масштаба и узкого направления какой-либо отрасли, при установлении температурных режимов работы разного назначения физических механизмов и устройств (особенно в солнечных коллекторах), а также при создании как математических, так и химических моделей;

- в применении результатов исследования в научных и учебных целях соответствующих направлениях специальностей ВУЗов;

- впервые комплексно было проведено исследование реологических, теплофизических и кинетических свойств этиленгликоля, нанопорошка гидразина и их растворов в интервале температур (273-363) К и давлений (0,101-14,42) МПа;

- установлено монотонное изменение физико-химических свойств с ростом концентрации нанопорошка гидразина в теплоносителей, исследованию которых посвящена представленная работа;

- усовершенствован ряд опытных установок, в результате чего стало возможным исследование реологических, термодинамических и теплофизических свойств растворов полистирола в интервале температур (273-363) К и давлений (0,101-14,42) МПа;

- получены впервые эмпирические уравнения для расчёта теплофизических свойств, рассматриваемых образцов в температурном интервале от 273 до 363К с изменением давления от 0,101 до 14,42МПа и установлена корреляция между этими параметрами;

- создана аппаратура для измерения теплофизических свойств, которые используются в научных и учебных лабораториях кафедры общей физики,

Таджикского государственного педагогического университета имени Садриддина Айни, аспирантами и преподавателями для выполнения научных работ, а также студентами, магистрантами, при выполнении дипломных, курсовых и лабораторных работ.

**Председатель комиссии:**

Проректор по науке ТГПУ

имени Садриддина Айни, профессор

Сангинзода Д.

**Члены комиссии:**

Зав. кафедрой общей физики ТГПУ

имени Садриддина Айни, к.т.н, доцент

Сияхаков С. М.

Доцент кафедры общей физики ТГПУ

имени Садриддина Айни

Неъматов А.

Профессор кафедры общей физики ТГПУ

имени Садриддина Айни

Кадиров Б. А.

И.о. доцента кафедры общей физики

ТГПУ имени Садриддина Айни

Мирзомамадов А.Г.

Подписи проректора по науке Сангинзода Д., профессора ТГПУ имени Садриддина Айни, Кадирова Б. А., доцентов Неъматова А., Сияхакова С. М., Мирзомамадова А.Г.

Заверяю:

Начальник ОК и СР ТГПУ

имени Садриддина Айни



Мустафозода А.



«Утверждаю»

Директор ГНУ «Научно-исследовательский институт промышленности»

к.т.н.  М. Баротов

« 08 » \_\_\_\_\_ 2023 г.



## АКТ

научно-технической комиссии о реализации и внедрении научных положений и выводов кандидатской диссертации Рафиева Саидбега Самиевича на соискание ученой степени кандидата технических наук, по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» на тему: «**Исследование теплофизических и термодинамических свойств теплоносителей внедренных нанопорошка гидразина**».

**Комиссия в составе:** д.х.н. доцента Раджабова С. И., - председатель, членов комиссии: с.н.с. Каюмова А.И., с.н.с. Таваровой Д. свидетельствуют о том, что по результатам исследования коэффициента эффективной теплопроводности, температуропроводности, плотности, коэффициента динамической и кинематической вязкости технических растворов этиленгликоля при разных параметрах состояния  $T=(273-363)K$  и  $P=(0,101-14,42)MPa$  были получены следующие научные результаты, указанные в кандидатской диссертации Рафиева Саидбега Самиевича:

- в получении данных по теплофизическим, термодинамическим и кинетическими характеристикам теплоносителей, состоящих из двух и трех компонентов, которые используются в качестве достоверных справочных данных в инженерно-технических расчетах промышленного масштаба и узкого направления какой-либо отрасли, при установлении температурных режимов работы разного назначения физических механизмов и устройств (особенно в солнечных коллекторах), а также при создании как математических, так и химических моделей;

- результаты исследования применяются в научных и учебных целях соответствующими направлениями специальностей ВУЗов;

- впервые было проведено комплексное исследование реологических, теплофизических и кинетических свойств этиленгликоля, нанопорошка гидразина и их растворов в интервале температур (273-363) К и давлений (0,101-14,42) МПа;

- установлено монотонное изменение физико-химических свойств с ростом концентрации нанопорошка гидразина в теплоносителях, исследованию которых посвящена представленная работа;

- усовершенствован ряд опытных установок, в результате чего стало возможным исследование реологических, термодинамических и теплофизических свойств растворов полистирола в интервале температур (273-363) К и давлений (0,101-14,42) МПа;

- получены эмпирические уравнения для расчёта теплофизических свойств, рассматриваемых образцов в температурном интервале от 273 до 363К с изменением давления от 0,101 до 14,42МПа и установлена корреляция между этими параметрами;


- данные результаты исследования, полученные автором могут быть использованы в качестве справочника в ГНУ «Научно-исследовательский институт промышленности» Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан.

Председатель комиссии:

 Раджабов С.И.

Члены комиссии:

 Каюмов А.И.

 Таварова Д.

Заверяю:

Старший инспектор ОК

  
 Шукриева Н.А.