

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН  
ТАДЖИКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. С. АЙНИ**

*На правах рукописи*

**УДК 519.72:66.022.6**

**НАЗРУЛЛОЕВ Абдукодир Садуллоевич**

**ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ АМФОТЕРНЫХ ОКСИДОВ  
МЕТАЛЛОВ НА ФИЗИКОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ГИДРАЗИНГИДРАТА**

**05.02.01 – материаловедение  
(в химической промышленности)**

**ДИССЕРТАЦИЯ  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Научные руководители:  
доктор технических наук, профессор  
Сафаров Махмадали Махмадиевич,  
доктор технических наук, доцент  
Зарипова Мохира Абдусаломовна**

*Душанбе – 2018*

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	<b>ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ ....</b>	6
	<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	7
<b>ГЛАВА 1</b>	<b>ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ.....</b>	14
1.1	Основные характеристики исследуемых объектов.....	14
1.2	Гидразингидрат, теплофизические свойства гидразингидрата и гидразинзамещённые водные растворы (обзор).....	23
<b>ГЛАВА 2.</b>	<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ГИДРАЗИНГИРАТ +НАНОСТРУКТУРНЫЕ АМФОТЕРНЫЕ ОКСИДЫ МЕТАЛЛОВ (<math>Al_2O_3</math>, <math>Fe_2O_3</math>, <math>TiO_2</math>, <math>d_{cp}=30, 50, 70, 90</math> нм).....</b>	39
2.1	Экспериментальная измерительная установка для измерения теплопроводности в зависимости от давления (Патент РТ №ТJ 316) .....	39
2.2	Экспериментальная установка, позволяющая при атмосферном давлении определять плотность растворов и жидкостей.....	40
2.3	Установка для определения электрофизических свойств магнитных жидкостей при различном давлении под влиянием магнитного поля (Патент РТ № ТJ 372) .....	43
2.4	Устройство для определения электрофизических свойств электролитов в зависимости от давления (Патент РТ №ТJ 371) .....	44
2.5	Способ измерения диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков (Патент РТ №ТJ 210) .....	48
2.6	Теплоемкость наножидкостей, методы ее измерения при различных температурах и давлениях.....	52
2.6.1	Установка для экспериментального исследования удельной теплоемкости жидкостей в зависимости от температуры при атмосферном давлении.....	52
2.6.2	Описание экспериментальной установки для измерения удельной теплоемкости жидкостей и растворов при высоких параметрах состояния	54
2.7	Установка для измерения теплопроводности наножидкостей в зависимости от температуры и давления.....	58
2.7.1	Порядок проведения опытов и вычисления уравнение для теплопроводности.....	66

2.8	Оценка погрешности измерения теплофизических свойств исследуемых веществ.....	68
<b>ГЛАВА 3.</b>	<b>ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ ГИДРАЗИНГИДРАТ + НАНОСТРУКТУРНЫЕ АМФОТЕРНЫЕ ОКСИДЫ МЕТАЛЛОВ</b>	<b>77</b>
3.1	Плотность, теплоемкость, теплопроводность, и электрофизические свойства гидразингидрата с добавкой наноструктурных амфотерных оксидов металлов при различных температурах и атмосферном давлении	77
3.1.1	Теплоемкость гидразингидрата с добавкой наноструктурных амфотерных оксидов металлов при различных температурах и атмосферном давлении. ....	77
3.2	Теплопроводность, плотность, теплоемкость и электропроводность гидразингидрата+наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ , $TiO_2$ , $d=30, 50, 70, 90$ нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3г) в зависимости от давления при комнатной температуре.....	91
3.3	Теплопроводность наножидкостей системы амфотерных оксидов металлов и гидразингидрата при высоких параметрах состояний.....	95
3.4	Термодинамические свойства исследуемых объектов при различных температурах.....	104
<b>ГЛАВА 4</b>	<b>АНАЛИЗ, ОБРАБОТКА И ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ. ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ АМФОТЕРНЫХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОГО ГИДРАЗИНГИДРАТА.....</b>	<b>108</b>
4.1	Анализ экспериментальных данных по теплофизическим, термодинамическим свойствам.....	108
4.2	Обработка и обобщение экспериментальных данных теплофизических свойств исследуемых систем в зависимости от температуры при атмосферном давлении.....	111

4.3	Обработка и обобщение экспериментальных данных теплофизических свойств исследуемых систем наноструктурных амфотерных оксидов металлов в зависимости от давления при комнатной температуре.....	120
4.4	Влияние температуры, давления на изменение теплофизических, термодинамических и электрофизических свойств системы гидразингидрат+наноструктурные амфотерные оксиды металлов.....	128
	<b>ВЫВОДЫ.....</b>	<b>133</b>
	<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>135</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ.....</b>	<b>163</b>

.

## ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)

$C_p$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)

$\tau$  – время, с

$T$  – температура, К

$Q$  количество тепла, Дж

$F_0$  – критерий Фурье;

$P$  давление, Па

$\Delta T$  разность значений температур, К

$Pr$  критерий Прандтля;

$Gr$  критерий Грасгофа;

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>

$t_{a,nl}$  коэффициент Стьюдента;

$\alpha$  – доверительная вероятность;

$\alpha_p$  – коэффициент теплового расширения, К

$\beta_T$  изотермическая сжимаемость, 1/Па

$P_i$  внутреннее давление, Па

$C_V$  изохорная теплоемкость, Дж/(м<sup>3</sup>·К)

$M$  молярная масса, кг/мол

$m$  темп регулярного охлаждения, 1/с

$U$  показания потенциометра, В

$\alpha_{\text{луч.}}$  коэффициент теплоотдачи излучением;

$\varepsilon$  – степень черноты;

$\nu$  – коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с

$d$  диаметр ядра бикалориметра, м

$G_{\text{я}}$  масса ядра, кг

$G_1$  вес поплавка в воздухе, кг

$G_2$  вес поплавка в исследуемых объектах, кг

$V_{\text{п}}$  объем кварцевого поплавка, м<sup>3</sup>

$V_{\text{н}}$  объем манганиновой проволоки, м<sup>3</sup>

## ВВЕДЕНИЕ

В наномасштабном уровне процесс теплопереноса может весьма отличаться от процесса теплопереноса, протекающего в макро и микромасштабах. Соответствующие размеры устройств или веществ в наноразмерах, в основном, сравнимы со средней длиной свободного пробега молекул или атомов, а также с длиной волны электронов, фотонов. Поэтому классические законы процессов переноса тепла в таких условиях нарушаются, в связи с чем возникает необходимость в разработке новых моделей, а также подходов для их описания. Путь изучения столь сложных процессов переноса тепла, протекающих в наноструктурах, приводит к новейшим и весьма неожиданным открытиям, а также инновационным разработкам. В силу складывающихся обстоятельств, знания свойств материалов и веществ выходит на первый план.

Хотя исследования электрофизических, термодинамических и теплофизических свойств веществ имеют давнюю историю, данные исследования в последние годы приобрели качественно новый характер. А как известно, научно обоснованные инженерные расчеты необходимы, чтобы совершенствовать и оптимизировать технологические процессы и проектировать аппараты, в том числе химические, космические, энергетические, которые испытывают необходимость в информации об электрофизических, теплофизических и термодинамических свойствах рабочего вещества в широком интервале температур и давления [64, 140].

Гидразингидрат в современной технике является распространенным веществом, которое используется в качестве химических реагентов, ракетных топлив, теплоносителей и рабочих тел. В связи с этим для развития и более глубокого изучения физики жидкого состояния веществ необходима информация об электрофизических, теплофизических и термодинамических свойствах гидразингидрата. Эти данные необходимы для получения четкой картины структурных

моделей растворов, механизма взаимодействия между молекулами, процессов смешиваемости и растворимости, образования и разрушения молекулярных комплексов и др.

Для калорического расчета аппаратов и процессов наиболее важными теплофизическими, термодинамическими и электрофизическими свойствами жидкостей и газов, являются теплопроводность и плотность, которые также входят и в критериальные уравнения теплообмена и описывают термодинамическую поверхность.

**Объект исследования:** Гидразингидрат + наноструктурные амфотерные оксиды металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  и др. Средний размер наночастиц  $d_{\text{cp}}=30, 50, 70, 90$  нм).

**Цель диссертационной работы:** разработка и создание экспериментальной установки для измерения температуропроводности, электропроводности и диэлектрической проницаемости системы гидразингидрат + наноструктурных амфотерных оксиды металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{cp}}=30, 50, 70, 90$  нм, 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3г.) под влиянием давления и лазерной вспышки, а также получение опытных значений теплопроводности, теплоемкости, электрофизических и термодинамических свойств в интервале температур (298–673) К, давления (0,101 – 49,01) МПа.

**Достижение поставленной цели возможны решением следующих задач:**

- выявлены механизм переноса тепла в системе гидразингидрат + наноструктурные амфотерные оксиды металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{cp}}=30, 50, 70, 90$  нм, 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3г.);
- модернизирована экспериментальная установка по измерению температуропроводности работающая методом лазерной вспышки при различных давлениях и электропроводности, работающая кондуктометрическим методом.
- получены экспериментальные данные теплопроводности, теплоемкости, рассчитаны энтальпия, энтропия, энергии Гиббса и

Гельмгольца исследуемых объектов в интервале температур (298–673) К, давления (0,101 – 49,01) МПа.

– установлена зависимость теплофизических, электрофизических и термодинамических свойств системы гидразингидрата + 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.; ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{cp}}=30, 50, 70, 90$  нм) от температуры, давления и массы исследуемых объектов;

– получены аппроксимационные зависимости, устанавливающие взаимосвязь между теплопроводностью, теплоемкостью и их плотностью и температурой, давлением, а также особенностями структуры исследуемых объектов;

– установлена взаимосвязь теплофизических и термодинамических свойств исследуемых объектов в зависимости от температуры и давления.

**Научная новизна работы заключается в следующем:**

1. На модернизированных установках впервые получены экспериментальные данные по теплофизическим и термодинамическим свойствам системы гидразингидрат + наноструктурные оксиды металлов (до 0,3 г.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{cp}}=30, 50, 70, 90$  нм) в интервале температур (298–548)К и давлений (0,101 – 49,01) МПа;

2. Впервые при помощи данных по теплоемкости и плотности объектов исследования были рассчитаны термодинамические свойства данных веществ (энтальпия, энтропия, внутренняя энергия, энергия Гиббса, энергия Гельмгольца) системы гидразингидрата и амфотерных наноксидов металлов (в интервале температур (298–673)К и давлений (0,101 – 49,01) МПа).

3. На основе полученных данных по термодинамическим свойствам, т.е. плотности исследуемых систем составлено уравнение состояния (УС), а для теплофизических свойств (теплопроводность, теплоемкость и температуропроводность) ряд аппроксимационных зависимостей в зависимости от температуры, давления и массы наночастиц.

4. По полученным экспериментальным и расчетным данным составлены аналогичные таблицы как по теплофизическим так и по термодинамическим свойствам исследованных растворов в диапазоне давлений (0,10149,01)МПа и температур (293673)К с учетом изменения концентрации наночастиц от 0, 1 до 0, 3%, которые добавляются в эти растворы.

**На защиту выносятся:**

- результаты экспериментального исследования по электропроводности, теплопроводности, диэлектрической проницаемости и теплоемкости (при  $T = 298\text{--}673\text{К}$ ,  $P = 0,101\text{--}49,01\text{ МПа}$ );
- новый вариант установки для измерения температуропроводности (работающая методом лазерной вспышки) веществ в зависимости от давления при комнатной температуре;
- результаты исследования теплопереноса и анализ данного процесса в исследуемых веществах;
- результаты расчета термодинамических параметров (разность энтальпии, разность энтропии, удельная энергия Гиббса и энергия Гельмгольца) исследуемых растворов в зависимости от температуры;
- эмпирические уравнения, позволяющие рассчитать теплоемкость и теплопроводность исследуемых образцов в широком интервале температуры и давления.

**Практическая ценность работы:**

- проведен анализ процесса теплопереноса в системах гидразингидрата + наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{ср}} = 30, 50, 70, 90\text{ нм}$ , 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3г.);
- представлен новый подход к обобщению экспериментальных данных по теплоемкости, электропроводности и теплопроводности системы гидразингидрат + наноструктурные амфотерные оксиды металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{ср}} = 30, 50, 70, 90\text{ нм}$ , 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3г.);

– разработаны экспериментальные установки для скоростного определения температуропроводности объектов в лабораторных условиях Института промышленности Министерства промышленности и новых технологий РТ и ДГПУ им. С. Айни.

– дополнен банк теплофизических, термодинамических и электрофизических свойств системы гидразингидрат + наноструктурные амфотерные оксиды металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{ср}}=30, 50, 70, 90$  нм, 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3г.) новыми данными, необходимыми для инженерных расчетов.

### **Результаты исследования внедрены:**

– установки, которые были модернизированы и созданы для измерения теплофизических свойств веществ, используются как преподавателями, так и аспирантами и студентами в Таджикском техническом университете им. академика М.С. Осими в научноучебных лабораториях кафедры «Теплотехника и теплотехническое оборудование».

– составленные таблицы по ТФС и ТХ коллоидных жидкостей в интервале температур (298–673)К и давлений (0,101–49,01) МПа и эмпирические уравнения могут найти своё применение в проектнопроизводственных организациях в различных технологических процессах.

**Диссертационная работа** выполнена по плану координации научно-исследовательской работы в области естественных и общественных наук АН Республики Таджикистан на 2005-2015 годы по теме: «Теплофизические свойства веществ» (№ госрегистрации 81081175) и (№ 01.86.0103274) по проблеме 1.9.7. Теплофизика.

**Достоверность полученных результатов.** Обеспечение достоверности полученных результатов экспериментальных измерений достигнуто путем применения апробированных и протестированных измерительных устройств, а также воспроизводимостью и удовлетворительным согласием экспериментальных данных с расчетными данными.

**Личный вклад автора** заключается в выборе методов и составлении алгоритмов решения задач, установлении основных закономерностей протекающих тепло и электрофизических процессов при получении ракетных топлив, проведении экспериментальных исследований в объективных условиях производства, получении данных по теплофизическим (теплопроводность, теплоемкость, плотность) и электрофизическим (электропроводность, удельное сопротивление и диэлектрическая проницаемость) свойствам, обработка и анализ полученных результатов, формулировке основных выводов диссертационной работы. Все результаты автора диссертационной работы получены под руководством научных руководителей.

**Апробация работы:** Основные условия и результаты диссертации докладывались и обсуждались на: Республиканской научно-практической конференции, КурганТюбе, (1991); Научно-практической конференции, Душанбе, (1993); Международной научнотехнической конференции «Нанотехнологии функциональных материалов (НФМ 2114)» Санкт Петербург, (2014); Республиканской научно-практической конференции «Ломоносовские чтения», посвященной 1150-летию ученого в области химии и медицины Абубакра Закирие Рози, Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г.Душанбе, Душанбе, (2014); Девятой Международной теплофизической школе «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий», Душанбе, МТФШ9. (2014); Всероссийской научнопрактической конференции (с международным участием) «Актуальные проблемы науки» Секция «Физико-математические науки», Нефтекамск-Уфа, (2014); 7<sup>ой</sup> Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования», посвященной 20-летию Конституции Республики Таджикистан и 90 – летию г. Душанбе, (2014); 7<sup>ой</sup> Международной научнопрактической конференции «Актуальные вопросы развития

инновационной деятельности в новом тысячелетии», Новосибирск, Россия, (2014);

5<sup>ой</sup> Международной научной Интернет-конференции «Актуальные проблемы биохимии и бионанотехнологии». Казань, (2014); Первой Всероссийской (заочной) научно-практической конференции (с международным участием). Актуальные проблемы науки, М.,(2014); Международной научно-технической конференции «Проблемы ресурс и энергосберегающих технологий в промышленности и АПК» ПРЭТ-2014, Иваново, (2014); Международной научно-практической конференции. Суздаль, (2014); ICSE23, Chengdu, China) [www.iccenano.org](http://www.iccenano.org), (2015); Международной научно-практической конференция, посвященной 115летию персидского-таджикского ученого-энциклопедиста, врача, алхимика и философа Абу Бакри Мухаммада ибн Закария Рози, Институт химии и АН РТ, Душанбе, (2015); Научной конференции «Актуальные проблемы современной науки» посвященной 70 летию Победы в Великой Отечественной Войне, “МИСиС”. Душанбе, (2015); 8<sup>ой</sup> Международной научно-технической конференция «Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2015)» КАИ. Казань, (2015); 10<sup>ом</sup> Всероссийском симпозиуме с международным участием, «Термодинамика и материаловедение». Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе, РАН, Санкт Петербург, (2015); 10<sup>ой</sup> школе-семинаре молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е. Алемасова “Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении”, Казань, (2016); 10<sup>ой</sup> Международной теплофизической школе, «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий», Душанбе – Тамбов, (2016); 8<sup>ой</sup> 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,

Душанбе, (2016); Rostocker International Conference, Rostock, Gemaner, (2017); Международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», Ташкент, Узбекистан, (2017).

*По результатам работы опубликованы, 44 статьи (из них 6 рекомендуемых ВАК при Президента Республики Таджикистан и РФ), 34 тезисов, докладов и одна монография.*

## **ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

### **1.1. Основные особенности исследуемых объектов**

**Гидразин (диамид)**  $\text{H}_2\text{N} - \text{NH}_2$ , это жидкое вещество, которое на воздухе дымится, в низших спиртах и в воде растворяется, а в углеводородах он не растворяется.

С водой образуется азеотропная смесь ( $t_{\text{кип}} = 120,1^\circ\text{C}$ , 71,5% Г.). Образует взрывоопасные смеси с воздухом и  $\text{O}_2$ ; способность безводного гидразина самовоспламеняться при контакте с асбестом, углем, оксидами Cu, Fe, Hg и др. давно известно, он может легко разлагаться в присутствии катализатора и при нагревании выше  $300^\circ\text{C}$ . В водных растворах гидразин легко окисляется. Очень сильный восстановитель, например, может выделять, из растворов их солей, благородные металлы с  $\text{HNO}_2$  образуется  $\text{HN}_3$ . В качестве загрязняющих примесей, в техническом гидразине может содержаться вода, двуокись углерода, гексан, толуол, гидразин, угольная кислота, 1,2 – диметилгидразин и анилин.

В период 1972-1978гг. Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства NASA (США) разработан базовый вариант воздушнокосмического самолета (ВКС), работающий на гидразине [25].

Им, водным растворам гидразина, характерны сильные свойства. Образуют моногидрат и соли – хлориды гидразония  $(\text{N}_2\text{H}_5)\text{Cl}$  ( $t_{\text{пл}} = 92^\circ\text{C}$ )

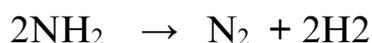
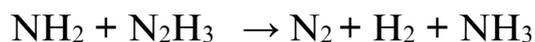
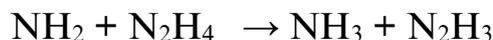
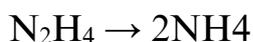
и гидразиния  $(\text{N}_2\text{H}_6)\text{Cl}_2$  ( $t_{\text{пл}} = 198^\circ\text{C}$ ), сульфат гидразиния  $(\text{N}_2\text{H}_6)\text{SO}_4$  ( $t_{\text{пл}} = 254^\circ\text{C}$ ).

Для получения водных растворов гидразина используют  $\text{NaGH}$ ,  $\text{Cl}_2$  и  $\text{NH}_3$ , окислением  $\text{NH}_3$  или мочевины с гипохлоритом  $\text{Na}$ , а для того, чтобы получить безводный гидразин применяют обезвоживание моногидрата гидразина щелочами, либо обработкой сульфата гидразиния жидким  $\text{NH}_3$ .

Важно отметить, что гидразингидрат по своим низкотемпературным свойствам существенно превосходит гидразин. Путем введением азид гидразина возможно понижение температуры при кристаллизации гидразингидрата [115]. Температура плавления тройной эвтектики двойной смеси находится в пределах от  $-15$  до  $-28^\circ\text{C}$ , что делает возможным использование азид гидразина для ракетного топлива, чтобы понизить температуру замерзания гидразина без изменения его свойств.

Перед применением гидразина в качестве ракетного топлива проводились исследования его разложения путем воздействия различных факторов. Его термическое разложение происходит при температуре  $250$ - $310^\circ\text{C}$ .

Наряду с этим механизмы термического разложения и разложения со взрывом состоят из реакции с участием свободных радикалов [62, 111].



Фотохимическое ( $\lambda < 2400 \text{ \AA}$ ) разложение гидразина рассчитывается уравнением:



В этом случае формируется лишь некоторое количество аммиака. Если реакцию представить в общем виде [109]:



то наряду с термическим разложением ее величина составляет 0,06, а при фотохимическом разложении колеблется в пределах 0,93 – 0,96 [62].

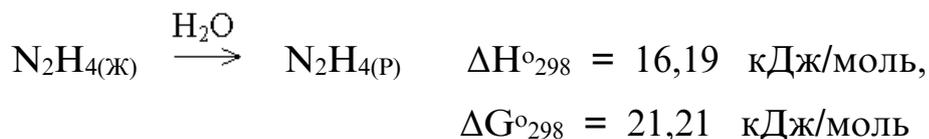
Водные растворы гидразина называют гидразингидратом. Гидразин гидратом ( $\text{NH}_2\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) является 64%ый водный раствор гидразина. Это подвижная бесцветная жидкость, которая хорошо растворяется в воде и в полярных растворителях и нерастворяется в неполярных органических растворителях. Основные показатели и свойства гидразина и растворов описаны в таблице 1.1.

Растворенный в воде гидразин – процесс экзотермический. Образованные гидразином в растворе энтальпии и энергия Гиббса отличаются от термодинамических функций жидкого гидразина и в соответствии с этим являются равными [40]:

$$\text{N}_2\text{H}_{4(\text{P})} \Delta H^{\circ}_{298} = 34,31 \text{ кДж/моль}, \quad \Delta G^{\circ}_{298} = 128,03 \text{ кДж/моль},$$

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

Преобразование энтальпии и энергии Гиббса при растворении жидкого гидразина в воде в стандартных условиях соответственно равны [40]:



Теплота совмещения гидразина и в эквимольных количествах воды при 298К эквивалентно 3,76 кДж/моль [54].

*Таблица 1.1 - Основные показатели и свойства гидразина и гидразингидрата при температуре 298 К*

Свойства	Гидразин	Гидразингидрат
1	2	3

Молярная масса, кг/моль	0,032	0,050
Температура плавления, $T_{пл}$ , К	238,65	211,45
Температура кипения, $T_{кп}$ , К	386,65	391,85
		(739,5мм рт.ст.)
Температура вспышки, $T_{вс}$ , К	313,15	332,15
Температура самовоспламенения, $T_{свп}$ , К	405,15	540,15
Температура критическая, $T_{кр}$ , К	653,15	
Давление насыщенных паров, Па	267	254
Давление критическое, МПа	14,5	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1003	1035
Вязкость, МПа · с	0,90	
Поверхностное натяжение, МН/м	66,67	74,30
Дипольный момент, Д	1,9	
Диэлектрическая проницаемость	51,7	
Удельная электропроводность, Ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>	(2,32,6) · 10 <sup>6</sup>	
Показатель преломления света	1,469	1,424

В работе [105] приведен интегральный расчет мольной теплоты смешения при температуре 368 К, а также и коэффициент активности воды в гидразине; теплота смешения эквимольной смеси равна  $\gamma$  4,02 кДж/моль (рисунок 1.1.).

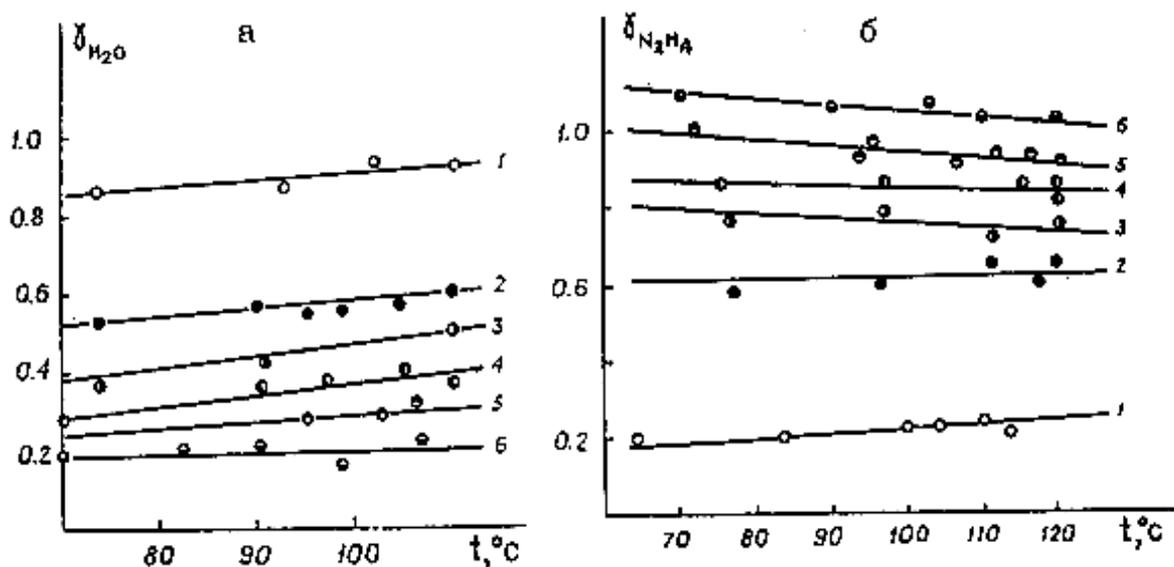


Рисунок 1.1 - Коэффициенты активности воды (а) и гидразина (б) в растворах гидразинвода при содержании гидразина (мол. доли) [105]: 1 - 0,20; 2 - 0,40; 3 - 0,50; 4 - 0,60; 5 - 0,70; 6 - 0,96.

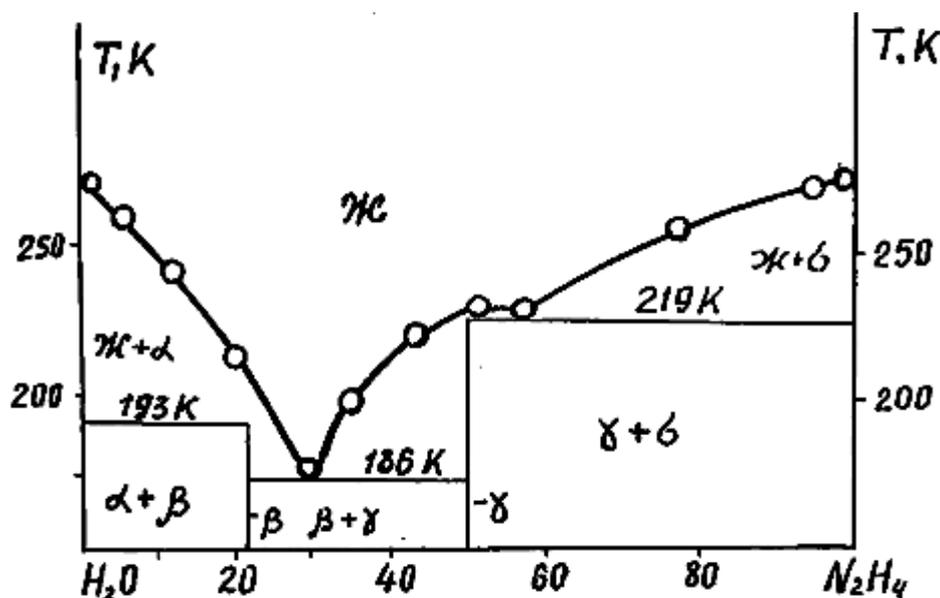


Рисунок 1.2 - Диаграмма состояния системы гидразин вода [114]: Ж – жидкая фаза; твердое соединение  $\alpha$  –  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\gamma$   $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;  $\beta$   $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;  $\delta$  –  $\text{N}_2\text{H}_4$

Из диаграммы состояния (рисунок 1.2) видно, что гидразин в твердом состоянии с водой образует два соединения  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  [114]. Соединение  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  может существовать при температуре

193 К и ниже. В области содержания гидразина при 193 К от 0 до 26%(моль) применяется реакция:



При концентрации гидразина 56%(мол.) и температуре 219К протекает реакция:



Твердые растворы обладают весьма малой растворимостью. Из диаграммы состояния (рисунок 1.2) можно сделать вывод о том, что водные растворы гидразина (содержит 20 – 60%(мол.) гидразина) можно хранить в жидком состоянии только при весьма низких температурах (293 К и ниже).

Кривая (рисунок 1.3), показывающая зависимость температуры кипения от состава смеси в сфере содержания гидразина (50–60%)(мол.), может проходить через максимум.

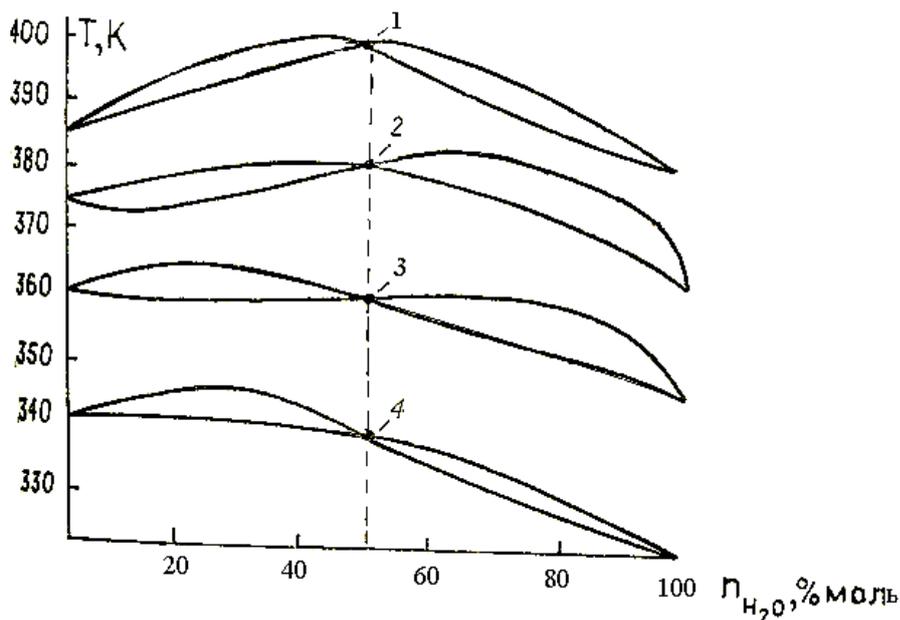


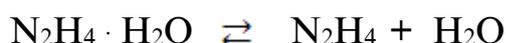
Рисунок 1.3 - Диаграмма состояния жидкость пар системы гидразин вода [40]: Давление (в кПа):1-100-102,5; 2-72,2; 3-36,4; 4-16

Гидразин и вода образуют азеотропную смесь, которая содержит 68% (масс.)/55%(мол.)/ гидразин, температура кипения 393,65 К (при P= 102,5кПа) [163, 40], а при пониженных давлениях 53%(мол.) и

другом составе азеотропной смеси получен  $N_2H_4$  (P=16 кПа), 54% (P=36,4 кПа), 55,5% (P=53 кПа), 55% (P=72,2 кПа) и 54% (P=90,4 кПа).

На рисунке 1.3 видно, что в паре слабо концентрированных растворов содержание гидразина значительно ниже, чем его содержание в растворе.

Как показано выше, в твердой фазе существует соединение  $N_2H_4 \cdot H_2O$ . При наличии этого соединения в жидком состоянии тверд, и еще не установлен. Равновесие устанавливается в жидкой фазе,



которое с повышением температуры сдвигается вправо.

Сотрудниками ИПЭ АН Беларуси во главе с д.т.н. профессором Гребенковым А.Ж. [164] в зависимости от температуры (280-400К) и давления (4,9-19,6 МПа), были исследованы теплопроводность гидразина и его плотность при температуре 280-420 К и давлении 0,1-19,6 МПа.

**Гидразингидрат (диамид)** является прозрачной бесцветной жидкостью с запахом аммиака. Он в твердом виде представляют собой кубические кристаллы. Гидразингидрат является сильным восстановителем, он даже восстанавливает благородные металлы из их же солей. Гидразингидрат является сильным ядом, ускоренно окисляется кислородом воздуха до  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2O$ . На воздухе гидразингидрат поглощает углекислоту, со спиртом и водой смешивается в любых пропорциях; не растворяется в эфире, хлороформе и бензоле. Плотность гидразингидрата составляет  $1,03 \text{ г/см}^3$ . Его температура кипения  $120^\circ\text{C}$ , температура плавления  $1^\circ\text{C}$ , температура вспышки  $73^\circ\text{C}$ , температура замерзания  $51^\circ\text{C}$ .

Гидразингидрат получают путем окисления  $NH_3$  или  $CO(NH_2)_2$  гипохлоридом натрия ( $NaOCl$ ) [37, 54].

Физикохимические характеристики приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Физикохимические характеристики гидразингидрата

Наименование показателей	норма
Внешний вид	Бесцветная жидкость
Массовая доля гидразингидрата $N_2H_4 \cdot H_2O$ , %, не менее	100
Массовая доля гидразина $N_2H_4$ , %, не менее	64
Массовая доля нелетучих веществ, %, не более	0,005
Массовая доля ионов натрия, %, не более	0,0001
Массовая доля ионов железа, %, не более	0,00005
Массовая доля хлоридов, %, не более	0,0001
Массовая доля сульфатов, %, не более	0,0001
Массовая доля аммиака, %, не более	0,1
Массовая доля ионов кальция, %, не более	0,0001(1ppm)
Массовая доля ионов никеля, хрома, %, не более	0,00003 (0,3ppm)
Массовая доля ионов цинка, мышьяка, молибдена, свинца, марганца, ртути, %, не более	0,000005 (0,05 ppm)
Массовая доля углерода, %, не более	0,05 (500ppm)
РН 1%ного раствора гидразина	10,6

Применяют гидразингидрат для устранения кислорода из воды; для предохранения от коррозии трубопроводов для циркуляции воды и пара (например: парогенераторов, систем отопления и систем охлаждения), применяется для консервации оборудования, которая выведена из эксплуатации.

Гидразингидрат также используется:

в топливных элементах как горючее;

для получения из их оксидов и солей чистых металлов (Cu, Ni и др.);

при производстве парообразователей (а именно: бензолсульфонилгидразида), инсектицидов, астролита, удобрений для растений (гидразида малеиновой кислоты), для медикаментов (гидразида изоникотиновой кислоты);

в качестве реактива (для обнаружения карбонильных групп, хлоритов и хлоратов);

при получении красителей и промежуточных продуктов;

как добавка в стекломассу (при ликвидации тусклости стекол);

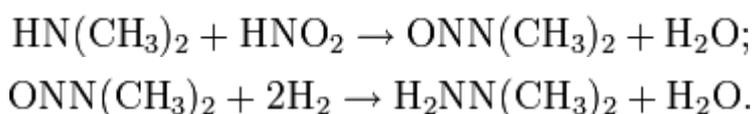
при очистки от CO<sub>2</sub> и меркаптанов промышленных газов [38].

Недостаткам НДМГ+АТ являются:

токсичность

канцерогенность

вероятность в присутствии окислителя взрыва НДМГ, удельный импульс меньше, чем у кислороднокеросиновой пары цена НДМГ заметно выше чем цена керосина, что является его преимуществом для больших ракет из диметиламина, являющегося крупнотоннажным продуктом органического синтеза, в две стадии через Nнитрозодиметиламин, получают НДМГ:



Как показывает Картавченко А.В.: «Гидразингидрат используется для каталитического разложения в газогенераторах с целью получения рабочего тела температура до 650<sup>0</sup>С (азот, водород, аммиак и водяной пар) используемого теплоносителем вторичного контура турбины замкнутого типа (работающей по циклу Ренкина)».

Гидразин или гидразингидрат, которые используют в качестве простейшего топлива, при контакте с такими катализаторами как молибден, рений, железо, никель, медь, серебро, золото, иридий или рутений, которые нанесены на высокопористую оксид алюминия, тория и цинка очень быстро разлагается [112].

Гидразин и смеси гидразина сегодня уже применяются во многих отраслях промышленности: для устранения коррозии, в приготовлении спорофоров, полимеров, в качестве ракетного топлива и др. [8, 34, 40]

## 1.2. Гидразингидрат, теплофизические свойства гидразингидрата и гидразинзамещённые водные растворы (обзор)

До сегодняшнего дня разными авторами, и различными методами работы были проведены исследования по некоторым термодинамическим и теплофизическим свойствам чистого гидразина и некоторых их водных растворов [18-23, 25, 28, 63-88, 116-123]. Авторами А.Л. Цыкало, В.К. Савенков и др. в работе [105,109] были исследованы термодинамические свойства при атмосферном давлении и комнатной температуре чистого гидразина (таблица 1.3).

Таблица 1.3 Полученные результаты и литературные источники

№	Авторы	Год	Параметры и объект исследования	Интервал параметров состояния	Литература
1	Цыкало А.Л. Савенков В.К. и др.	1974	$\rho$ , $C_p$ , чистый гидразин	T= 298 К P=0,101 МПа	[105]
2	Сафаров М.М. Маджидов Х. Картавченко А.В. Зарипова М.А.	1992	$\lambda$ , $C_p$ , водный раствор гидразин	T= 298 К P=0,101 МПа	[63]
3	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1992	$\lambda$ , $C_p$ , водный раствор гидразин	T= 298 385 К P=0,10149,01 МПа	[64]
4	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1992	$\lambda$ , гидразингидрат	T= 298 385 К P=0,10149,01 МПа	[65]
5	Сафаров М.М.	1993	$\lambda$ , $C_p$ , $\rho$ , $\alpha$ , $\nu$ водный раствор гидразин	T= 298 575 К P=0,10198,01 МПа	[66]
6	Сафаров М.М. Картавченко А.В. Зарипова М.А.	1993	$\rho$ , водный раствор гидразин	T= 298 К P=0,101 МПа	[67]
7	Сафаров М.М. Картавченко А.В.	1993	$\rho$ , водный раствор гидразин	T= 298 575 К P=0,10198,01 МПа	[68]
8	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1993	$C_p$ , водный раствор фенилгидразина	T= 298 К P=0,101 МПа	[69]
9	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1993	$\lambda$ , $\rho$ , водный раствор гидразин	T= 298 К P=0,101 МПа	[70]
10	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Нарзуллоев А.С.	1993	$\nu$ , водный раствор гидразин	T= 298 К P=0,101 МПа	[71]
11	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Нарзуллоев А.С.	1993	$\rho$ , водный раствор гидразин	T= 298 К P=0,101 МПа	[72]
12	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1994	$\mu$ , водный раствор гидразин	T= 298 575 К P=0,10149,01 МПа	[73]
13	Сафаров М.М. Картавченко А.В. Зарипова М.А.	1994	$\mu$ , $\rho$ водный раствор гидразин и фенилгидразин	T= 298 К P=0,101 МПа	[74]
14	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1995	$\lambda$ , $\rho$ , водный раствор гидразин	T= 298 565 К P=0,10149,01 МПа	[75]
15	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Файзуллоев З.	1995	$\mu$ , $\rho$ водный раствор фенилгидразина	T= 298 383 К P=0,101 МПа	[76]
16	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1995	$\nu$ , водный раствор гидразина	T= 298 383 К P=0,101 МПа	[77]

17	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1995	$\nu$ , водный раствор фенилгидразина	T= 298 565 К P=0,10149,01 МПа	[78]
18	Safarov M.M. Zaripova M.A. Rajabov F.S. Turgunboev M.T.	1995	$\lambda$ , $\rho$ , water solutions hydrazine	T= 298 565 К P=0,10149,01 МПа	[116]
19.	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Раджабов Ф.С. Тургунбоев М.Т.	1995	$\rho$ , водный раствор аэрозина	T= 298 535 К P=0,10149,01 МПа	[79]
20	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1996	$\lambda$ , $C_p$ , $\rho$ , $\alpha$ водный раствор гидразина	T= 298 530 К P=0,10198,01 МПа	[80]
21	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1996	$\lambda$ , $\rho$ водный раствор фенилгидрзина	T= 298 533 К P=0,10198,01 МПа	[81]
22	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Раджабов Ф.С.	1996	$C_p$ , водный раствор аэрозина	T= 298 473 К P=0,10149,01 МПа	[82]
23	Сафаров М.М., Зарипова М.А., Давлатова В.	1996	$C_p$ , водный раствор диметилгидразина	T= 298 483 К P=0,10149,01 МПа	[83]
24	Safarov M.M. Zaripova M.A. Rajabov F.S. Turgunboev M.T.	1996	$\lambda$ , $\rho$ , $\alpha$ , $C_p$ , water solutions hydrazine	T= 298 535 К P=0,10198,01 МПа	[170]
25	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Тургунбоев М.Т.	1997	$\lambda$ , водный раствор аэрозина	T= 298 426 К P=0,10149,01 МПа	[84]
26	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Тургунбоев М.Т. Раджабов Ф.С.	1997	$\rho$ , водный раствор аэрозина	T= 298 415 К P=0,10198,01 МПа	[85]
27	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Тургунбоев М.Т.	1998	$\lambda$ , водный раствор диметил гидразина	T= 298 425 К P=0,10149,01 МПа	[86]
28	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Тургунбоев М.Т.	2001	$\lambda$ , гидразинзамешенных водных растворов	T= 298 335 К P=0,101 МПа	[87]
29	Гребенков А.Ж.	2002	$\lambda$ , гидразин	T= 298 425 К P=0,10129,32 МПа	[113]
30	Safarov M.M. Zaripova M.A. Tilloeva T.R. Zoirov H.A.	2008	$\lambda$ , $\rho$ , water solutions dimethylhydrazine	T= 298 435 К P=0,10149,01 МПа	[118]
31	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Нажмудинов Ш. З.	2009	$\rho$ , водных растворов триметилгидразина	T= 298 435 К P=0,10149,01 МПа	[88]
32	Safarov M.M. Zaripova M.A. Tilloeva T.R. Zoirov H.A.	2009	$\lambda$ , $C_p$ , $\rho$ , water solution ethylhydrazine	T= 298405 К P=0,10149,01 МПа	[119]
33	Зарипова М.А.	2008	$\rho$ , гидразинзамешенных водных растворов	T= 298405 К P=0,10198,01 МПа	[18]
34	Зарипова М.А.	2008	Калорические свойства гидразинзамешенных водных растворов	T= 298405 К P=0,10149,01 МПа	[19]
35	Зарипова М.А.	2011	$\lambda$ , триметилгидразина	T= 298473 К P=0,10149,01 МПа	[20]
36	Зарипова М.А.	2011	$\lambda$ , этилгидразина	T= 298473 К P=0,10149,01 МПа	[21]
37	Зарипова М.А.	2011	Термодинамические свойства этилгидразина	T= 298473 К P=0,10149,01 МПа	[22]

38	Зарипова М.А.	2011	$\lambda$ , водных растворов метилгидразина	T= 298473 К P=0,10149,01 МПа	[23]
39	Зоиров Х.А., Сафаров М.М., Тагоев С.А. Зарипова М.А., Тошов А.Г.	2011	Влияние наноксидов на изменение термодинамических свойств гидразингидрата	T= 298453 К P=0,1010,141МПа	[28]
40	Зоиров Х.А.	2014	Теплофизические, электрофизические и диффузионные свойства гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации некоторых окисей металлов	T= 298453 К P=0,1010,141МПа	[126]
41	Зарипова М.А.	2016	Влияние наночастиц на изменение теплофизических, термодинамических свойств некоторых кислородосодержащих, азотосодержащих органических жидкостей при различных температурах и давлениях	T= 298573 К P=0,10149,01 МПа	[125]
42	Едалиева З.Н.	2016	$\lambda$ , $\rho$ , $C_p$ –диметилгидразин как в чистом виде, так с добавкой полупроводниковых нанопорошок	T= 298673 К P=0,10149,01 МПа	[128]

Как показали результаты изучения работ других авторов, термодинамические и теплофизические свойства гидразина, диметилгидразина, фенилгидразина, этилгидразина, а также некоторых его водных растворов изучались профессором Сафаровым М.М. и его учениками. Однако теплофизические, термодинамические и электрофизические свойства гидразингидрата с добавкой неструктурных оксидов металлов при различных температурах и относительно небольших давлениях еще не были изучены. В связи с этим наш интерес и был направлен на проведение ряда экспериментов и изучение данных свойств гидразингидрата с различными концентрациями амфотерных оксидов металлов.

Значительный прогресс существует в области нанотехнологий, при этом способы получения наночастиц металлов весьма обширны. Метод консолидации инертного газа (IGC) является одним из самых эффективных методов [129]. При этом способе металл испаряется в

охлаждаемой камере, который содержит инертный газ с низкой плотностью. От источника тепла к охладителю газа пар металла течет путем конвективной диффузии. Снижение температуры приводит к быстрому уменьшению равновесию давления пара и к достижению высоких степеней перенасыщения. Это способствует быстрому образованию критических зародышей и роста кластеров, которые затем достигают стенок камеры и вакансии на них. Мы исследуем "снизу-вверх" образование металлических нанокластеров с помощью многомасштабного метода компьютерного моделирования, которой включает квантовомеханический расчет сил между частицами, классической молекулярной динамики, атомной структуры и макроуровневое моделирование турбулентного перемешивания с образованием ядра кристалла, который быстро растёт за счет коалесценции и коагуляции. Многомасштабное моделирование предлагает не только моделирование в различных масштабах, но и возможность применения результатов моделирования, полученных на одном уровне в качестве входных данных для моделирования на следующем уровне масштабирования. Такое сочетание позволяет обнаружить ассоциацию между различными физическими свойствами и процессами формирования наночастиц. Чтобы исследовать требования нанопорошковых металлов, нужно потребовать размеры и их структуры. Мы использовали компьютерное моделирование, чтобы понять фундаментальные принципы, наноразмерных систем, таких как наночастицы металла, для чего нужно самостоятельно собрать, узнать и проконтролировать процесс сборки.

Наножидкости представляют собой суспензии твердых наночастиц с размерами, как правило, 1-100 нм в традиционной жидкости, такие как вода, гликоль и масло [130]. Эти твердые жидкости, композиты очень стабильны и показывают значительное повышение в теплопроводности и конвективного теплообмена относительно традиционных жидкостей и,

следовательно, они кажутся "Охлаждающей средой будущего". Наножидкости были исследованы в последнее время для количественной оценки эффективности теплообмена, чтобы определить конкретные механизмы транспорта и критических параметров и для разработки конкретных методов производства, управления и измерения. Экспериментальные исследования включают в себя металлические наночастицы (Cu, Al, Au и Ag), оксидов наночастиц (CuO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> и SiO<sub>2</sub>) и углеродных нанотрубок (УНТ) в традиционных жидкостях, таких как вода, гликоль и масло с широким диапазоном наночастиц объемной доли и размера. Экспериментальная работа, до сих пор не была достаточно изучена: систематический сбор, звуковое количество когерентных, однозначных данных относительно методологии и результатов. Однако эксперименты указывают на возможность успешного применения наножидкостей в качестве транспортной среды в нескольких системах и процессах. Экспериментальные исследования, имеющиеся в современной литературе по теплофизическим и транспортным свойствам наножидкостей, ориентированы, в основном, на измерение теплопроводности и коэффициента теплопередачи, но наборы данных достаточно распространены и охватывают диапазон рабочих температур вблизи или выше температуры окружающей среды. Поэтому существует конкретная потребность в звуковом количестве новых экспериментальных данных, включая измерения вязкости и падения давления для того, чтобы оценить способность наножидкостей как тепловой среды, особенно в умеренно низком температурном диапазоне, между температурой окружающей среды и льдом. В исследований идет речь о измерении теплопроводности и динамической вязкости Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> этиленгликоля со средним размером частиц 10 нм и объемом наночастиц во фракции в диапазоне от 1 до 3% в интервале температур от 0 до 50°C. Эти наночастицы проявляют большую тенденцию к агломерации в кластеры: средний размер кластера

измеряется с помощью СДО аппарата Malvern ZetasizerNano ZS составляет около 105 нм, 10 раз заявленный средний размер диспергированных наночастиц. Переходной диск TPS 2500S инструментированный с 7577 зондом (2.001 мм в радиусе) максимальной неопределенности ( $k = 2$ ) в пределах  $\pm 5,0\%$ . Измерение динамической вязкости и реологический анализ проводили с помощью вращающегося диска типа реометра Хааке Марс II инструментированного с двойным конусом зонда (60 мм в диаметре), имеющего максимальную погрешность ( $k = 2$ ) в пределах  $\pm 5,0\%$ . Экспериментальные результаты были представлены в срок абсолютных значений и коэффициента расширения по отношению к основной текучей среды (воды) при той же температуре. Добавки в этиленгликоль нанодисперсного  $Al_2O_3$  показывает тепловое соотношение, улучшающее проводимость от 9 до 29%, который увеличивает наночастицу объемной доли и температуры  $Al_2O_3$ . Этиленгликоль в нанодисперсии проявляет ньютоновское поведение во всех диапазонах температур и наночастиц объемной доли. Динамическая вязкость воды  $Al_2O_3$  нанодисперсия возрастает при увеличении объема фракции наночастицами. Экспериментальные измерения проводились также с имеющимися результатами измерений, проведенных различными исследователями и классическими вычислительными моделями для определения теплофизических свойств суспензий, таких как корреляция Максвелла для теплопроводности и формула Эйнштейна для динамической вязкости. Все классические модели показывают слабую способность захватить экспериментальные данные и расхождением с увеличением измерения для увеличения объема фракции наночастиц. Отметим, различают два типа наночастиц [4-9].

Частицы упорядоченного строения размером 1...5нм, содержащие до  $10^3$  атомов (нанокластеры или нанокристаллы).

Наночастицы диаметром 5...100нм, которые состоят из  $10^3 \dots 10^6$  атомов. Такая классификация однако верна только для изотропных (сферических) частиц.

Структуры, нитевидные и пластинчатые, могут содержать гораздо больше атомов и иметь один или два линейных размера, превышающих граничные значения. При этом их свойства остаются характерными в нанокристаллическом состоянии для вещества. Хотя наночастица имеет сложное строение, в качестве характеристики рассматривают не ее линейный размер, а размер ее структуры. Подобные частицы называют, как правило, наноструктурами. Линейные размеры могут существенно превышать 100 нм.

Теплопроводность многослойных углеродных нанотрубок (МНТ) измеряется индивидуально и вопрос вклада внешних нескольких слоев на его тепловую транспортировку остаётся открытым. С момента открытия углеродных нанотрубок (CNT), много усилий было посвящено для реализации наноустройств, используя свои превосходные физические свойства [210]. В частности, среди превосходных физических свойств углеродных нанотрубок, высокая теплопроводность получила значительное внимание. Тем не менее, вклад каждого слоя МНТ на его теплопроводность до сих пор мало исследовано. Здесь мы измерили нетронутые и частично поврежденные МСНТ с помощью высокочувствительного датчика нанотермоанемометрической методики на основе МЭМС и механизма теплопроводности через ячеистую углеродную нанотрубку.

Вертикально выровненные массивы углеродных нанотрубок (Vantas), как известно, имеют самый низкий коэффициент отражения какого-либо материала в видимом и дальнем ИК диапазоне (50 мкм и более) [211]. Такое поведение, наряду с их замечательными термическими свойствами, дает возможность создавать новые источники и детекторы для видимого и инфракрасного излучения. Там остается проблема, и для

достижения желаемых свойств на практических устройствах из неблагоприятных условий, предоставленных методом химического осаждения из паровой фазы с водой при содействии (например, 750°C в восстановительной среде). Мы представляем результаты измерений на различных платформах, в том числе пироэлектрических детекторов и термоэлектрических устройств. Кроме того, мы представляем некоторое обсуждение разрыва между теоретическими ожиданиями и результатами экспериментов, сравнивающих одностенные углеродные нанотрубки и нанотрубки массивов многослойного углерода. Данная работа установить новые стандарты для лазерной радиометрии (для коммуникаций, производства и обороны), а также для содействия в работе с другими приоритетами, связанных с наблюдением Земли и возобновляемыми источниками энергии.

Типичные IL были предложены в качестве потенциально «зеленых» для замены обычных органических растворителей, так как они являются энергонезависимыми (пренебрежимо малое давление паров), негорючих, термически стабильных, и вторичной переработки [131]. Они представляют собой соли, которые являются жидкими при низких температурах ( $<100^\circ\text{C}$ ), перспективноидеальные системы для различных целей химического катализа, процессов разделения и электрохимии включая теплоносителей в солнечном нагревателе, абсорбционных холодильных систем из-за их химических и физических свойств. Эти приложения требуют достоверных данных, связанных с теплофизическими и термодинамическими свойствами этих веществ и их смесей, таких как плотность растворимость газа, поверхностные и межфазные натяжения, вязкость, коэффициент диффузии, теплопроводность и электропроводность.

Граничное условие гидродинамики (BCboundary condution) в настоящее время является предметом большого значения, чем когдалибо хотя данная проблема существует с начала второй половины 19 века

[132]. 21й век стал свидетелем революционных достижений в области нанонауки и нанотехнологий, которые, в свою очередь, вызывают много фундаментальных вопросов о характере течения жидкости в нанометровых порах, таких как углеродные нанотрубки (УНТ) и аквапоринов. Среди них наиболее важным является ВС. Недавно был предложен метод расчета межфазного коэффициента трения между жидкостью и твердым веществом, которое определяет ВС. Применим метод метана и расхода воды в УНТ различного диаметра. С помощью равновесной молекулярной динамики (EMD) моделирования, вычисляется коэффициент трения между жидкостью и твердой прилегающей к ней. Отношение сдвиговой вязкости жидкости к этому коэффициенту трения дает длину скольжения, которая является мерой усиления потока, определяемого как наблюдаемой скорости потока либо в моделировании или эксперименте предсказанному от классических гидродинамических теорий с граничными условиями. Затем использовали прямые моделирования динамики молекулярных неравновесных состояний (NEMD), чтобы вычислить длину скольжения из профилей, скорости потоковой передачи, полученных из моделирования типа течения Пуазейля. Предсказанные модели оказались в хорошем согласии с результатами NEMD моделирования. Таким образом, это модель позволяет вычислить внутреннее трение между жидкостью и твердой поверхностью, используемой для расчета предельной или минимальной длины проскальзывания для данной жидкости и твердого вещества, которое в противном случае трудно рассчитать, используя прямой NEMD в экспериментально доступных полях скорости / сдвига. Для систем, которые обладают высокой защитой от скольжения, таких как вода заключенной в углеродные нанотрубки, методы EMD предпочтительнее методов NEMD из-за больших статистических ошибок в измерении прямой NEMD длины

проскальзывания. Предложенный метод является надежным, общим и может быть использован, чтобы найти ВС очень точно.

Статья [212] посвящена изучению характеристик водных растворов наножидкостей, содержащих наночастицы оксида цинка (ZnO) в диапазоне концентраций от 0,1 до 5 мас.%. Низкие концентрации были выбраны для уменьшения загрязнения и чрезмерного падения давления. Впервые, стабильность была проверена с помощью ZetasizerNano ZS (Malvern), основанной на методе динамического рассеяния света (DLS). Кроме того, был протестирован наножидкости, pH измеряли. Затем, теплопроводность и динамическую вязкость наножидкостей, анализируя их зависимость от температуры и концентрации наночастиц. Теплопроводность измерялась с помощью устройства горячего диска ТПС 2500 S в диапазоне температур от 10° до 70 ° С, в то время как вязкость измеряли с помощью магнитной подвески ARG2 реометра (TA Instruments) в том же диапазоне температур. И наконец, возможность передачи тепла этих жидкостей исследовали измерением их коэффициентов теплопередачи в специальном аппарате при температуре около температуры окружающей среды. Жидкость была вынуждена течь внутри гладкой горизонтальной трубы при регулируемой скорости потока и с равномерным тепловым потоком вдоль трубки. Коэффициент теплопередачи оценивали при различных числах Рейнольдса, как для ламинарного так и турбулентного режимов течения. Числа Рейнольдса и Нуссельта были выведены с помощью теплопроводности и значения ранее измеренной вязкости.

В этом докладе [135], изучены влияние pH дзетапотенциала, распределения частиц по размерам, реологических свойств, вязкости и стабильности на теплообмена в наножидкостях. Значительное повышение теплопроводности (ТС) (> 20%), содержащей 3% масс. диоксида циркония (ZrO<sub>2</sub>) и диоксида титана (TiO<sub>2</sub>) наблюдаются вблизи изоэлектрической точки (ИЭТ). В то же время, при этом ИЭТ (pH),

размеры частиц и вязкость этих наножидкостей демонстрируют значительное увеличение до максимальных значений. Экспериментальные результаты также показывают, что на стабильность этих наножидкостей влияет значение pH. Разумное объяснение этих интересных явлений является то, что в этом ИПО, силы отталкивания между оксидами металлов равны нулю и наночастицы коагулируют вместе при этом же значении pH. Согласно теории Дерягина-Ландау-Вервей-Овербик (ДЛВО), когда значение pH равно или близко к ИПО, наночастицы имеют тенденцию быть нестабильными, образуют кластеры и выпадают в осадок. Вода хорошо упакована внутри, и объемная доля наночастиц будет больше. Кроме того, формы кластеров, содержащих скопившую воду будут иметь не сферическую форму, а нерегулярную структуру (например, цепочки). Такая структура способствует теплопереносу, поскольку они обеспечивают долгую связь. Таким образом, общий ТС наножидкостей усиливается. Некоторые результаты литературы и выводы, связанные с эффектами pH наножидкостей обсуждаются и анализируются. Понимание эффектов pH может позволить изучить фундаментальный характер наножидкостей.

Поверхностное натяжение и вязкость множества AlNi сплавов каталитического предшественника, были измерены с помощью осциллирующего капельного метода в электромагнитном устройстве левитации при пониженных условиях гравитации [136]. Коррекция Cummings и Blackburn сдвига частоты колебаний поверхности из-за магнитного давления поля левитации была проверена с уровнем достоверности более лучше, чем  $\pm 2\%$ . Хорошее совпадение значений вязкости, полученных в опытах микрогравитации со значениями, полученными методом колеблющейся чашки при нормальных условиях гравитации дает возможность применения капельного метода в электромагнитном устройстве левитации с уровнем достоверности  $\pm 20\%$ . Значения вязкости, указывают на сильное взаимодействие в жидкой

фазе, соизмеримые с большой отрицательной теплотой смешения в системе NiAl сплава. Полученные экспериментальные результаты сравниваются с предсказаниями нескольких полуэмпирических термодинамических моделей.

При исследовании наножидкостей, в основном внимание привлекало их чрезвычайно высокая теплопроводность [153,154]. При различных опытах теплопроводность наножидкостей могла на десятки процентов превысить значение базовой жидкости. В качестве примера в работе [155] представлена зависимость теплопроводности наножидкостей от объемной доли наночастиц. Как мы видим, теплопроводность наножидкостей зависит от теплопроводности жидкости и нанодобавок, объема, формы и размера этих нановключений, а также температуры и давления [159]. Однако авторы [156-158] в некоторых наножидкостях не отмечают существенных изменений теплопроводности. Лишь в некоторых работах отмечалось изменение теплопроводности наножидкостей от времени [157]. Преимущественное число публикаций и работ по наножидкостям было направлено на исследование теплопроводности, при этом подобные эксперименты проводились способом нагретой нити или использовались методом параллельных пластин. В наших исследованиях мы использовали метод цилиндрического бикалориметра регулярного теплового режима первого рода [125,157]. В работе [160] предоставлены результаты исследования наножидкостей методом нагретой нити и  $\omega$ метод. Малые доли наножидкости использовали (порядка 25мкл) для возможного исключения эффектов конвекции в наножидкостях. Наножидкость представляет суспензию частиц аэросила (диаметром 12нм), которая диспергируется в воде ультразвуковым методом, результаты исследования которой предоставлены в данной работе, а также для другой водной суспензии (дистиллированная вода) с наночастицами  $TiO_2$  (объемным содержанием до 5%). Для каждой наножидкости проводились

эксперименты теплопроводности при похожих температурах; измерялась теплопроводность в условиях дисперсной среды (матрицы). Занимательно отметить, что в работе [160] значительное увеличение теплопроводности при малой объемной концентрации наночастиц не наблюдалось. В теории эффективной среды высказывается, что наибольшее возрастание теплопроводности наножидкость имеет при объемной доле нановключений  $\phi \ll 1$  и пропорциональной величине  $\lambda_{\text{eff}} \sim 3\phi\lambda_0$ . Результаты работы [160] продемонстрировали несоответствие работам аномальным теплопроводности [153] и теоретическим моделям. Наряду с этим, показано, что в виду невозможного синтеза наножидкость с  $\phi > 0,01$  (1% объема), то есть увеличение теплопроводности выше предсказанного значения не наблюдалось. Максимальное возрастание теплопроводности, которое наблюдалось в работе [160], составляло  $1,3 \pm 0,8\%$  для наносупензии наночастиц Au в этаноле размером 4 нм, что ранним исследованиям не соответствует [153]. При значительном повышении теплопроводности наножидкостей со сферическими наночастицами, которое наблюдалось в ряде исследований [153], и ее зависимость от температуры с помощью простых моделей по эффективной теплопроводности объяснить не представляется возможным. Поэтому в силу возникновения необходимости в последние годы все больше работ стали посвящать разработке и описанию новых методов объяснения процессов теплопереноса в наножидкостях [144-152], некоторые из тех моделей основываются на учете броуновского движения в наножидкостях.

В наше время для того, чтобы объяснить экспериментальные данные по переносу тепла наножидкостями, в том числе и аномально высокую теплопроводность, разработано много количество различных моделей [161], которые учитывают упорядоченное образование слоев молекул в тех пределах, которые учитывают броуновское движение

частиц в наножидкостях [162,163], баллистический энергоперенос между отдельными наночастицами [164], теплоперенос при непосредственном контакте наночастиц [165], образование внутри наножидкостей «сетевой» (упорядоченной) структуры наночастиц [166] и т.д. Продолжительное время различные модели описывались, проводил их сравнительный анализ с имеющимися экспериментальными данными работ [144-152].

В работе [161] предоставлены расчетные данные теплоемкости наночастиц  $\text{CuO}$ , диаметр которых 50 нм. Также приведены экспериментальные данные по объемной теплоемкости. Кроме того показана теплоемкость наночастиц двух различных диаметров, в широком интервале температур, включая опытные результаты других авторов. Отмечено, что в связи с высокими температурами теплоемкость нанокристаллов  $\text{CuO}$ , чем для объемных материалов выше, а при низких температурах наоборот. Наряду с этим, исследования показывают, что в присутствии высоких температур функция  $C_v(T)$  не монотонно зависит от размеров наночастиц. В настоящее время однозначного объяснения этого не существует, только ясно, что здесь конкуренция между чисто квантовыми эффектами в наночастицах и их размерами здесь наблюдается. Неисключено, что в теплоемкости не менее важное место занимают ангармонические эффекты и эффекты ближнего электромагнитного поля, которыми обычно пренебрегают.

Однако, знание тепловых свойств наночастиц, не смотря на все, является весьма важным условием для многих перспективных направлений исследования (например, при выращивании нанотрубок и других наноструктур), а также при изготовлении новых наносистем. Наиболее подробные сведения о тепловых и других свойствах наночастиц приведены в работах [140-143].

Анализ удельной теплоемкости (объемную) показывает, что такое увеличение  $C_v$  зависит от двух факторов: эффектами сохранения (пленения) фононов и вкладом поверхностных мод. Изменение вклада

поверхностных мод связано с тем обстоятельством, когда объемный кремний превращается в нанопроволку, на границе зоны Бриллюэна происходит распад неких зон, называемых фононными. Когда температура не столь высока, тогда только низкочастотные фононные моды приходят в возбуждение, которые в свою очередь приносят определенный вклад в теплоемкость. Однако наиболее значительный вклад в теплоемкость вносит изменение плотности этих самых мод. Планком было обнаружено, что фононный спектр в малых частицах отличается от непрерывного тела и закон Дебая ( $T^3$ ) в данном случае неприменим. Размерный эффект впервые был изучен в 1952г, позднее в 1972г [138] ряд исследователей измерив теплоемкость свинца различных размеров, также предоставили свои предположения о том, что поверхностные фононные моды вполне могут влиять и давать свой вклад в теплоемкость, особенно при низких температурах [139-141].

Как уже отмечалось, исследованию теплоемкости нанопроволок, уделено мало внимания, несмотря на то, что данный параметр является очень важным. Во многих случаях в расчетах по теплопереносу нанопроволок принималась во внимание объемная доля материала, однако исследованию теплоемкости нанопроволок на сегодняшний день не посвящено ни одной экспериментальной работы.

Помимо углеродных нанотрубок существуют и другие нанотрубки, которые также проявляют свои специфические свойства. Например, автором [143] приведен расчет фононного спектра борнитридных нанотрубок и изучена теплоемкость, которая выше чем у углеродных нанотрубок. В данной работе также при комнатной температуре даётся зависимость теплоемкости от хиральности и диаметров нанотрубок. Равновесные термодинамические свойства наноструктур, таким образом, могут заметно отличаться от свойств объемных материалов. Примеры, которые приведены выше, свидетельствуют о том, что общим свойством систем с малыми размерами, в частности наносистем, является

спектр возбуждений, который влияет на термодинамические свойства и так зависят от характерных масштабов.

Автором [211] было изучено влияние формы наночастиц  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на изменение теплопроводности и вязкости системы (50% воды + 50% этиленгликоля), кроме того приведен сравнительный анализ результатов расчета по уравнению Гамильтона-Кроссера, которое принимает во внимание несферичность частиц.

В работе [167] приведены методики образования углеродкерамических композитов на основе оксидов алюминия или титана и исследование их функциональных характеристик для выявления перспектив их использования в качестве носителей катализаторов и создания конструкционных изделий.

### **Заключение к первой главе**

В данной главе приводятся основные характеристики гидразина, гидразингидрата и наноструктурные амфотерные оксиды металлов и обзор теоритических истоков.

Во введении диссертационной работы приведено актуальность, цель и задачи, научная новизна и практическая значимость.

## ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОБОРУДОВАНИЕ И УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ГИДРАЗИНГИДРАТ + НАНОСТРУКТУРНЫЕ АМФОТЕРНЫЕ ОКСИДЫ МЕТАЛЛОВ ( $d_{cp} = 30, 50, 70, 90$ нм)

### 2.1. Экспериментальная измерительная установка для определения теплопроводности в зависимости от давления (Патент РТ №ТJ 316)

Принцип действия установки, состоит в том, что во время эксперимента, после нагрева проверяемого образца посредством лазерной установки, лазерная установка отключается и образец самопроизвольно охлаждается. Фиксируется время охлаждения образца, при помощи двухстрелочного секундомера типа С 111Б. По шкале зеркального микровольтнаноамперметра отмечается время прохождения отражения светового сигнала между двумя определенными величинами шкалы микровольтнаноамперметра [32, 125-128].

Теплопроводность рассчитывается по формуле:

$$\lambda = A \cdot C_p \cdot m, \quad (2.2)$$

где,  $C_p$  – теплоемкость испытуемого образца;  $m$  – темп регулярного охлаждения;  $A$  – коэффициент формы.

Коэффициент формы определяется следующим уравнением [36, 125-128]:

$$A = \sqrt{(\pi/2\delta x)^2 + (\pi/2\delta y)^2 + (\pi/2\delta z)^2}^{-1}. \quad (2.3)$$

Ход регулярного охлаждения определяется по формуле:

$$m = \frac{\ln \theta_1 - \ln \theta_2}{\tau_2 - \tau_1} = \frac{\ln N_1 - \ln N_2}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (2.4)$$

где,  $\theta_1$  и  $\theta_2$  – разность температур между теплообменивающимися поверхностями в начале  $-\tau_1$  и в конце  $-\tau_2$  отсчета;  $N_1$  и  $N_2$  та же разность температур, выраженная числом делений шкалы микровольтнаноамперметра (рисунок 2.1).

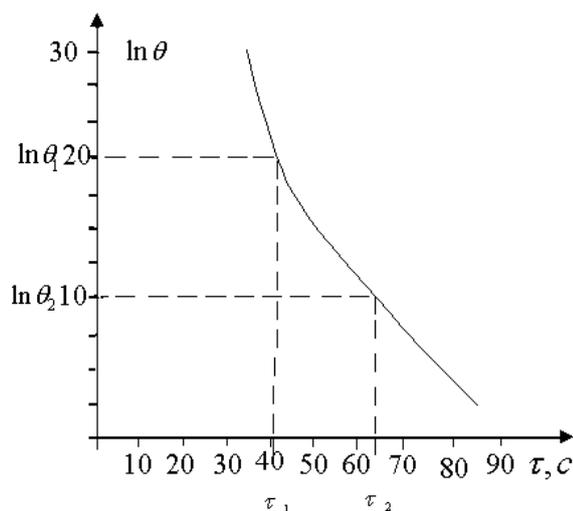


Рисунок 2.1 - Обусловленность перепада температуры от времени [189-191]

## 2.2. Экспериментальная установка, позволяющая при атмосферном давлении определять плотность растворов и жидкостей

Существует большое количество неравенств, которые используются в той или иной среде для определения связи температуры и давления с плотностью жидкостей. Однако существующая теория неравенств состояния на сегодняшний день, не смотря на прогресс и достижения в данном направлении, не дает того результата, который бы удовлетворил требования.

В связи с этим экспериментальное исследование PpT зависимостей растворов и жидкостей выходит на первый план. Причиной тому является то, что эти неравенства применимы только в определенной области состояния жидкости и как правило эта область является весьма ограниченной. Применение такого рода уравнений возможно только в том случае, когда будет известно большое количество коэффициентов, входящих в данное уравнение [13, 53, 66, 125-128].

Точные и достоверные данные PpT зависимостей, также являются важными и для выяснения калорических свойств растворов и жидкостей. В большинстве случаев посредством графоаналитической обработки с использованием соответствующих термодинамических неравенств находят искомые величины калорических свойств.

Существует три методики экспериментального определения  $P\rho T$  зависимостей паров и жидкостей:

исследование, при постоянном весе жидкости и изменяющемся объеме; методы, которые основаны на гидростатическом взвешивании.

пьезометрический метод.

Вышеизложенные методы, их преимущества и недостатки хорошо освещены в монографии [13, 14, 53]. Мы не ставили перед собой задачу создать принципиально новый метод измерения, а пошли по пути хорошо разработанной методики приспособив ее к условиям, учитывающим специфические свойства исследуемых веществ [13, 14, 53, 66, 125-128].

Особое внимание при выборе методики, уделяется при обеспечении высокой верности измерений с сохранением несложности экспериментирования. Тогда возникла необходимость в создании экспериментальной установки, позволяющей проводить исследования плотности, охватывающей широкую область параметров состояния, в том числе и область как жидкого так и двухфазного состояний и близь нижней пограничной кривой [13, 14, 53, 66, 125, 128].

Принимать во внимание вышеизложенные требования предпочтение было уделено методу гидростатического взвешивания, который разработан профессором К.Д. Гусейновым и его учениками [13, 14, 53, 66, 125, 128].

Измерения плотности исследуемых объектов проводились использованием кварцевого поплавка (5) и аналитических весов (6). Поплавковая камера заполняется жидкостью, которая исследовалась в (4), а поплавков кварцевый подвешивается на манганиновой проволоке (7).

В свою очередь поплавковая камера вставляется в жидкостной термостат (1) (рисунок 2.2), который снабжен мешалкой и змеевиком, посредством которого греющая среда (вода) прокачивалась из

ультратермостата. Регулирование температуры эксперимента проводилось с погрешностью  $\pm 0,02^\circ\text{C}$  и фиксировалась ртутным термометром (9) с ценой деления  $0,1^\circ\text{C}$ . Тарирование экспериментальной установки проводилось контрольными опытами с эталонными жидкостями–водой и толуолом.

Формула для расчета определения плотности исследуемых объектов [13, 14, 53, 66, 125, 128]:

$$\rho = \frac{G_1 - (G_1 - G_2)}{V_{\text{п}} - V_{\text{н}}}, \quad (2.5)$$

где,  $\rho$  – плотность образцов при температуре опыта,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $G_1$ – вес поплавок в воздухе;  $G_2$  вес поплавок в исследуемых образцах;  $V_{\text{п}}$ ,  $V_{\text{н}}$  объем поплавок из кварца и манганиновой проволоки соответственно.

Чтобы проверить правильность работы экспериментальной установки мы провели контрольные опыты с водой и толуолом [4, 13, 14, 35, 36, 53, 66, 125, 128]. При этом полученные результаты согласовались с данными [4, 35, 36] в пределах  $\pm 1,2\%$ .

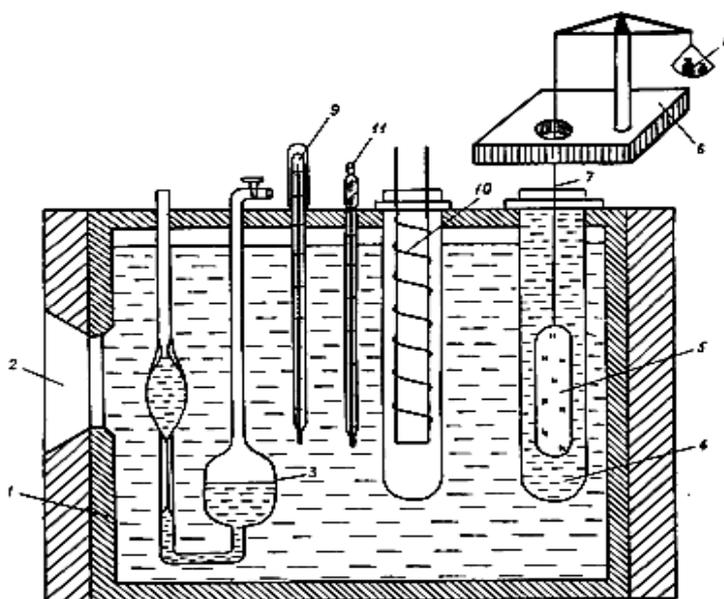


Рисунок 2.2 - Схема экспериментальной установки по определению плотности растворов при атмосферном давлении; 1 термостат, 2 окошко, 3 вискозиметр Освальда, 4 поплавковая камера, 5 кварцевый поплавок, 6 аналитические весы, 7 манганиновая проволока, 8

*уравновешивающие равновесы, Термометры, Нагреватель, Контактный термометр.*

### **2.3. Установка для определения электрофизических свойств магнитных жидкостей при различном давлении под влиянием магнитного поля (Патент РТ №ТJ 372)**

Сущность изобретения заключается в следующем: лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), соединенный к двум электродам, с двумя амперметрами, переменным резистором последовательно присоединенными к индукционной катушке (соленоиду), внутри которой установлена полиэтиленовая ячейка с исследуемым образцом, подключенной к тонометру и реостату [53, 57, 89, 91, 126].

Приведенная установка входит в область измерительной техники также может использоваться для определения электропроводности магнитных жидкостей при комнатной температуре, которые находятся под влиянием магнитного поля.

Известно также устройство для измерения температуропроводности магнитных жидкостей, состоящее из лазерной установки, штатива, прикрепленной к нему ячейки с исследуемым образцом, к тыльной стороне которой присоединен спай хромельалюмелевой термопары, подключенной к микровольтнаноамперметру, лабораторного автотрансформатора (ЛАТР), соединенного с амперметром и переменным резистором, последовательно присоединенными к индукционной катушке (соленоиду), внутри которой установлена полиэтиленовая ячейка с исследуемым образцом, подключенной к тонометру [53, 57].

Наиболее близким прототипом данной установки, с технической точки зрения, является устройство, состоящее из амперметра и инфракрасного детектора [53, 57, 126].

Данная установка является точностью определения повышения электропроводности магнитных жидкостей в зависимости от давления и индукции магнитного поля.

Поясняется заявленное устройство, прилагаемой принципиальной схемой, которое состоит из двух электродов 1, ячейки 2 прикрепленной снизу, которая помещена в индукционную катушку (соленоиде) 3 подключенной к тонометру 4; амперметру 5, реостату 6, лабораторному автотрансформатору (ЛАТР) 7 и резистору 8 (Рисунок 2.6) [53, 57, 126].

Порядок работы устройства состоит в следующем: исследуемым объектом заполняют ячейку 2, поверх присоединяют тонометр 4, под ним с двумя электродами 1 устанавливается соленоид 3 в центре, предохраняя ее контакт с катушкой 3. К штативу прикрепляют индукционную катушку. Лабораторным автотрансформатором 7 (ЛАТР) подается напряжение 3 В, в индукционной катушке 3 создается магнитное поле, изменяется давление от 0,1 до 0,141 МПа [53, 57, 126]. При помощи резистора переменного тока 8 регулируют силу тока от 0,4 до 0,97А по амперметру 5, переменным резистором 8 с амперметром 5 в последовательности к катушке 3. Лабораторным автотрансформатором 7 (ЛАТР), подавая напряжение с помощью амперметра 5, измеряется ток, который возник между двумя электродами 1.

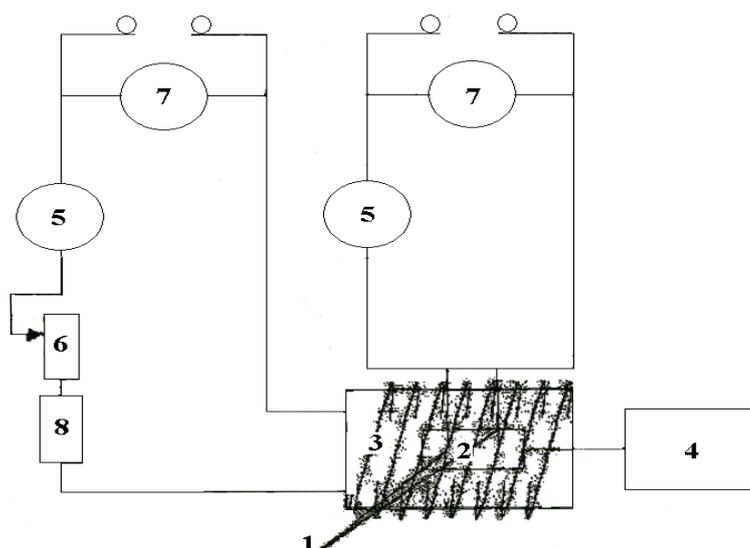


Рисунок 2.3 - Блок схема установки для экспериментального определения электрофизических свойств электролитов при атмосферном давлении [89, 90, 91]

Таким образом данное устройство позволяет определять электропроводность магнитных жидкостей в зависимости от давления и влияния магнитного поля [53, 57,90, 126].

#### **2.4. Устройство для определения электрофизических свойств электролитов в зависимости от давления (Патент РТ №ТJ 371) [90]**

Для измерения электрофизических свойств дополнительно для создания внешнего давления устанавливается тонометр, позволяющий измерять электропроводность и электросопротивление электролитов при комнатной температуре в зависимости от давления [53,89-91,126].

Известно, для измерения электрической проводимости жидкости, используется трансформаторный датчик. Для повышения точности измерений в этом устройстве добавляются два дополнительных прибора: дополнительная обмотка и ключ образцового резистора, которые помогают при подключении и при коммутации выводов обмоток трансформаторного датчика. Вычисление электрической проводимости жидкостей производится по результатам этих трех измерений. Путем измерения параметров функции преобразования измерительного устройства достигается повышение точности результатов [53, 90, 126].

Недостатками указанного устройства являются:

В результате применения трансформаторного датчика измерительным устройством показывается низкий уровень выходного параметра и соответственно имеет погрешность, которая выявляется при измерениях малых проводимостей (практически такие устройства используются для измерения удельных проводимостей более 0,1 См/м). Поскольку применяется линейная математическая модель функции измерительного устройства, погрешность нелинейности не корректируется, поэтому точность измерений также снижается.

Аналогом предлагаемому устройству является устройство [128], содержащее измерительные каналы тока и напряжения, выходы которых

прикреплены к соответствующим электродам, стабилизатор мощности, преобразователь постоянного напряжения в переменное, коммутатор и усилитель, термометр с цифровым выходом, аналогоцифровой преобразователь, выходы которого подключены к выходам оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) через схему управления микропроцессора, электрически стираемого постоянно запоминающее устройство (ПЗУ), связанное с микропроцессором посредством общей шины данных и адресов, шины управления и модема передачи данных [53, 89-91, 126].

Недостатками прототипа является то, что он не позволяет производить измерение электропроводности магнитных жидкостей в взаимосвязи от давления [53, 90, 126].

Целью предоставленной аппаратуры является создание новой и более качественной конструкции измерения тока, протекающего через жидкость, и падения напряжения в объеме жидкости и повышение точности измерений электропроводности и электросопротивления электролитов при комнатной температуре в зависимости от давления [53, 90, 91, 126].

Заявленное устройство поясняется чертежом, на котором изображена принципиальная схема (рисунок 2.4). Устройство содержит измерительный канал тока и напряжения, выходы которых прикреплены к соответствующим электродам 1, полиэтиленовую ячейку 2 с исследуемым образцом, тонометр 3 модели АТ12 прикрепленного сверху ячейки 2, предназначенный для плавного регулирования напряжения переменного тока частоты 50 или 60 Гц при различных электротехнических работах, который создает внешнее давление, (тонометр имеет диаметр 5 см: манжета стандартная (50 x 14 см) при увеличенной манжете (60 x 17 см), границы измерения от 0 до 300 атм. давления), амперметр 4 Э8030М1ТУ (класс точности 0,5% пределы измерения до 1А, частота номинальная 50 Гц) и автотрансформатор ЛАТР 5,

которые являются однофазными. Номинальное первичное напряжение трансформаторов ЛАТР 220В. Пределы регулирования 0250В [53, 89, 90, 91, 126].

Номинальный ток нагрузки на ЛАТР 5А. Лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) 5 подключен к электроду 1 и амперметру 4 (рисунок 2.4).

Полиэтиленовая ячейка 2 изготовлена из полиэтиленового материала толщиной 0,27 мм в форме призмы размерами 30x5x15 мм.

#### **Устройство работает следующим образом:**

Ячейку 2 из полиэтилена заполняют электролитом и исследуемым объектом [53, 89, 90, 91, 126]. Присоединяют к тонометру 5 и электродам 1. Автотрансформатором лабораторным 5 (ЛАТР), подавая напряжение с помощью амперметра 4, измеряется ток, возникший между электродами 1, и тонометра 3 от 0,1 до 29,34 МПа изменяют внешнее давление [53, 89, 90, 91, 126]. Порядок проведения замеров технически реализуются в самой измерительной зоне, а снятие показаний (измеренных данных) и управление измерителя обеспечивается дистанционно. Измеренные значения температуры, силы тока, напряжения, удельного электрического сопротивления (УЭС) и солевая концентрация формируются в информационный пакет с заголовком, основным блоком проверки циклического контроля и выдается по дистанционному кабелю связи.

По формуле (2.6) определяется сопротивление [53, 89, 90, 91, 126]:

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.6)$$

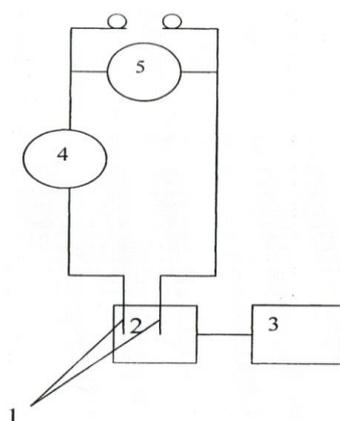
Зная численное значение  $R$ , можно определит по формуле (2.7) удельное электрическое сопротивление образца

$$\rho = \frac{I}{R} \quad (2.7)$$

Отсюда электропроводность образца можно определит по следующей формуле:

$$\chi = \frac{I}{\rho} \quad (2.8)$$

Предлагаемое изобретение решает задачу расширения функциональных возможностей за счет дополнительной установки тонометра, предназначенного для проведения измерений с высокой точностью удельной электрической проводимости жидкости и может использоваться как при исследованиях различных электролитов, так и при автоматизированном контроле технологических процессов [53, 89, 90, 91, 126].



*Рисунок 2.4 - Блок схема экспериментальной установки для измерения удельной электрической проводимости электролитов в зависимости от давления*

### **2.5.Способ измерения диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков (Патент РТ №ТJ 210)**

Условная диэлектрическая проницаемость одна из основных характеристик диэлектриков, способы измерения которой хорошо известны. Множество из упомянутых способов разработаны на основании изменения электрической емкости или же на основании активного сопротивления плоского воздушного конденсатора после помещения его в просвет исследуемого диэлектрика. Известен способ, при котором определяется диэлектрическая проницаемость жидких и плоских твердых диэлектриков [53, 89, 90, 91, 126], при нем применяют динамический

конденсатор, образуемый посредством подвижного электрода и посредством вращающегося металлического диска, на котором установлен поляризованный пленочный электрет.

Способу свойственны недостатки и ограничения. Вращение электрета с помощью электропривода делает способ недостаточно технологичным и локализует интервал частот измерений диэлектрической проницаемости. Трудность этого способа формируется необходимостью определения толщины образца, расстояния между электродами и величины расстояния между вращающимся электретом и образцом, а также вычислений той величины, которая измеряется. Принципиально точность измерений не может быть достаточно высокой, так как помимо известного места краевых эффектов, проявляемых в случаях, когда величина интервала измерительного конденсатора сопоставима с размерами обкладок конденсатора, появляются и другие причины возникновения ошибок, например зависящие от степени неоднородности распределения заряда по поверхности электрета [53, 89, 90, 91, 126].

При другом способе, когда плоский воздушный конденсатор с регулируемым зазором, приложенный к электродам с переменным электрическим напряжением, применяется для определения диэлектрической проницаемости жидких и плоских твердых диэлектриков [53,89-91,126]. Согласно этому способу зазор воздушного конденсатора устанавливают так чтобы он был равен толщине образца. Ток конденсатора преобразуют в напряжение, например при помощи усилителя операции, регулируют это напряжение, при этом добиваются такого значения, которое численно равно или кратно диэлектрической проницаемости воздуха. После этого, образец помещают вплотную между электродами конденсатора и определяют искомое значение по показаниям регистрирующего прибора, например вольтметра (рисунок 2.5) [53, 91, 126].

Недостаток этого способа заключается в дополнительной настройке межэлектродного зазора равного или кратного диэлектрической проницаемости воздуха, который может повлиять на точность измерения.

Известен способ измерения диэлектрической проницаемости [53, 89-91, 126]. Способ, при котором изменяют величину зазора плоского измерительного конденсатора, к обкладкам прилагается переменное напряжение, добиваются равенства токов конденсатора для случаев, при котором исследуемый образец помещается в зазор конденсатора, так и в отсутствии последнего.

Главным недостатком представленного метода является то, что необходимо провести дополнительные измерения по толщине образца и расстояния между электродами, а также необходимы дополнительные вычисления [53, 89-91, 126].

Другой недостаток приведенных способов заключается в том, что относительная диэлектрическая проницаемость жидких диэлектриков измеряется синхронно с температурой термостата, который отличается от температуры исследуемой жидкости [53, 89-91, 126].

Приведенные способы не имеют схожих признаков с заявляемым.

Целью предполагаемого метода заключается в разработке способа с наименьшими действиями, затратами времени и более точными результатами измерений [53, 91, 126].

Технический результат достигается тем, что электроды конденсатора и цифровой термометр погружают в электрохимическую ячейку, заранее залитую исследуемой жидкостью. Далее измеряется емкость электрохимической ячейки измерителем емкости и температура цифровым термометром синхронно [53, 89, 91, 126].

На данном чертеже (рисунок 2.5) приведена принципиальная схема, которая позволяет реализовать этот способ. Плоский конденсатор измерений образован измерительными электродами А и Б, погруженных

в исследуемую жидкость 2, находящейся в электрохимической ячейке 1. Электроды соединены с измерителем емкости 3. и электрохимической ячейкой, а также погружается цифровой термометр С, измеряющий температуру жидкости. Термометр по шине из трех проводов 5 соединен с индикатором 4.

Способ осуществляют следующим образом.

Измеряют емкость пустой электрохимической ячейки 1 без исследуемой жидкости в воздухе. Затем, в электрохимическую ячейку 1 заливают исследуемую жидкость 2, окончательно измеряют емкость электрохимической ячейки 1 и определяют диэлектрическую проницаемость по формуле [53, 89 - 91, 126].

$$\varepsilon = \frac{C_{\text{ж}}}{C_{\text{в}}} \quad (2.9)$$

где,  $\varepsilon$  диэлектрическая проницаемость исследуемой жидкости;

$C_{\text{ж}}$  емкость системы электродов исследуемой жидкости;

$C_{\text{в}}$  системы электродов в воздухе.

Предлагаемый способ упрощает измерение относительной диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков и повышает его точность [53, 89-91,126].

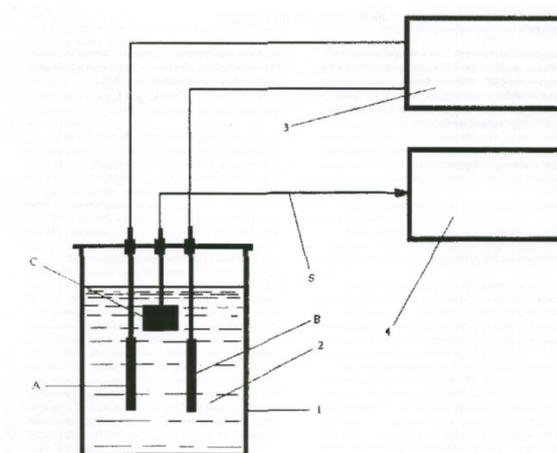


Рисунок 2.5 - Схема экспериментальной установки для измерения диэлектрической проницаемости электролитов [53, 89 91, 126]

Результаты экспериментального определения диэлектрической проницаемости и электропроводности гидразингидрата и его компонентов приведены в таблице 2.2.

**Таблица 2.2** - Экспериментальные и литературные данные по диэлектрической проницаемости и электропроводностью гидразингидрата и его компоненты

Обозначение	$H_2O$	$N_2H_4$	Гидразингидрат. (наши данные)
$\varepsilon$	81	52	31,7
$\chi, \text{см} \cdot \text{м}^{-1}$	$10^{-3} - 10^{-4}$	$(0,3 - 2,6) \cdot 10^{-6}$	$(0,294 - 2,242) \cdot 10^{-6}$

## 2.6. Теплоемкость наножидкостей, методы ее измерения при различных температурах и давлениях

### 2.6.1. Установка для экспериментального исследования удельной теплоемкости жидкостей в зависимости от температуры при атмосферном давлении

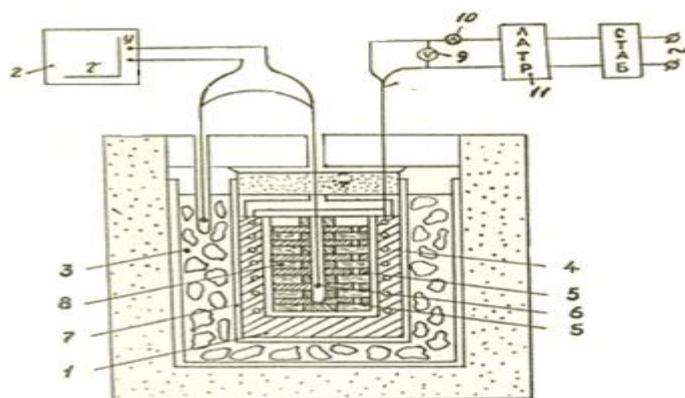
Е.С. Платуновым разработана экспериментальная установка, работающая методом монотонного разогрева, которая предназначена для исследования теплоемкости жидкостей в интервале изменения температуры от 273 до 673К при атмосферном давлении (рисунок 2.1), состоит из калориметра (1), графопостроителя (2), сосуда с тающим льдом (3) и электроизмерительных приборов (9) – (12) [21, 53, 58, 59, 66, 125, 126].

Калориметр – это цилиндр, изготовленный из металла, наружная поверхность которого обмотана нагревателем (4). Промежуточное ядро калориметра размещается внутри цилиндра, которая выполнена в виде цилиндрического радиатора (5) и имеет высокую теплопроводность. Исследуемой жидкостью заполняют пазы для ядра, а горячий спай дифференциальной термопары (6) размещен по его оси. С внешней стороны калориметр изолирован асбестом и помещен в медный цилиндр

(7), где поддерживается температура, равная той, при которой тает лед [1, 2, 21, 53, 58, 59, 66, 125, 126].

Такой тип конструкции калориметра дает возможность проводить замеры теплоемкости жидкостей при монотонном разогреве, при котором радиатор (5) выступающий в качестве промежуточного ядра устраняет влияние теплопроводности жидкости во время проведения эксперимента [21, 21, 53, 58, 59, 66, 125, 126, 128].

Порядок проведения опыта таков. Исследуемой жидкостью (8) заполняют калориметр и медный цилиндр помещается в водолеянную смесь (3). Для достижения термодинамического равновесия калориметр выдерживают в течение часа при температуре, при которой тает лед. Сперва включается нагреватель (4) калориметра графопостроитель Н306 (2), по оси  $x$  которого производится развертка по времени, а по оси  $y$  фиксируется температура калориметра (рисунок 2.6) [21, 21, 53, 58, 59, 66, 125, 126, 128].



*Рисунок 2.6 - Схема установки для экспериментального измерения удельной теплоемкости растворов и жидкостей в зависимости от температуры при атмосферном давлении*



*Рисунок 2.7 - Зависимость повышения температуры измерительной ячейки  $\Delta T$  от времени  $\tau$  [21, 53, 58, 59, 66, 125, 126, 128]*

### **2.6.2. Описание экспериментальной установки для измерения удельной теплоемкости жидкостей и растворов при высоких параметрах состояния**

Одной из важных теплофизических свойств жидкостей и газов является изобарная теплоемкость, которая необходима для калориметрического расчета процессов и аппаратов, входит в критериальные уравнения теплообмена тем самым отражает особенности термодинамической поверхности [1, 2, 21, 53, 58, 59, 66, 125, 126, 128].

Чисто теоретические оценки величин теплоемкости для жидкостей не могут быть сделаны даже приблизительно. Экспериментальные данные служат основным источником информации о теплофизических свойствах жидкостей, в том числе теплоемкости. Помимо практической ценности, экспериментальные исследования теплоемкости, имеют также исключительно важное научное значение, потому что образование и совершенствование расчетнотеоретических методов исследования термодинамических свойств веществ всегда зависят от точности экспериментальных данных [53, 58, 59, 66, 125, 126, 128].

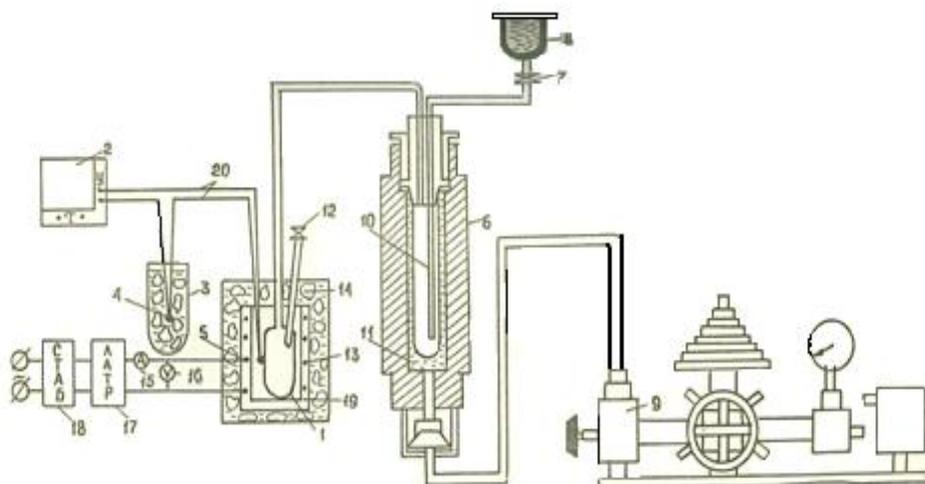
В этом параграфе рассмотрены наиболее приемлемые методы, на наш взгляд, а также установки, реализующие эти методы, которые позволяют экспериментально определить теплоемкость веществ в

широком диапазоне давления и температур. Приведено описание выбранной экспериментальной установки, результаты контрольных опытов с эталонными жидкостями, произведена оценка точности и достоверности полученных данных путем контрольных экспериментов удельной теплоемкости [53, 58, 59, 66, 125, 126, 128].

При помощи установки, которая основана на методе монотонного рзогреава, была измерена удельная теплоемкость растворов при высоких температрах и давлениях [53, 58, 59, 66, 125, 126, 128]. Экспериментальная установка разрабатывалась для определения теплоемкости гранулированных веществ в зависимости от температуры [92, 94]. Показана схема установки на рисунке 2.9.

В основном, установка, состоит из измерительной ячейки (баллончика) (1), пережимного сосуда высокого давления (6), манометра грузопоршневого МП2500 (9), графопостроителя (2) и электроизмерительных приборов (15) – (18). Медный стакан (19), в котором размещается измерительная ячейка (1), наматывается нихромовая проволока (нагреватель) (13). Посредством тонкостенных нержавеющей трубок он соединяется с пережимным сосудом (6) измерительной ячейки (1) [53, 58, 59, 66, 125, 126, 128].

При этом нагреватель (13) и горячий спай термопары (20) находятся при атмосферном давлении. Измеряя температуру опыта мы использовали дифференциальную хромельалюмелевую термопару, диаметр которой 0,15 мм, и её концы соединены с графопостроителем (2). Горячий спай термопары расположен на поверхности ячейки, а холодной спай помещен в сосуд Дьюара, в котором тает лед [53, 58, 59, 66, 80, 93, 125, 126, 128].



*Рисунок 2.8 - Схема установки для экспериментального измерения удельной теплоемкости жидкостей и растворов при высоких параметрах состояния [53, 58, 59, 66, 80, 93, 125, 126, 128]*

Для измерения теплоемкости веществ при высоких давлениях и температуре, прибор оснащен электропечью. Электрическая печь построена цилиндрической формы, наружным диаметром 34 и внутренним 24 мм. На наружной поверхности печи находится электронагреватель, который имеет вид спирали из нихромовой проволоки диаметром 1 мм. Электрическая печь с внешней стороны с торцов изолировалась. Электропечь питается через ЛАТР (17) и стабилизатор (18). Амперметром (15) и вольтметром (16) определялись ток и напряжение. Использован пережимной сосуд для создания необходимого давления в данной установке [53, 58, 59, 66, 80, 93, 125, 126, 128].

Для того, чтобы окончательно убедиться в достоверности экспериментов толуолом, Гексаном и керосином производились контрольные исследования [102, 189].

Измерялась удельная теплоемкость контрольных образцов при атмосферном давлении в интервале температур от 273 до 373К [4, 53, 58, 59, 66, 80, 93, 125, 126, 128].

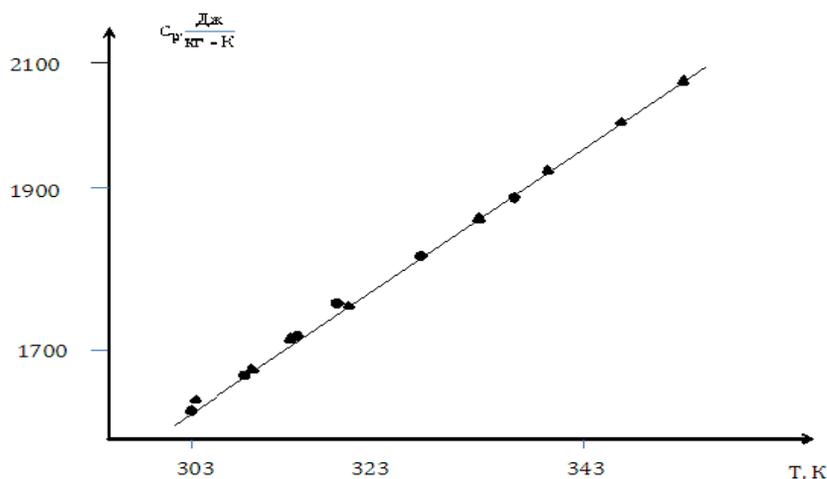


Рисунок 2.9 - Результат контрольных измерений удельной теплоемкости толуола и оценка их достоверности: ● данные [4, 27, 35]; ▲ наши данные

Как видно по графику, на котором также приведены и данные, данные по теплоемкости толуола, полученные нами экспериментальным путем, во всем температурном интервале практически совпадают с данными [4, 27, 35]. При сопоставлении экспериментальных данных с литературными, с учетом доверительной вероятности  $\alpha=0,95$ , максимальная погрешность измерения теплоемкости в относительной форме не превысила 3,0%.

Следовательно, установка воспроизводит значения теплоемкости контрольных образцов, качественно и количественно в зависимости от температуры и давления, убедившись в этом мы приступили к измерению удельной теплоемкости исследуемых веществ.

**Методика определения теплоемкости.** Исследуемая жидкость, при закрытом положении вентиля (7), наливается в стакан (8). После этого вентиль (7) открывается и после заполнения измерительной ячейки (баллончик) исследуемой жидкостью закрывается. До начала проведения эксперимента жидкость дегазировалась путем нагревания до температуры кипения при открытом положении вентиля высокого давления (7), который находится в приборе, затем закрываются вентили (7) и (12) [66, 80, 93, 125, 126, 128].

Создаем требуемое давление при помощи грузопоршневого манометра типа МП-2500 через пережимной сосуд в приборе. После этого включается электрическая печь и включается графопостроитель Н306. Одновременно с каждым измерением теплоемкости по изобарам нами построен график, приведенный на рисунке 2.7 [66, 80, 93, 125, 126, 128].

По результатам сравнения двух графиков таким образом, рассчитывается удельная теплоемкость  $C_p$  исследуемых жидкостей и растворов [66, 80, 93, 125, 126, 128].

Рассчитывалась удельная теплоемкость исследуемых образцов с данными опытов по формуле [66, 80, 93, 125, 126, 128]:

$$C_p = \frac{\tau_x(m_1 C_1 + B + K \tau_{2cp}) - \tau_1(B + K \tau_{1cp})}{\tau_1 m_x} \quad (2.10)$$

Где  $m_x$  масса испытуемой жидкости;  $m_1$  масса образцовой (эталон) жидкости;  $\tau_1$  время нагрева образцовой жидкости;  $\tau_x$  время нагрева испытуемой жидкости [66, 80, 93, 125, 126, 128];  $B=40,93$  и  $K=0,04$  постоянные, которые определяются в результате проведения измерений образцовых жидкостей, при постоянной мощности нагревателя [66, 80, 93, 125, 126, 128].

На результат измерения теплоемкости влияние чужеродных тепловых потоков было исключено вследствие введения в расчетную формулу постоянной ячейки [66, 80, 93, 125, 126, 128].

## **2.7. Установка для измерения теплопроводности наножидкостей в зависимости от температуры и давления**

Имерительные методы теплопроводности наножидкостей разделяются на две группы. Методы относящиеся к первой группе, основаны на закономерности стационарного теплового режима. Базируются эти методы на гипотезе Фурье о пропорциональности градиенту температуры теплового потока. Ко второй группе методов экспериментального исследования теплопроводности относят методы, основывающиеся на нестационарных законах теплового режима, где

температура тела является функцией и координат и времени. Теория вышеназванных методов подробно приведена в [6, 13, 14, 28, 39, 41, 43, 47, 52, 53, 55, 65-69, 110, 125-128].

Измеряют теплопроводность растворов при использовании как стационарных, так и нестационарных методов [3, 6, 13, 14, 28, 39, 41, 43, 47-53, 55, 58, 59, 61, 63-70, 74, 80, 83, 92-94, 99, 106-108, 110, 125-128].

При стационарном методе существуют определенные недостатки, главными из которых считаются длительное время проведения эксперимента, а также сложность конструкции самой установки. Для исследования широкого профиля веществ при различных условиях, охватывающих обширный диапазон температур, применение стационарных методов весьма неудобно. Наиболее приемлемыми являются нестационарные методы, основоположниками которых являются А.В. Лыков [36, 125, 213], Г.М. Кондратьев [39, 66], А.Ф. Чудновский [106], И.Ф. Голубьев [214] и другие. Из числа нестационарных методов наибольшее применение нашли методы регулярного теплового режима первого рода, которые более тщательно были изучены Г.М. Кондратьевым [65, 102] и в основном широко используются для исследования теплопроводности различных веществ [148-151].

Для введения методов первого рода регулярного теплового режима сложные экспериментальные установки не требуются. Установки, работа которых основано на данном методе являются скоростными и в большей своей степени позволяют точно измерять теплопроводность веществ. В связи с этим мы собрали экспериментальную установку руководствуясь данным методом. Ниже приведено ее описание.

Разработанная нами экспериментальная установка, предназначенная для измерения теплопроводности растворов в зависимости от давления и температуры, основана на методе цилиндрического бикалориметра

регулярного теплового режима первого рода [21, 102, 179, 189, 191, 192] (рисунок 2.8).

Основными частями установки являются бикалориметр цилиндрический, пережимной сосуд высокого давления (13), манометр грузопоршневый МП2500 (16), приборы электроизмерительные и автоматизированный теплофизический комплекс АТК (22) [21, 102, 116, 179, 189, 191, 192].

В основном бикалориметр состоит из двух медных цилиндров, которые расположены коаксиально, из внутреннего (2) и внешнего (1). Промежуток между цилиндрами заполняется исследуемой жидкостью. Состоит внутренний цилиндр (ядро бикалориметра) из цилиндров измерительного (2) и компенсационного (3), который позволяет ликвидировать теплопередачу через верхний конец измерительного цилиндра [21, 102, 116, 179, 189, 191, 192].

Внутренние цилиндры изготовливают из меди поскольку она обладает высокой теплопроводностью, что позволяет избежать неравномерное распределение температуры в теле ядра, к тому же ее теплофизические свойства хорошо изучены. Геометрические размеры бикалориметра следующие: внешний и внутренний диаметр наружного цилиндра равны 110 и 18,1 мм, внешний диаметр внутреннего цилиндра (измерительного и компенсационного) 17,0 мм и длина измерительного цилиндра 170,0 мм, компенсационного – 50 мм. Исследуемый слой имеет толщину 0,55 мм [21, 102, 116, 179, 189, 191, 192].

На резьбе вставлен, изготовленный из нержавеющей стали, ниппель (4), который соединяет измерительный и компенсационный внутренний цилиндры. Сверху компенсационный цилиндр резьбой соединен с центрирующим конусом (8), изготовленным также из нержавеющей стали и при помощи прижимной гайки (9) уплотнен к корпусу внешнего цилиндра. Посредством нижнего уплотняющего конуса из нержавеющей

стали (5), прижимающегося фланцем (6) к корпусу цилиндра, прибор заполняется исследуемой жидкостью [21, 22, 102, 179, 189, 191-193].

Сверху внешнего цилиндра (1) находятся отверстия для размещения концов термопары (7,11). Конусное уплотнение верхней головки (8), держащее внутренние цилиндры, позволяет обеспечить их центровку внутри внешнего цилиндра (1). В конусе высверлено отверстие, чтобы можно было вывести провода [21, 22, 102, 116, 179, 189, 191-193].

Нагреватель и горячий спай термопары измерительной (11) расположены в бикалориметре, которые герметично были изолированы от исследуемого вещества и находились под влиянием атмосферного давления [21, 22, 102, 116, 179, 189, 191-193].

Перепада температур создавался на границах слоя, который подлежит исследованию, при этом использовали внутренний нагреватель, который расположен внутри измерительного цилиндра. Нагреватель диаметром 0,15 мм изготовлен из нихромовой проволоки, который с помощью понижающего трансформатора питается от сети. Отверстия, которые высверлены в измерительном цилиндре, имели минимальные диаметры, для того, чтобы можно было разместить всего лишь нагреватель и горячий спай термопары измерительной, тем самым достигнуть наименьшего влияния на равномерность температурного поля ядра. При помощи стеклоткани, которая предварительно была пропитана клеем БФ2, была произведена изоляция термопары и нагревателя, чтобы избежать электрического контакта с корпусом бикалориметра. Разность температур на границе исследуемого слоя составляла 1,3-10,65К, толщина исследуемого слоя и перепад температур на его границе выбирались таким образом, чтобы во время измерения не присутствовала конвекция [21, 22, 102, 179, 189, 191-193, 213].

Центрирование цилиндров производилось при помощи микроскопа (МИР2), расстояние (зазор) между цилиндрами уточнялось как

измерением диаметра цилиндров, так и при помощи микроскопа, а микрометром был измерен внутренний диаметр цилиндра [102, 179, 189, 191-193, 214].

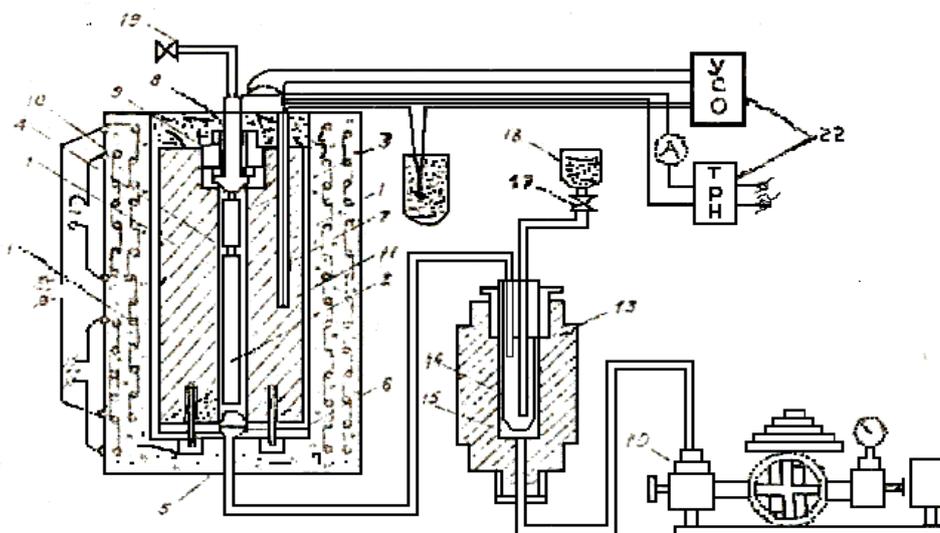
Индикатором часового типа был измерен внутренний диаметр наружного цилиндра. Путем полировки и хромирования поверхности цилиндров удалось достичь минимальных потерь тепла излучением. Опыты проводились при вертикальном положении установки [21, 22, 102, 179, 189, 191-193, 214].

Для измерения теплопроводности при повышенных и высоких температурах в приборе используют электропечь, которая имеет три основные части (10, 13, 14). В форме цилиндра печь обладает следующими параметрами: диаметр наружный 180мм, диаметр внутренний 110мм. На внутренней поверхности печи размещен спиралеобразный электрический нагреватель, изготовленный из нихромовой проволоки, диаметр которого равен 1мм. В качестве изоляции в печи был применен асбест, с помощью которого печь была изолирована как с внешней стороны, так и с торцов. Такого рода печь способствует тому, чтобы температура бикалоромитра повысилась за короткий промежуток времени. Питание печи осуществлялось с помощью стабилизатора напряжения, которое измерялось вольтметром. С помощью гальванометра марки ГСП47 и термопар дифференциальных регулировалось отсутствие градиента температуры [21, 22, 116, 179, 189, 191-193, 213, 215].

Из нержавеющей стали был изготовлен пережимной сосуд высокого давления (13), внешний и внутренний диаметр которого составлял 100 и 28мм соответственно, а длина 300мм. Для соединения узлов установки были применены трубки также изготовленные из нержавеющей стали, внутренний и наружный диаметр которых составлял 3 и 6мм. Чтобы избежать смешивания исследуемого вещества от того, при помощи которого создается давление (глицерин) (15), использовался полиэтиленовый мешочек, который служил в качестве разделителя (14).

Создавалось и измерялось давление при помощи грузопоршневого манометра (16) типа МП-2500 и образцового типа МО-600 [21, 22, 102, 116, 189, 191-193, 213, 215].

Теплофизический комплекс, который был нами разработан и автоматизирован, соединяется к цилиндрическому бикалориметру, который приведен на рисунке 2.10 [12, 14, 102, 189-193, 213, 215].



*Рисунок 2.10 - Схема установки для измерения теплопроводности растворов в зависимости от температуры и давления [21, 22, 102, 116, 189, 191, 193, 213, 215]*

Его предназначением является в различного рода неоднородных средах способствовать изучению процесса переноса тепла в интервале температур 293-773К. Его основными частями являются: комплекс вычислительный ПК (1), УСО (устройство соединения с объектом) (2), блок вентиляторов БВ (3), теристорный блок регуляторов мощности, установка для исследования ТФС (теплофизических свойств) [12, 14, 102, 189, 191-193, 213].

Представленный комплекс выполняет сбор и обработку информации по проведенному эксперименту ТФС исследуемых веществ;

образование и вывод информации на терминал о ходе эксперимента и алфавитноцифрового представления ее в графическом виде;

автоматическое программное управление исполнительным механизмом и сохранение заданных режимов температур;

производит информационный обмен между вычислительным прибором и установкой посредством интерфейса ИРПС.

Представленный комплекс благодаря своей минимальной конфигурации в состоянии производить ввод:

сигналы 4х термопар;

четырёх потенциальных сигналов 05 с погрешностью преобразования не более 0,1% и временем преобразования 150 мкс;

возникновение и вывод последующих сигналов;

двенадцати дискретных сигналов типа “открытый коллектор”;

управление регулятором мощности до 2 кВт;

управление регулятором мощности до 400 Вт.

Контрольные измерения для проверки правильности поведения эксперимента были осуществлены с атмосферным воздухом и толуолом при атмосферном давлении и в интервале температур от 293 до 573 К.

К тому же для достоверности теплопроводность контрольного образца (воздуха) была измерена в разные промежутки времени с различной толщиной исследуемого слоя (риунок 2.12). – результат одной серии измерений) [12, 14, 102, 116, 189, 191-193, 213, 215].

На данном графике была показана информация [12]. На рисунке 2.12, как мы видим, данные полученные экспериментальным путем по теплопроводности воздуха полностью совпадают с данными [12] во всем диапазоне температур [12, 14, 102, 116, 189, 191-193, 213].

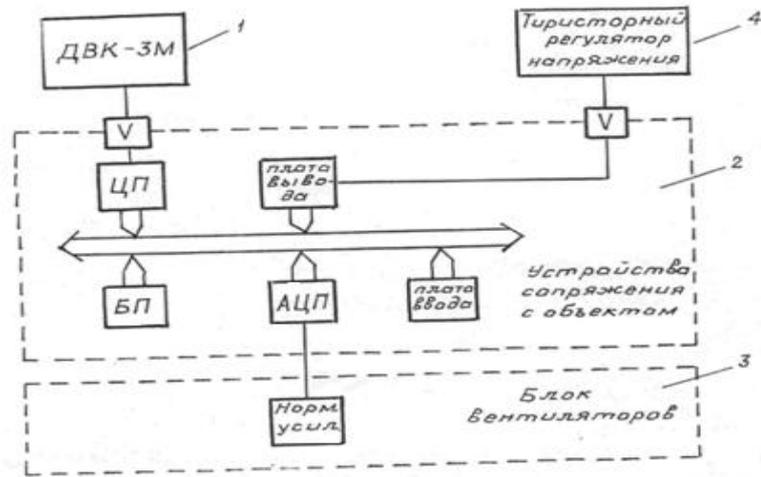


Рисунок 2.11 - Блоксхема автоматизированного теплофизического комплекса [12, 14, 102, 116, 189, 191, 193].

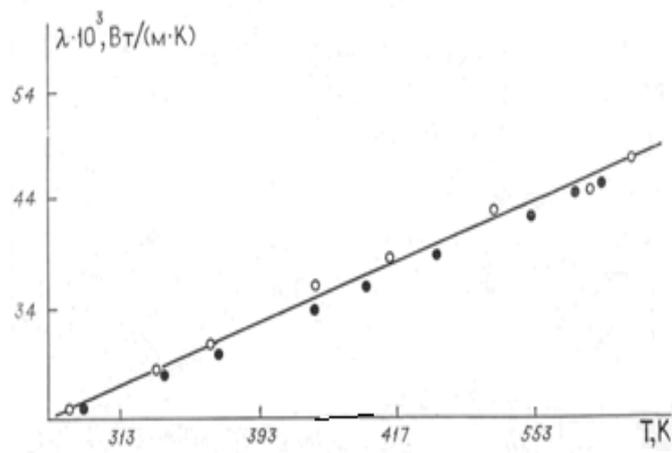


Рисунок 2.12 - Сопоставление экспериментальных величин теплопроводности воздуха с данными [12]: o – данные [12]; • наши данные.

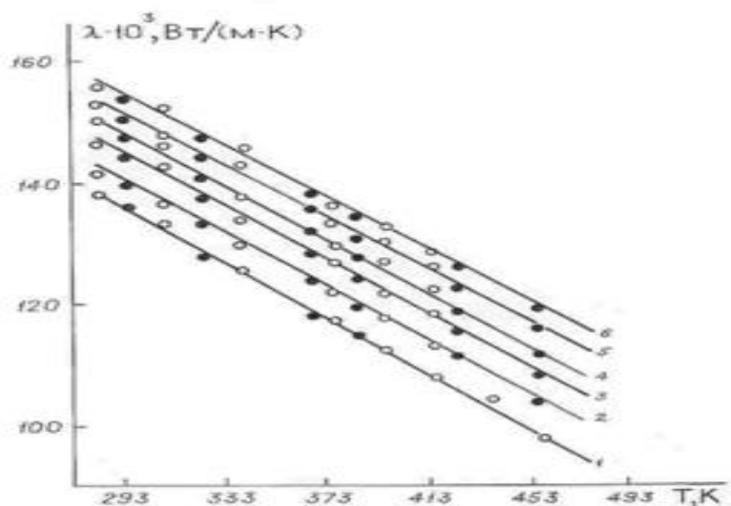


Рисунок 2.13 - Сопоставление экспериментальных значений теплопроводности толуола при разных температурах и давлениях с данными [12]; o – данные [12]; • наши данные

Как показывает результат сравнения контрольных измерений теплопроводности принятых эталонных образцов (воздух, жидкий толуол) с известными литературными данными (рисунки 2.12 и 2.13) совпадают в рамках погрешности опыта с [12, 21, 102, 189, 191-193], которая при доверительной вероятности  $\alpha=0,95$  не превышает 4,2%.

После проведения контрольных измерений, которые подтвердили правильность работы установки нами были проведены замеры теплопроводности исследуемых веществ.

На данной установке был проведен ряд исследований по теплопроводности веществ (водный раствор гидразина и фенилгидразина, кислородо и азотосодержащих органических жидкостей с добавкой различных наночастиц разной концентрации в интервале температур 293-548К и давлений 0,101-49,01МПа) [21, 22, 65, 66, 6871, 102, 116, 189, 191-193].

### 2.7.1. Порядок проведения опытов и вычисления уравнение для теплопроводности

Исследуемый раствор, при закрытом положении вентилях (17) и (19), наливается в сосуд (18). Вентили (17) и (19) открываются и при заполнении бикалориметра исследуемой жидкостью вентили

перекрываются. Жидкость находящаяся в приборе, до проведения опыта, дегазировалась, т.е. нагревалась до температуры кипения. При выполнении данного действия вентиль (19) находился в открытом положении, в результате чего испытуемое вещество переходит в стационарное тепловое состояние [12, 14, 102, 116, 189, 191-193, 213].

С помощью манометра типа МП-2500 (грузопоршневый) посредством пережимного сосуда создается требуемое давление в приборе. Цепь внутреннего электронагревателя подключается, нагреваются внутренние цилиндры в течение 1,52 минуты на некоторую избыточную температуру ( $\sim 2,5^{\circ}\text{C}$ ) в соотношении с внешним цилиндром. Затем нагреватель отключается, и через испытуемый слой происходит самопроизвольное охлаждение внутреннего цилиндра до равновесного состояния, т.е. до температуры внешнего цилиндра [21, 71, 102, 116, 189, 191, 192, 213].

Для вычисления теплопроводности по результатам данных опыта применяется [9, 13, 14, 36, 39, 47, 48, 50, 52, 53, 61, 65, 66, 93, 94, 99, 107, 125, 128, 214]:

$$\lambda = \frac{R_1^2 C^1 m \gamma \ln R_2 / R_1}{2B_{\text{ц}}} \quad (2.14)$$

здесь  $B_{\text{ц}} = \frac{3\mathcal{K}_{\text{ц}}}{3\mathcal{K}_{\text{ц}} + K_{\text{ц}}}$ ,  $\mathcal{K}_{\text{ц}} = \frac{1 + K_{\text{ц}} + K_{\text{ц}}^2}{3K_{\text{ц}}} \cdot \frac{C_m}{C}$ ,  $K_{\text{ц}} = \frac{R_1}{R_2 - R_1} \ln \frac{R_2}{R_1}$

где,  $C_m, C^1, R_1, \gamma$  – теплоемкость общая и удельная (Дж/кг) и (Дж/(кг.К)); радиус (м); плотность материала, из которого изготовлен измерительный цилиндр (кг/м<sup>3</sup>);  $R_2$  – внутренний радиус наружного цилиндра (м);  $C$  – полная теплоемкость слоя из испытуемого вещества (Дж/кг);  $m'$  – темп регулярного охлаждения (1/с), вычисляемый по формуле [9, 13, 14, 36, 39, 47, 48, 50, 52, 53, 61, 65, 66, 93, 94, 99, 107, 125, 128, 214]:

$$m = \frac{\ln \Theta_1 - \ln \Theta_2}{\tau_2 - \tau_1} = \frac{\ln N_1 - \ln N_2}{\tau_2 - \tau_1} \quad (2.15)$$

где  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$  – разнородность температур в пределах исследуемого слоя в начале  $\tau_1$  и в конце  $\tau_2$  отсчета;  $N_1$  и  $N_2$  – также разность температур, которая выражена числом делений гальванометрической шкалы. В режиме работы эти значения по графику фиксируются ПК [9, 13, 14, 36, 39, 47, 48, 50, 52, 53, 61, 65, 66, 93, 94, 99, 107, 125, 128, 214].

Значение величин (коэффициентов), входящих в уравнение (2.14) равны [9, 13, 14, 36, 39, 47, 48, 50, 52, 53, 61, 65, 66, 93, 94, 99, 107, 125, 128, 214]:

$$K_{ц} = 0,974; Ж_{ц} = 15,3; Б_{ц} = 0,981.$$

При толщине исследуемого слоя  $\delta = 0,356$  мм расчетная формула (2.14) примет вид [9, 13, 14, 36, 39, 47, 48, 50, 52, 53, 61, 65, 66, 93, 94, 99, 107, 125, 128, 214]:

$$\lambda = 0,133 \text{ C}^{\circ}\text{m} \quad (2.16)$$

При толщине исследуемого слоя  $\delta = 0,556$  мм расчетная формула (2.14) примет вид [9, 13, 14, 36, 39, 47, 48, 50, 52, 53, 61, 65, 66, 93, 94, 99, 107, 125, 128, 214]:

$$\lambda = 0,23 \text{ C}^{\circ}\text{m} \quad (2.17)$$

Расчет теплопроводности ведется по уравнению (2.14), в которое вводится ряд исправлений, которые рассмотрены в работах [21, 76, 79, 102, 189].

## **2.8. Оценка погрешности измерения теплофизических свойств исследуемых веществ**

Измерение физических величины заключается в сравнении ее с сходной ее физической величиной, принятая как единица. Результат измерения физической величины  $A$  представляют в виде [2, 6, 7, 8, 10-14, 26, 27, 32, 41-43, 45, 46, 52, 53, 56, 60, 61, 66, 80, 89, 92-94, 95-100, 101, 107-108, 125-128]:

$$A = \{A\}[A], \quad (2.18)$$

где,  $\{A\}$  отвлеченное число, которое называется числовым значением величины  $A$ ,

$[A]$  единица величины  $A$ .

При изменении единицы физической величины  $k$  раз ( $[A]' = k[A]$ ), то числовое значение  $\{A\}'$  этой величины преобразится в  $1/k$  раз:

$$\{A\}' = A/[A]' = A/k[A] = \{A\}/k \quad (2.19)$$

Пропорциональность физической величины  $A$  обозначают  $\dim[A]$ . Иза того, что числовое значение  $\{A\}$  – величина безразмерная, то размерность физической величины  $A$  совпадает с размерностью ее длины:

$$\dim A = \dim[A] \quad (2.20)$$

Существуют два вида измерений физических величин прямые и косвенные. При прямых измерениях значение искомой величины непосредственно вычисляется с помощью прибора, измеряющего саму эту величину. Размеры тела, например, можно напрямую измерять линейкой, штангенциркулем, микрометром; вес тела можно определить путем прямого измерения взвешивания на весах; продолжительность какоголибо процесса можно непосредственно измерить секундомером, а силу электрического тока в цепи амперметром.

Косвенное измерение необходимых величин проводят, опираясь на результатах, полученных путем прямых измерений других величин. Например, плотность тела можно рассчитать, если будут известны масса и объем данного тела, которые могут быть получены путем прямого измерения и т.д. Значения некоторых физических величин, в зависимости от выбора метода измерений, можно определить путем как прямых, так и косвенных измерений. К примеру, в образцовом сопротивлении силу постоянного тока электрической цепи можно непосредственно измерять при помощи амперметра, также можно косвенно по измеренной величине напряжения на включенном в цепь последовательно вольтметра.

Используемые технические средства для выполнения экспериментальной части измерений, называются средствами измерений. В них входят измерительные приборы, меры и системы и установки которые состоят из них. Измерительными приборами называются средства измерения, при помощи которых можно напрямую рассчитать значения измеряемых величин. Мера это одно из средств измерений, которое предназначено для воспроизведения физических величин заданных размеров. На ход измерений влияют разные ситуации, возникающие в результате самых разных причин, которые в итоге искажают истинное значение измеряемой физической величины. Данное несоответствие называется погрешностью измерений.

Следствием погрешности в измерениях могут стать разные причины такие как недостатки в измерительных приборах, человеческий фактор, изменения температуры воздуха и т.п. В связи с этим погрешность измерений разделяют на три группы – грубые, систематические и случайные погрешности.

Грубые ошибки, в основном допускаются за счет неисправности измерительных устройств, либо по вине самого экспериментатора (не внимательность, упущения при фиксировании показаний и т.д.).

Систематические погрешности это такие погрешности, которые остаются постоянными при многократном измерении одних и тех же значений, или изменяются по определенному закону. Систематические погрешности состоят из методических и инструментальных (приборные) погрешностей измерений. Методические ошибки связаны с недостатками метода измерений, которое связана в основном несовершенством теории физических явлений и неточностью расчетной формулы, которая используется для расчета измеряемой величины. Путем совершенствования метода измерений можно уменьшить методические погрешности, а также ввести уточнения в расчетную формулу.

Погрешности, связанные с несовершенством конструкции и неточностью производства измерительных приборов (например, несовпадение в стрелочном приборе центра шкалы с осью вращения стрелки), называются инструментальными погрешностями.

Случайными погрешностями называют такие погрешности, в результате которых либо знак, либо абсолютная величина одних и тех же измеряемых физических величин изменяются при неоднократном измерении. Случайные погрешности связаны с многочисленными факторами, которые не учитываются. Целиком избавиться от случайных погрешностей не является возможным, но уменьшить их можно путем неоднократного повторения измерений. Для расчета случайных погрешностей используют методы теории вероятности и математической статистики.

Расчет погрешности экспериментальных данных, по теплофизическим и электрофизическим свойствам проводили согласно методике, приведенной в работах [2, 6, 7, 8, 10-14, 26, 27, 32, 41-43, 45, 46, 52, 53, 56, 60, 61, 66, 80, 89, 92-94, 95-100, 101, 107-108, 125-128].

Среднее арифметическое значение (выборочное среднее)  $\bar{y}$  результатов наблюдений определяется по формуле [2, 6, 7, 8, 10-14, 26, 27, 32, 41-46, 52, 53, 56, 60, 61, 66, 80, 89, 92-100, 101, 107-108, 125-128]:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (2.21)$$

где,  $n$  – число наблюдений;  $y_i$  – результат  $i$ -го измерения.

По формулам, приведенным ниже, определяется абсолютная  $S$  и относительная  $S_{\text{омн}}$  величины выборочного среднего квадратичного отклонения результата одного наблюдения:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} ; \quad (2.22)$$

$$S_{\text{омн}} = \frac{S}{\bar{y}} \cdot 100\% . \quad (2.23)$$

Для расчета абсолютной  $S_y^-$  и относительной  $S_{yотн}^-$  величин для оценки величины среднеквадратичного отклонения результата серии наблюдений использовали формулы:

$$S_y^- = \frac{S}{\sqrt{n}}; \quad (2.24)$$

$$S_{yотн}^- = \frac{y}{y} \cdot 100\% . \quad (2.25)$$

Доверительный предел случайной погрешности результата измерения  $\Delta_{сл}$  вычисляется по формуле:

$$\Delta_{сл} = S_y^- \cdot t_{n-1, 1-\varepsilon/\alpha}, \quad (2.26)$$

где,  $\varepsilon=1-\alpha$ ; доверительная вероятность, которая принимается равной 0,95.

Доверительная граница не устраненной систематической погрешности результата измерения  $\theta$  определяется по формуле [2, 6, 7, 8, 10-14, 26, 27, 32, 41-43, 45, 46, 52, 53, 56, 60, 61, 66, 80, 89, 92-94, 95-100, 101, 107-108, 125-128]:

$$\theta = K \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2}, \quad (2.27)$$

где,  $K$ –коэффициент, который определяется принятой доверительной вероятностью и при  $\alpha=0,95$  равный 1,1;  $\theta_j$ – граница  $j$  – й соответствующей не устраненной постоянной погрешности.

Доверительную границу погрешности результатов измерения определяем по формуле [2, 6, 7, 8, 10-14, 26, 27, 32, 41-43, 45, 46, 52, 53, 56, 60, 61, 66, 80, 89, 92-94, 95-100, 101, 107-108, 125-128]:

$$\Delta = t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma} . \quad (2.28)$$

Суммарное отклонение среднеквадратичных не устраненных систематических и случайных погрешностей  $S_{\Sigma}$  рассчитывается по формуле [102, 148-151, 189-192]:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_y^2 + S_v^2}, \quad (2.29)$$

где,  $S_v^2 = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^m \theta_j^2$  – среднее квадратичное отклонение суммы неисключенных постоянных погрешностей.

Коэффициент, зависимый от соотношения случайной и неисключенной погрешностей  $t_\Sigma$  вычисляется по формуле [2, 6, 7, 8, 10-14, 26, 27, 32, 41-43, 45, 46, 52, 53, 56, 60, 61, 66, 80, 89, 92-94, 95-100, 101, 107-108, 125-128]:

$$t_\Sigma = \frac{\theta + S_y^- \cdot t_x^-}{S_v + S_y^-}, \quad (2.30)$$

где,  $t_x^-$  – коэффициент Стьюдента, который зависит от выбранной доверительной вероятности  $\alpha$  и кратности наблюдений.

Доверительная граница ошибок результата косвенных измерений величины, которая является функцией  $y=F(y_1, y_2, \dots, y_n)$  при  $\alpha=0,95$  вычисляется по формуле [2, 6, 7, 8, 10-14, 26, 27, 32, 41-43, 45, 46, 52, 53, 56, 60, 61, 66, 80, 89, 92-94, 95-100, 101, 107-108, 125-128]:

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial y_1}\right)^2 (\Delta y_1)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y_2}\right)^2 (\Delta y_2)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial y_n}\right)^2 (\Delta y_n)^2}, \quad (2.31)$$

где,  $\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_n$  – доверительный предел ошибок результатов измерений значений  $y_1, y_2, \dots, y_n$ .

Расчитывается доверительная границы погрешности измерения в относительной форме формулой:

$$\sigma = \frac{\Delta y}{y} \cdot 100\% . \quad (2.32)$$

Чтобы определить доверительный предел погрешности измерения теплопроводности уравнение (2.31) с помощью (2.21)–(2.32) приобретает вид [2, 6, 7, 8, 10-14, 26, 27, 32, 41-43, 45, 46, 52, 53, 56, 60, 61, 66, 80, 89, 92-94, 95-100, 101, 107-108, 125-128, 168, 175, 186-189, 191, 195, 198, 199, 200, 203, 208]:

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial h}\right)^2 (\Delta h)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial(\Delta T_o)}\right)^2 (\Delta T_o)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial S}\right)^2 (\Delta S)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial(\Delta T_i)}\right)^2 (\Delta T_i)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial K}\right)^2 (\Delta K)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial\sigma}\right)^2 (\Delta\sigma)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial P_K}\right)^2 (\Delta P_K)^2}, \quad (2.33)$$

где

$$\frac{\partial\lambda}{\partial h} = \frac{1}{P_o} = \frac{1}{2,4 \cdot 10^{-4}} = 0,41 \cdot 10^4$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial(\Delta T_o)} = \frac{h}{S(1+\sigma_c) - P_K \Delta T_i \cdot K_T} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{1,76 \cdot 10^{-4} (1+1,07 \cdot 10^{-2}) - 2,11 \cdot 10^{-3} \cdot 80 \cdot 0,331} = 8,97 \cdot 10^{-2}$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial S} = \frac{h}{\Delta T_o (1+\sigma_c) - P_K \Delta T_i \cdot K_{T_o}} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{210(1+1,07 \cdot 10^{-2}) - 2,11 \cdot 10^{-3} \cdot 80 \cdot 0,331} = 2,35 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial(\Delta T_i)} = \frac{h}{\Delta T_o S(1+\sigma_c) - P_K K_T} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{210 \cdot 1,76 \cdot 10^{-4} (1+1,07 \cdot 10^{-2}) - 2,11 \cdot 10^{-3} \cdot 0,331} = 0,1364$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial K_T} = \frac{h}{\Delta T_o S(1+\sigma_c) - P_K \Delta T_i} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{210 \cdot 1,76 \cdot 10^{-4} (1+1,07 \cdot 10^{-2}) - 2,11 \cdot 10^{-3} \cdot 80} = 3,8 \cdot 10^{-2}$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial\sigma_c} = \frac{h}{\Delta T_o S - P_K \Delta T_i \cdot K_T} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{210 \cdot 1,76 \cdot 10^{-4} - 2,11 \cdot 10^{-3} \cdot 80 \cdot 0,331} = 0,264$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial P_K} = \frac{h}{\Delta T_o S(1+\sigma_c) - \Delta T_i \cdot K_T} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{210 \cdot 1,76 \cdot 10^{-4} (1+1,07 \cdot 10^{-2}) - 80 \cdot 0,331} = 1,89 \cdot 10^{-4}$$

В относительной же форме с помощью уравнения (2.33) и используя уравнения (2.21) – (2.32) при  $\alpha=0,95$  рассчитывается доверительная граница погрешности измерений. А также произойдет расчет методической погрешности измерения температуры по предложенному методу в [2, 6, 7, 8, 10-14, 26, 27, 32, 41-43, 45, 46, 52, 53, 56, 60, 61, 66, 80, 89, 92-94, 95-100, 101, 107-108, 125-128] и инструментальная погрешность при измерении ЭДС термопары потенциометром. В работах [107-108, 125-128] приведена количественная оценка погрешности измерения.

Как показали результаты относительных расчетов доверительного предела погрешности измерения теплопроводности при  $\alpha=0,95$  равен 1,9 %, методическая погрешность 0,2%, инструментальная погрешность 1,1%. Общая погрешность измерений теплопроводности в относительной форме составляет 3,2%.

Уравнение (2.31) также использовано для расчета погрешности измерения удельной теплоемкости из соотношения [53, 169, 173, 176, 178, 180, 183, 189-193, 199-201, 203, 206-209]:

$$\Delta C_p = \sqrt{\left(\frac{\partial C_p}{\partial \tau_x}\right)^2 (\Delta C_p)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial m_1}\right)^2 (\Delta m_1)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial C_1}\right)^2 (\Delta C_1)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial B}\right)^2 (\Delta B)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial K}\right)^2 (\Delta K)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial B}\right)^2 (\Delta B)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial m_x}\right)^2 (\Delta m_x)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial \tau_1}\right)^2 (\Delta \tau_1)^2}, \quad (2.35)$$

где  $\frac{\partial C_p}{\partial m_1} = \frac{\tau_x C_1}{\tau_1 m_1}$

$$\frac{\partial C_p}{\partial C_1} = \frac{\tau_x m_1}{\tau_1 m_x}$$

$$\frac{\partial C_p}{\partial B} = \frac{\tau_x - \tau_1}{\tau_1 m_x}$$

$$\frac{\partial C_p}{\partial K} = \frac{(\tau_x - \tau_1) \tau_{cp}}{\tau_1 m_x}$$

$$\frac{\partial C_p}{\partial m_x} = \frac{\tau_1 (B + K \tau_{cp}) - \tau_x (m_1 C_1 + B + K \tau_{cp})}{\tau_1 (m_x)^2}$$

Для расчета погрешности измерения теплоемкости исследуемых веществ было использовано уравнение (2.35) и (2.21)-(2.32) в относительной форме при  $\alpha=0,95$ . Количественная оценка погрешности измерения удельной теплоемкости исследуемых нами растворов может быть произведена при помощи информации в П.1.

Как показали расчеты предел погрешности измерения теплоемкости в относительной форме при  $\alpha=0,95$ , равен 0,45%, методическая погрешность – 1,3%, инструментальная погрешность – 1,18%. Общая относительная погрешность измерений  $C_p$  составляет 3,0%.

## **Заключение по второй главе**

Основываясь на анализе методов измерения теплофизических свойств газов и жидкостей выбраны для исследования теплопроводности и теплоемкости наножидкостей при высоких параметрах состояния метод регулярного теплового режима первого и второго рода, а также метод монтонного разогрева. Кроме, того для измерения электрофизических свойств использован метод кондуктометрии.

Рассчитана погрешность экспериментальных данных по плотности, теплопроводности и теплоемкости исследуемых веществ. Были приведены разработанные и созданные экспериментальные установки для определения теплопроводности, теплоемкости, электрофизических свойств растворов как в зависимости от температуры при атмосферном давлении, так и при высоких параметрах состояния.

Представлен автоматизированный метод по непосредственному измерению теплопроводности жидкостей и растворов в большом интервале давлений и температур.

## **ГЛАВА 3. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ ГИДРАЗИНГИДРАТ + НАНОСТРУКТУРНЫЕ АМФОТЕРНЫЕ ОКСИДЫ МЕТАЛЛОВ**

### **3.1. Плотность, теплоемкость, теплопроводность, и электрофизические свойства гидразингидрата с добавкой наноструктурных амфотерных оксидов металлов при различных температурах и атмосферном давлении**

#### **3.1.1. Теплоемкость гидразингидрата с добавкой наноструктурных амфотерных оксидов металлов при различных температурах и атмосферном давлении**

На опытной установке, разработанной Е.С. Платуновым была определена удельная теплоемкость гидразингидрата при различных температурах  $T = (298-548)K$  и  $P = 0,101$  МПа с добавкой от  $0,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$  до  $0,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$  (с интервалом  $0,05 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ ) наноструктурных оксидов металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d_{cp} = 30, 50, 70, 90 \text{ нм}$ ), (таблицы 3.1-3.5). Кроме, того удельная изобарная теплоемкость наножидкостей системы гидразингидрата и некоторых амфотерных оксидов металлов использовали установку, разработанную и собранную профессором М.М. Сафаровым [53, 169, 171-178, 188, 180, 183, 189, 192, 193, 199, 200-204, 206-209].

В таблицах 3.13.5 и П.3.1П.3.9 сведены результаты расчетов по экспериментальным данным теплоемкости исследуемых образцов при различных температурах и концентрациях наноструктурных оксидов металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d_{cp} = 30, 50, 70, 90 \text{ нм}$ ) [53, 169, 171-178, 188, 180, 183, 189, 192, 193, 199, 200-204, 206-209]. Надо отметить, что теплопроводность и электропроводность монолита оксидов металлов (амфотерных и неамфотерных) в зависимости от температуры обобщены в Справочнике [217, 218].

Таблица 3.1 - Результаты экспериментального исследования теплоемкости ( $C_p$ , Дж/(кг·К)) гидразингидрата с добавлением различной концентрации оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ,  $d=50$ нм) при атмосферном давлении и различных температурах

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	3478	3492	3506	3536	3566
0,15	3458	3471	3484	3508	3532
0,2	3438	3449	3460	3489	3518
0,25	3418	3430	3442	3461	3480
0,3	3398	3406	3414	3432	3450

Таблица 3.2 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг·К)) наножидкости системы (гидразингидрат+ $Fe_2O_3$ ,  $d=30$ нм) при различных температурах, давлениях и концентрациях

Т, К	Давление P, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. $Fe_2O_3$							
293,0	3490	3475	3460	3440	3425	3406	3390
313,5	3512	3493	3478	3460	3440	3426	3412
333,7	3533	3518	3500	3480	3467	3448	3436
363,2		3546	3528	3513	3498	3480	3467
393,8		3580	3560	3548	3530	3510	3500
423,7		3610	3593	3580	3560	3544	3515
453,3		3642	3624	3610	3590	3578	3560
483,9		3672	3656	3640	3620	3609	3592
513,2		3706	3685	3674	3655	3640	3623
543,5		3740	3717	3704	3686	3670	3657
573,8		3768	3747	3738	3720	3704	3685

Продолжение таблицы 3.2

Гидразингидрат +0,15г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,4	3470	3458	3440	3420	3408	3386	3364
313,7	3490	3478	3460	3440	3428	3410	3386
333,9	3513	3500	3480	3460	3440	3428	3410
363,5		3530	3510	3498	3480	3460	3440
393,7		3560	3542	3523	3508	3490	3470
423,5		3598	3578	3560	3540	3526	3505
453,8		3644	3605	3590	3570	3556	3538
483,4		3660	3640	3623	3607	3586	3546
513,2		3690	3670	3658	3640	3620	3600
543,9		3720	3705	3690	3667	3650	3630
573,2		3756	3738	3720	3700	3680	3660
Гидразингидрат +0,2г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,5	3450	3438	3420	3400	3380	3366	3345
313,2	3470	3460	3440	3420	3400	3388	3362
333,7	3500	3480	3460	3440	3427	3410	3380
363,4		3520	3500	3480	3460	3443	3423
393,7		3550	3534	3520	3498	3474	3460
423,4		3586	3566	3566	3530	3514	3500
453,3		3620	3600	3580	3560	3548	3528
483,9		3652	3638	3620	3600	3580	3560
513,7		3688	3668	3650	3630	3618	3600
543,9		3720	3700	3685	3662	3650	3630
573,2		3754	3740	3720	3703	3680	3670
Гидразингидрат +0,25г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,4	3430	3416	3400	3380	3367	3342	3324
313,6	3450	3435	3418	3400	3380	3560	3348
333,2	3480	3460	3440	3420	3400	3380	3370

Продолжение таблицы 3.2

363,7		3490	3472	3460	3440	3418	3400
393,5		3528	3503	3488	3470	3430	3418
423,6		3560	3540	3520	3507	3482	3460
453,8		3592	3577	3560	3540	3518	3500
483,7		3625	3604	3590	3570	3550	3530
513,8		3660	3640	3620	3600	3580	3560
543,5		3699	3685	3658	3634	3617	3600
573,9		3730	3706	3690	3670	3650	3630
Гидразингидрат +0,3г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,6	3410	3394	3378	3360	3340	3325	3308
313,7	3425	3412	3398	3380	3360	3342	33322
333,9	3456	3438	3420	3400	3380	3360	3340
363,7		3460	3440	3426	3400	3390	3370
393,5		3497	3478	3460	3437	3420	3400
423,4		3520	3506	3486	3468	3450	3428
453,8		3552	3530	3517	3495	3470	3460
483,9		3580	3560	3545	3525	3502	3480
513,7		3610	3598	3580	3576	3538	3514
543,4		3640	3620	3608	3580	3560	3540
573,8		3670	3660	3640	3612	3590	3570

Таблица 3.3 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг.К)) наножидкость системы (гидразингидрат +Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, d=50нм) при различных температурах, давлениях и концентрациях

Т,К	Давление P, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,3	3470	3460	3444	3430	3418	3400	3380
313,2	3481	3480	3462	3448	3430	3418	3395

Продолжение таблицы 3.3

333,8	3517	3500	3480	3464	3450	3438	3418
363,9		3528	3510	3500	3480	3463	3446
393,0		3560	3544	3528	3510	3496	3477
423,7		3590	3578	3560	3540	3527	3505
453,4		3620	3602	3588	3570	3550	3536
483,7		3650	3630	3620	3600	3583	3564
513,4		3680	3664	3650	3630	3610	3600
543,8		3710	3698	3680	3660	3644	3628
573,3		3740	3728	3710	3690	3678	3660
Гидразингидрат +0,15г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,2	3445	3430	3420	3400	3380	3360	3348
313,6	3456	3446	3432	3418	3397	3380	3362
333,4	3481	3470	3453	3436	3416	3697	3380
363,7		3498	3480	3460	3440	3420	3410
393,4		3524	3512	3490	3470	3450	3435
423,8		3556	3540	3520	3496	3478	3460
453,7		3580	3564	3546	3520	3500	3488
483,9		3610	3593	3574	3550	3530	3512
513,7		3638	3620	3600	3580	3558	3540
543,4		3684	3650	3630	3608	3583	3570
573,6		3696	3680	3656	3637	3610	3590
Гидразингидрат +0,2г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,6	3419	3400	3386	3368	3346	3328	3310
313,7	3430	3420	3400	3380	3360	3340	3330
333,8	3459	3440	3420	3400	3380	3360	3348
363,4		3468	3440	3422	3400	3384	3370
393,0		3494	3470	3450	3430	3416	3397
423,7		3520	3500	3478	3452	3433	3420

Продолжение таблицы 3.3

453,4		3550	3522	3500	3480	3460	3442
483,5		3580	3556	3528	3508	3490	3472
513,7		3602	3578	3554	3533	3516	3500
543,4		3630	3600	3580	3560	3540	3520
573,0		3658	3630	3605	3580	3564	3548
Гидразингидрат +0,25г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,4	3394	3380	3360	3344	3325	3310	3290
313,0	3402	3394	3378	3360	3340	3322	3306
333,5	3427	3410	3390	3372	3354	3340	3320
363,7		3436	3418	3400	3380	3360	3342
393,0		3460	3440	3420	3400	3384	3368
423,7		3480	3462	3444	3428	3412	3390
453,8		3508	3484	3468	3450	3430	3410
483,6		3530	3512	3496	3473	3460	3432
513,0		3556	3538	3520	3500	3480	3460
543,3		3580	3560	3540	3520	3500	3480
573,6		3608	3582	3546	3545	3526	3506
Гидразингидрат +0,3г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,3	3369	3350	3336	3318	3303	3283	3362
313,7	3375	3360	3348	3330	3316	3295	3280
333,6	3396	3378	3360	3340	3328	3310	3290
363,4		3395	3380	3360	3346	3330	3310
393,7		3418	3400	3383	3370	3350	3332
423,8		3438	3424	3408	3382	3370	3352
453,7		3460	3443	3426	3410	3380	3370
483,5		3480	3464	3448	3432	3411	3390

Продолжение таблицы 3.3

513,7		3500	3486	3467	3450	3430	3410
543,3		3522	3506	3488	3472	3450	3430
573,4		3540	3525	3508	3492	3475	3455

Таблица 3.4 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг.К)) наножидкости системы (гидразингидрат +  $Fe_2O_3$ ,  $d=60nm$ ) при различных температурах, давлениях и концентрациях

Т,К	Давление P, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. $Fe_2O_3$							
293,3	3440	3423	3410	3390	3378	33550	3330
313,2	3460	3450	3433	3418	3390	3370	3352
333,8	3482	3460	3448	3430	3418	3395	3370
363,9		3498	3480	3465	3450	3425	3410
393,0		3520	3510	3496	3478	3460	3435
423,7		3574	3540	3526	3507	3487	3463
453,4		3586	3570	3556	3540	3516	3498
483,7		3618	3600	3582	3570	3544	3523
513,4		3644	3630	3618	3598	3579	3560
543,8		3676	3660	3645	3630	3610	3568
573,3		3705	3690	3670	3660	3640	3620
Гидразингидрат +0,15г. $Fe_2O_3$							
293,2	3415	3400	3380	3360	3340	3320	3308
313,6	3424	3416	3400	3380	3360	3340	3322
333,4	3452	3438	3420	3400	3380	3360	3345
363,7		3463	3445	3430	3410	3390	3378
393,4		3496	3477	3460	3440	3420	3406
423,8		3523	3506	3490	3470	3450	3435
453,7		3556	3537	3520	3500	3480	3467

Продолжение таблицы 3.4

483,9		3580	3563	3550	3530	3510	3500
513,7		3610	3592	3580	3560	3540	3524
543,4		3640	3620	3607	3588	3470	3554
573,6		3670	3654	3638	3618	3600	3586
Гидразингидрат +0,2г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,0	3383	3370	3354	3340	3320	3302	3280
313,5	3400	3390	3375	3356	3340	3320	3300
333,7	3422	3410	3390	3374	3360	3340	3320
363,8		3439	3420	3408	3387	3368	3350
393,7		3465	3450	3437	3418	3397	3380
423,4		3497	3480	3460	3440	3423	3405
453,7		3523	3508	3490	3470	3450	3436
483,0		3552	3537	3520	3500	3480	3464
513,1		3580	3564	3550	3528	3510	3490
543,3		3610	3595	3580	3560	3540	3520
573,2		36440	3624	3606	3585	3568	3548
Гидразингидрат +0,25г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,0	3355	3337	3320	3300	3260	3250	3240
313,6	3374	3360	3340	3320	3300	3280	3260
333,9	3400	3385	3376	3340	3320	3306	3286
363,5		3420	3404	3383	3360	3340	3320
393,0		3460	3440	3420	3400	3376	3360
423,7		3500	3480	3460	3438	3414	3400
453,4		3538	3520	3490	3470	3450	3430
483,0		3570	3550	3536	3512	3490	3470
513,7		3610	3590	3570	3550	3528	3510
543,0		3650	3630	3610	3588	3562	3543

Продолжение таблицы 3.4

573,5		3690	3670	3650	3628	3600	3580
Гидразингидрат +0,3г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,4	3325	3316	3300	3280	3260	3240	3221
313,7	3342	3332	3320	3300	3280	3260	3240
333,8	3370	3350	3340	3320	3300	3280	3260
363,0		3388	3370	3360	3330	3314	3298
393,5		3420	3408	3380	3360	3344	3325
423,7		3450	3430	3410	3390	3376	3360
453,8		3480	3464	3444	3423	3408	3385
483,5		3516	3433	3478	3456	3439	3418
513,0		3540	3524	3506	3486	3466	3446
543,5		3575	3558	3540	3518	3500	3480
573,0		3600	3585	3564	3544	3528	3510

Таблица 3.5 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг.К)) наножидкости системы (гидразингидрат+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, d=70нм) при различных температурах, давлениях и концентрациях

Т,К	Давление P, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,3	3420	3404	3386	3365	3350	3330	3310
313,5	3440	3420	3400	3380	3365	3348	3335
333,6	3452	3440	3420	3400	3383	3367	3350
363,5		3463	3448	3430	3410	3390	3380
393,7		3498	3477	3460	3440	3420	3400
423,4		3520	3503	3484	3465	3448	3436
453,4		3550	3530	3510	3490	3473	3460
483,7		3578	3556	3540	3520	3500	3484

Продолжение таблицы 3.5

513,0		3603	3574	3568	3584	3526	3510
543,7		3630	3610	3600	3572	3554	3540
573,7		3690	3640	3620	3600	3580	3562
Гидразингидрат +0,15г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,2	3420	3380	3364	3353	3338	3320	3300
313,4	3406	3492	3480	3464	3448	3335	3314
333,8	3422	3410	3390	3378	3360	3344	33285
363,7		3430	3416	3400	3380	3360	3346
393,0		3450	3436	3420	3400	3380	3364
423,2		3470	3456	3440	3420	3400	3380
453,4		3490	3480	3460	3440	3420	3400
483,6		3510	3490	3478	3460	3438	3420
513,5		3530	3510	3490	3478	3458	3440
543,6		3550	3530	3520	3493	3476	3458
573,4		3570	3550	3536	3510	3493	3480
Гидразингидрат +0,2г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,0	3355	3339	3318	3300	3280	3260	3240
313,5	3370	3376	3340	3320	3300	3280	3264
333,6	3400	3380	3360	3340	3320	3300	3283
363,0		3410	3390	3378	3358	3338	3320
393,5		3440	3420	3405	3358	3368	3350
423,7		3478	3460	3438	3420	3400	3380
453,8		3510	3490	3470	3450	3430	3418
483,0		3540	3520	3500	3482	3460	3440
513,0		3578	3558	3540	3520	3500	3460
543,7		3605	3590	3570	3548	3530	3510
573,0		3640	3620	3600	3580	3536	3540

Продолжение таблицы 3.5

Гидразингидрат +0,25г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,0	3325	3313	3300	3280	3260	3230	3225
313,6	3344	3336	3320	3300	3280	3267	3246
333,8	3370	3356	3340	3320	3300	3285	3267
363,5		3390	3374	3356	3336	3318	3300
393,0		3418	3406	3384	3360	3346	3328
423,4		3450	3430	3412	3392	3376	3360
453,9		3480	3464	3445	3423	3405	3386
483,2		3510	3493	3479	3458	3436	3417
513,7		3540	3520	3508	3480	3460	3444
543,4		3586	3560	3540	3516	3495	3574
573,0		3610	3590	3568	3550	3524	3506
Гидразингидрат +0,3г. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,0	3300	3284	3268	3248	3212	3205	3180
313,4	3322	3310	3288	3270	3248	3228	3210
333,0	3340	3324	3306	3285	3266	3248	3226
363,7		3358	3340	3318	3300	3280	3260
393,3		3390	3370	3350	3326	3310	3288
423,7		3420	3400	3380	3360	3340	3320
453,4		3450	3430	3410	3390	3370	3356
483,0		3480	3460	3440	3420	3400	3380
513,6		3512	3498	3470	3454	3436	3413
543,5		3540	3520	3506	3484	3462	3441
573,7		3576	3557	3538	3513	3500	3460

Характер изменения теплоемкости гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации наноструктурных оксидов металлов (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> d<sub>ср</sub>=30, 50, 70, 90 нм, 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3г.) показан на рисунке 3.1, где указано, что с ростом температуры теплоемкость

исследуемых объектов увеличивается по линейному закону, а в зависимости от концентрации наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{ср}}=30, 50, 70, 90$  нм, 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3г.) уменьшается. Например: при увеличении добавки наноструктурных оксидов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{ср}}=30, 50, 70, 90$  нм, 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3г.) при температуре 298К теплоемкость уменьшается на  $\sim 8,5\%$ , а при 323К и концентрации наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{ср}}=30, 50, 70, 90$ нм) 0,3 г. увеличивается на  $\sim 14\%$ .

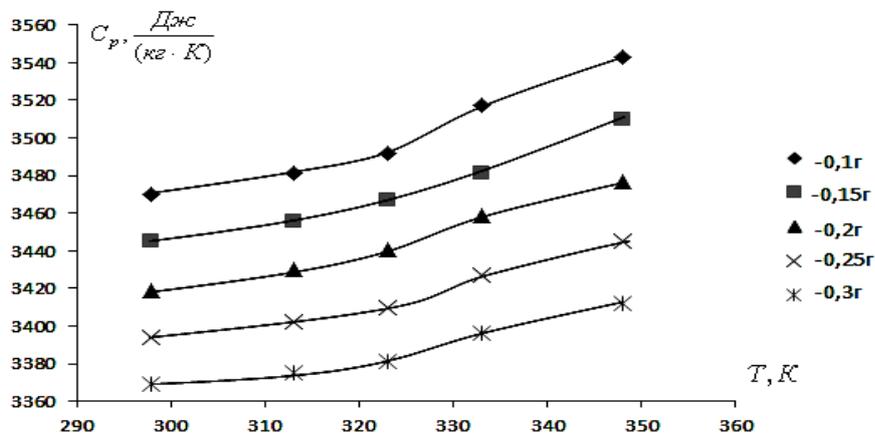


Рисунок 3.1 - Зависимость теплоемкости исследуемых объектов от температуры и концентрации наноструктурного оксида железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $d=50$ нм) при атмосферном давлении

Кроме того, экспериментально была исследована теплопроводность гидразингидрата в зависимости от концентрации 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3 гр. наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{ср}}=30, 50, 70, 90$ нм) и температур в пределах (298–673К) при атмосферном давлении [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199, 200, 203, 208].

Значения теплопроводности гидразингидрата, которые получены экспериментальным путем в зависимости от концентрации 0,1; 0,2; 0,3; г. наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ti}_2\text{O}$ ,  $d_{\text{ср}}=30, 50, 70, 90$ нм) при различных температурах и давлениях приводятся в таблицах 3.63.9 [53, 71, 72, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199, 200, 203, 208].

Кроме того,  $\lambda$  наножидкости системы гидразингидрата и амфотерных оксидов металлов, нами рассчитана теплопроводность численными методами с помощью моделей Максвелла [161] и Дульнева Г.Н. и его учениками [218] при различных температурах при атмосферном давлении, результаты которого сопоставлены с экспериментальными данными.

Таблица 3.6 - Величины, полученные экспериментально по теплопроводности ( $\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ) системы гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации наноструктурного амфотерного оксида железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3, d= 50\text{нм}$ ) при атмосферном давлении.

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	423	439	454	463	471
0,15	437	453	468	474	479
0,2	458	469	481	485	489
0,25	476	485	494	496	497
0,3	499	505	511	512	513

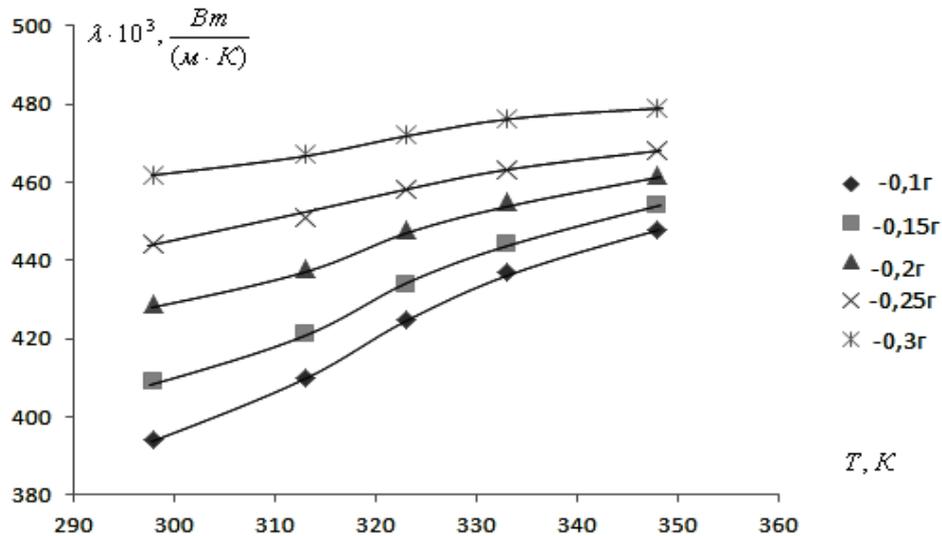


Рисунок 3.2 -  $\lambda$  исследуемых объектов при различных температурах и концентрациях наноструктурного оксида титана ( $\text{TiO}_2, d= 50\text{нм}$ ) при атмосферном давлении

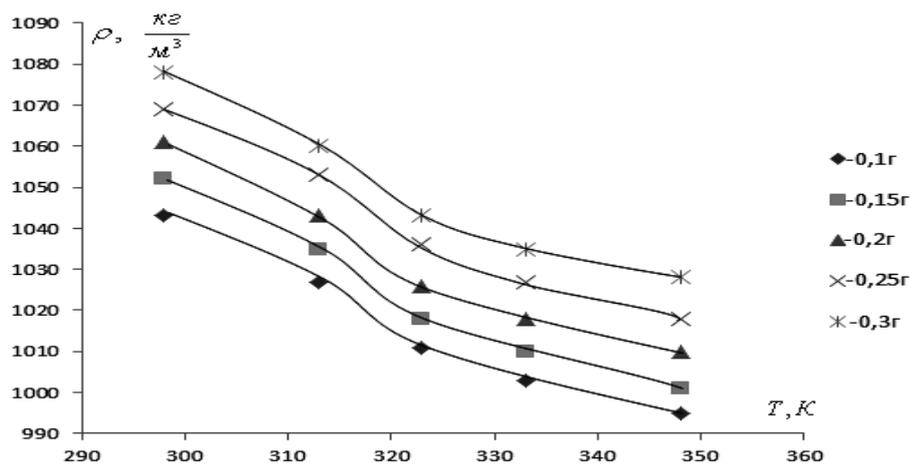


Рисунок 3.3 - Зависимость плотности исследуемых объектов от температуры и концентрации наноструктурного оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ,  $d=50$ нм) при атмосферном давлении

Таблица 3.7 Плотность ( $\rho$ ,  $кг/м^3$ ) образца в зависимости от температуры и концентрации наноструктурного оксида титана ( $TiO_2$ ,  $d=50$ нм) при атмосферном давлении [53, 169, 173, 180, 182, 189, 190, 196, 203, 206, 209]

$m, 10^{-3} кг$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	1039	1022	1006	997	988
0,15	1043	1027	1012	1003	995
0,2	1048	1033	1019	1010	1002
0,25	1055	1040	1026	1019	1012
0,3	1061	1047	1034	1026	1018

Результаты расчетных данных по температуропроводности исследуемых образцов в зависимости от температуры и концентрации представлены в работах [53, 185, 187, 189, 196, 199, 200, 205, 208].

### 3.2. Теплопроводность, плотность, теплоемкость и электропроводность гидразингидрата+наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $d=30, 50, 70, 90\text{нм}$ и $0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3\text{г}$ ) в зависимости от давления при комнатной температуре

При помощи формулы 2.2. производится расчет теплопроводности при комнатной температуре и различном давлении, результаты которого отражены в таблице 3.7. и в приложении П.3.1П.3.9.

Нижеследующая формула служит для расчета теплоемкости образцов в зависимости от давления [53, 169, 173, 176, 178, 180, 183, 189, 192, 193, 199-203, 206-209]:

$$C_p = \frac{\lambda}{a \cdot \rho}, \quad \left[ \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \right] \quad (3.1)$$

где,  $a$  – температуропроводность образца испытываемого при разном давлении и концентрации наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{ср}} = 30, 50, 70, 90\text{нм}$ );  $\lambda$  – теплопроводность образца испытываемого при разном давлении и концентрации наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{ср}}=30, 50, 70, 90\text{нм}$ ),  $\rho$  – плотность образца испытываемого в зависимости от давления.

Результаты расчетов теплоемкости образцов исследования при разных давлениях и концентрации добавок сведены в таблице 3.9 и в приложении П.3.1П.3.9 [52, 55, 56, 138, 177, 185-192].

Согласно, таблице 3,6; 3,7; 3,9; 3,10 можно заключить следующие: при увеличении давления от 0,101 до 49,01МПа температуропроводность системы гидразингидрат+0,1г. наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{ср}}=30, 50, 70, 90 \text{ нм}$ ) температуропроводность увеличивается до 16,6%.

Таблица 3.8 - Теплопроводность ( $\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ) системы гидразингидрат+оксид железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$   $d=50\text{нм}$ ) в зависимости от давления

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	423	434	442	448	452	457	465
0,15	437	444	451	460	467	473	478
0,2	458	464	469	474	479	486	491
0,25	476	481	487	492	497	502	507
0,3	499	503	507	512	516	520	526

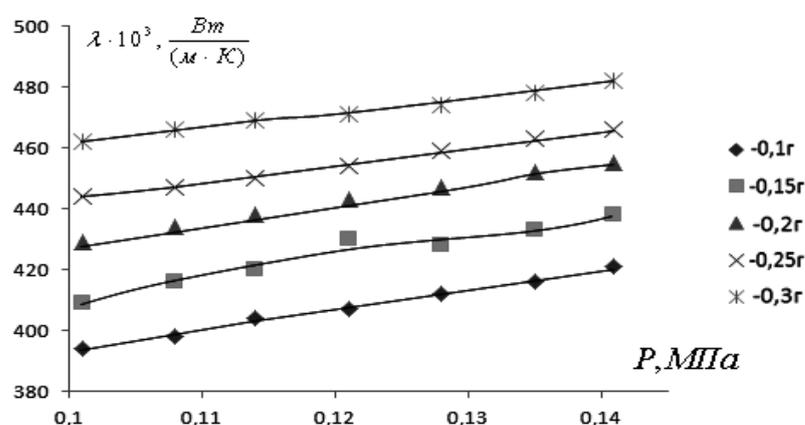


Рисунок 3.7 - Зависимость  $\lambda$  гидразингидрата от давления и концентрации оксида титана ( $\text{TiO}_2$ ,  $d=50\text{нм}$ ) при комнатной температуре

Таблица 3.9 - Плотность ( $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ ) гидразингидрат+оксида титана ( $\text{TiO}_2$ ,  $d=50\text{нм}$ ) в зависимости от давления при комнатной температуре.

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	1039	1042	1044	1047	1049	1050	1053
0,15	1043	1047	1050	1053	1054	1056	1059
0,2	1048	1052	1055	1058	1060	1062	1064
0,25	1055	1058	1060	1063	1065	1068	1070
0,3	1061	1063	1066	1068	1070	1074	1075

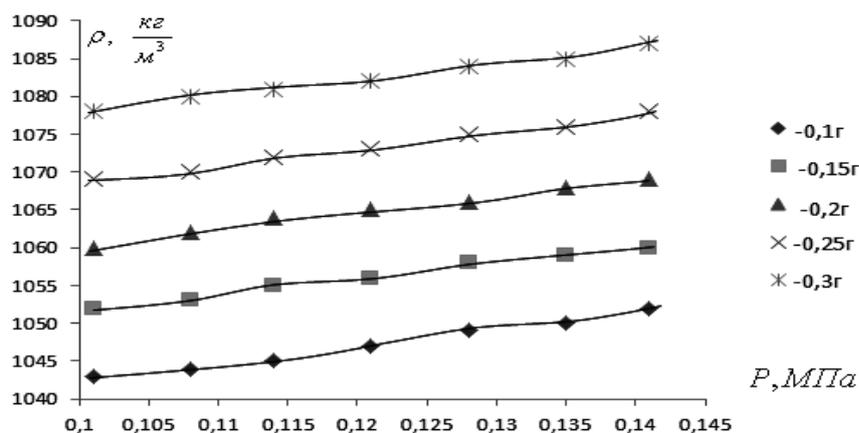


Рисунок 3.8 - Зависимость плотности гидразингидрата от давления и концентрации оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ,  $d=50$ нм) при комнатной температуре

Таблица 3.10 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг·К)) гидразингидрата в зависимости от давления и концентрации оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ,  $d=50$ нм) при комнатной температуре

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	3415	3348	3306	3256	3196	3120	3110
0,15	3370	3287	3265	3193	3140	3100	3055
0,2	3321	3215	3180	3133	3061	3019	3003
0,25	3277	3193	3140	3110	3047	2985	2959
0,3	3217	3158	3105	3067	2972	2960	2918

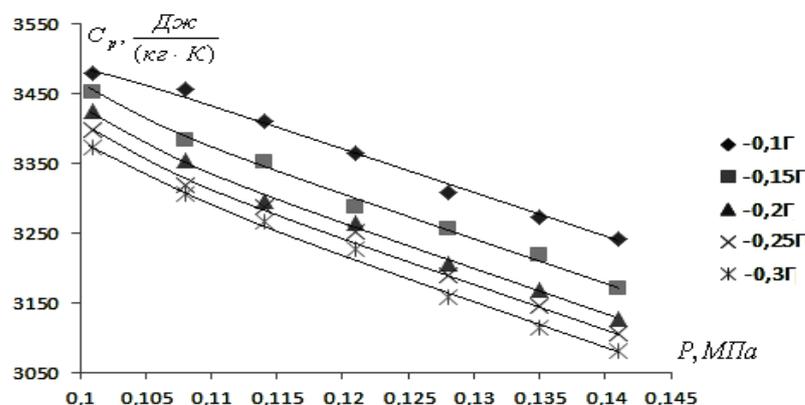


Рисунок 3.9 - Зависимость теплоемкости гидразингидрата от давления и концентрации оксида железа ( $Fe_2O_3$ ,  $d=50nm$ ) при комнатной температуре

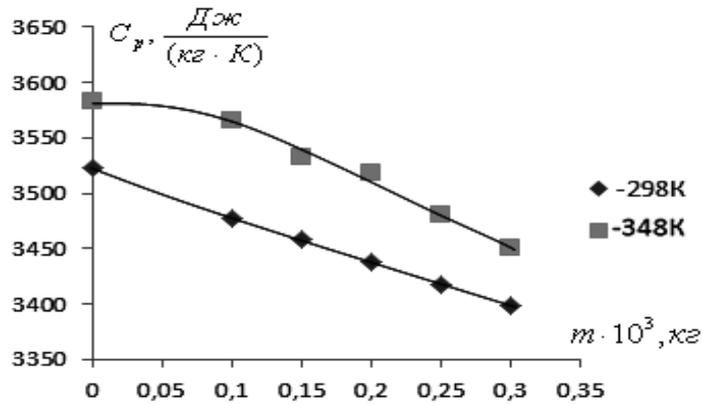


Рисунок 3.10 - Теплоемкость гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурного оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ,  $d=50nm$ ); при  $T_1=298K$  и  $T_2=348K$

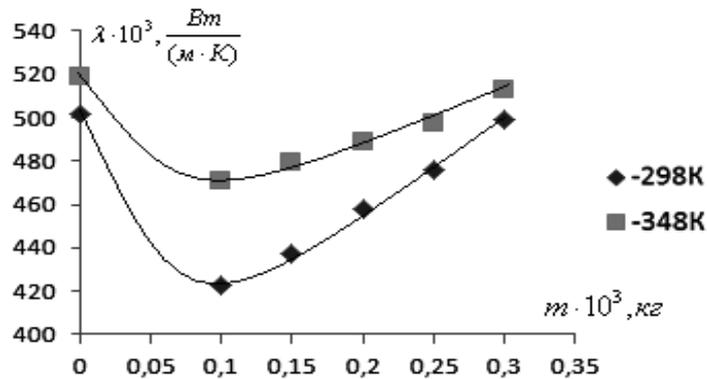
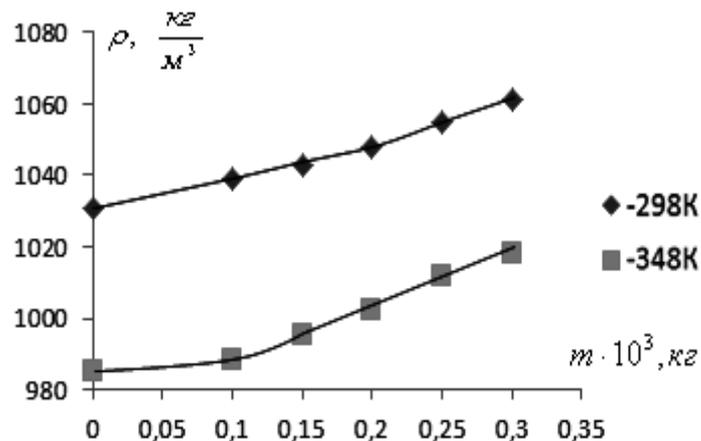


Рисунок 3.11 - Теплопроводность гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурного оксида железа ( $Fe_2O_3$ ,  $d=50nm$ ); при  $T_1=298K$ ,  $T_2=348K$



*Рисунок 3.12 - Плотность гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурного оксида титана ( $TiO_2$ ,  $d=50nm$ ); при  $T_1=298K$  и  $T_2=348K$*

На рисунках 3.93.12 представлены зависимость теплоемкости, теплопроводности, плотности гидразингидрата как без добавки, так и с добавкой до 0,3 г. наноструктурных оксидов металлов при различных температурах ( $T_1= 298K$ ,  $T_2=348K$ ) и атмосферном давлении.

Как видно из этих графиков (рисунки 3.93.12) добавка наноструктурных оксидов металлов в гидразингидрат в начале уменьшает теплоемкость, теплопроводность систем (рисунки 3.10,3.11, 3.13), а плотность увеличивает во всем интервале температур (рисунок 3.12).

Теплопроводность гидразингидрата до 0.1г уменьшается, а затем увеличивается. Наблюдается аномальный спад теплопроводности и температуропроводности системы при  $m=0,1г$ .

### **3.3. Теплопроводность наножидкостей системы амфотерных оксидов металлов и гидразингидрата при высоких параметрах состояний**

Используя экспериментальную установку работающую методом регулярного теплового режима первого рода (метод цилиндрический бикалориметр), нами исследована теплопроводность наножидкостей системы амфотерных оксидов металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.) в зависимости от давления и температуры (таблиц 3.113.13).

Таблица 3.11 - Теплопроводность ( $\lambda \cdot 10^3$ , Вт/(м\*К) наножидкости системы (гидразингидрат+ $Al_2O_3$ , ( $d=30nm$ )) при различных температурах и давлениях

Т,К	Давление P, Мпа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г $Al_2O_3$							
293,3	344,2	360,7	375,0	388,5	406,2	412,7	437,0

313,6	360,3	374,2	396,4	394,7	422,5	438,0	452,4
333,5	378,4	388,5	403,7	404,6	438,0	455,4	469,2
353,0	390,6	403,2	418,4	437,4	454,2	469,2	483,4

Продолжение таблицы 3.11

373,4	408,0	417,5	431,7	450,0	469,7	482,5	493,5
393,6		430,3	446,2	463,3	475,2	488,0	498,2
413,0		436,7	451,6	468,7	478,0	492,4	501,2
433,3		432,2	448,3	461,0	473,1	487,2	498,3
453,7		423,7	440,0	453,3	463,2	478,3	481,5
483,0		408,2	423,7	438,0	450,0	462,0	477,2
513,3		391,4	408,7	424,2	447,2	449,3	463,7
543,7		378,0	393,0	408,3	424,7	435,7	400,3
573,4		362,4	378,5	394,2	410,0	423,2	437,4
613,0		344,8	356,5	373,4	390,5	406,7	418,5

Гидразингидрат +0,2г Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

293,0	379,5	393,2	410,2	427,4	440,0	454,8	470,3
313,5	395,3	413,0	428,3	446,0	456,7	473,2	486,4
333,8	413,2	430,5	445,2	461,2	473,6	489,4	500,2
353,7	430,6	444,8	460,7	475,3	488,0	503,6	516,7
373,8	444,7	457,2	472,8	488,2	500,4	516,5	530,8
393,5		467,2	483,7	498,4	512,6	527,6	540,4
413,2		473,4	488,3	503,6	518,7	534,7	549,5
433,6		471,3	484,5	498,3	514,7	530,0	545,2
453,7		464,7	478,4	491,5	506,8	520,3	536,7
483,5		447,2	460,2	476,3	490,5	505,0	520,4
513,7		430,5	444,3	460,0	475,0	490,4	504,6
543,8		411,6	428,7	444,2	460,7	475,2	488,7
573,5		395,3	411,3	427,3	443,6	460,0	473,3
613,5		371,5	390,0	407,5	413,6	440,6	453,2

Гидразингидрат +0,3г Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,2	403,0	417,2	433,4	450,0	463,5	480,3	491,5
313,8	421,2	437,5	450,2	465,3	478,6	494,0	506,2

Продолжение таблицы 3.11

333,5	438,4	453,2	467,3	480,2	494,7	509,6	523,4
353,6	453,3	470,4	483,0	500,4	510,0	523,8	540,6
373,4	468,7	485,2	500,6	513,8	526,4	540,7	554,8
393,4		498,5	512,3	524,7	538,7	550,2	568,7
413,6		503,2	518,7	532,7	544,0	558,7	577,6
433,8		494,3	508,5	523,9	539,4	550,8	566,4
453,7		483,6	498,7	512,0	526,0	540,2	555,0
483,4		465,0	480,2	492,6	509,7	523,7	538,7
513,6		446,5	460,7	478,5	492,5	505,0	520,4
543,7		428,2	443,6	457,3	474,6	488,3	504,2
573,4		410,2	425,0	440,0	457,4	450,7	488,3
613,5		388,1	400,2	417,5	433,6	448,4	465,4

Таблица 3.12 - Теплопроводность ( $\lambda \cdot 10^3$ , Вт/(м\*К)) наножидкости системы (гидразингидрат+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (d=70нм)) при разных температурах и давлениях

Т,К	Давление Р, Мпа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,4	407,4	421,6	440,0	455,6	470,0	482,6	493,4
313,7	425,3	440,2	457,7	474,8	488,6	503,7	514,7
333,4	443,7	457,8	476,3	491,0	507,8	520,0	533,8
353,6	461,4	475,3	494,7	508,7	523,8	536,4	550,0
373,7	480,2	490,4	510,6	525,3	538,5	552,5	565,7
393,0		502,7	523,4	538,7	550,7	563,7	576,0

413,6		515,4	531,0	545,7	558,4	570,5	582,4
433,3		505,0	522,4	536,0	549,3	562,7	574,3
453,4		490,3	508,3	524,6	535,2	550,4	561,7

Продолжение таблицы 3.12

483,6		471,2	490,2	504,4	516,7	530,0	543,3
513,6		450,3	470,3	485,3	498,4	510,3	525,4
543,7		430,6	450,4	466,7	480,2	492,5	505,2
573,9		410,7	428,3	447,6	460,3	473,2	488,4
613,7		382,0	403,4	422,3	434,5	448,7	462,3

Гидразингидрат +0,2г Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

293,3	437,1	453,7	468,2	480,0	497,3	510,0	527,0
313,4	452,0	470,2	483,7	497,3	512,0	527,3	542,8
333,3	470,3	485,3	500,3	515,0	531,4	547,4	558,3
353,5	488,4	500,0	517,2	530,0	547,2	563,2	578,5
373,8	501,5	518,7	533,0	547,6	563,0	578,5	593,4
393,5		531,2	547,5	560,5	578,4	592,7	603,2
413,3		542,0	557,3	568,0	585,7	600,0	612,4
433,2		537,4	548,0	561,4	575,6	590,6	603,6
453,3		521,0	533,4	548,7	561,8	578,4	590,0
483,7		500,3	513,2	528,4	540,5	557,2	570,2
513,0		475,0	492,6	504,3	520,3	534,7	550,0
543,2		453,5	470,0	485,4	500,0	515,0	530,2
573,4		430,0	450,2	464,0	480,3	494,3	510,0
613,2		403,2	422,3	438,5	452,6	467,5	484,6

Гидразингидрат +0,3г Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

293,4	467,0	483,1	496,7	510,8	523,7	543,5	555,0
313,0	482,3	497,4	512,0	525,6	547,0	560,0	571,6
333,7	498,0	511,6	528,7	559,4	552,6	562,5	576,0
353,8	512,6	528,7	540,4	553,7	565,0	576,0	590,3

373,4	518,0	541,8	559,0	570,6	582,3	591,4	604,5
393,6		554,2	572,8	586,6	594,0	607,4	620,0
413,8		568,7	582,0	595,4	604,7	617,8	628,5

Продолжение таблицы 3.12

433,5		557,2	573,4	585,0	595,0	606,4	617,3
453,6		540,2	554,0	568,3	578,4	590,5	600,7
483,9		513,0	530,5	542,6	554,7	568,0	577,4
513,5		488,3	502,6	517,4	528,0	540,2	562,5
543,8		462,0	478,4	492,6	504,5	517,3	538,0
573,5		436,7	452,7	466,0	478,3	492,5	504,0
613,8		401,0	418,6	433,5	445,5	460,0	472,4

Таблица 3.13 - Теплопроводность ( $\lambda \cdot 10^3$ , Вт/(м\*К)) наножидкости системы (гидразингидрат+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, d=90нм) при разных температурах и давлениях

Т,К	Давление Р, Мпа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,0	425,0	444,2	455,0	468,0	482,3	496,0	510,1
313,5	443,6	460,3	472,4	484,5	500,6	513,4	530,2
333,2	461,0	480,5	490,6	503,6	517,4	531,5	547,3
353,4	480,2	498,2	508,5	522,0	534,7	550,6	564,7
373,8	498,3	513,0	527,5	540,0	553,2	568,7	582,5
393,5		517,4	542,6	550,7	566,0	581,0	595,2
413,8		535,3	550,5	564,2	577,4	588,3	605,0
433,6		524,2	538,6	553,7	568,6	579,6	594,7
453,9		510,0	525,7	540,3	555,7	567,0	582,3
483,3		490,6	507,4	522,7	535,8	550,6	563,7

5132		471,0	477,5	503,0	517,4	530,7	544,6
543,8		545,2	467,2	483,2	498,6	510,0	528,7
573,5		435,3	448,6	464,0	480,2	492,4	507,6
613,0		410,4	422,0	436,5	453,7	467,3	480,5

Продолжение таблицы 3.13

Гидразингидрат +0,2г Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,3	446,3	462,5	471,6	485,0	496,7	513,7	527,6
313,4	462,0	480,3	489,5	500,3	515,6	530,2	542,0
333,3	478,4	485,6	507,6	517,4	530,7	545,6	558,6
353,5	494,6	512,3	522,7	533,8	547,6	560,7	573,4
373,8	510,5	526,5	538,2	549,0	562,3	573,8	588,6
393,5		539,4	551,0	562,4	574,2	588,3	600,3
413,3		544,2	558,3	570,6	583,4	596,4	608,2
433,2		538,7	550,4	563,7	578,2	587,5	600,7
453,3		524,0	537,0	550,0	565,4	577,2	588,0
483,7		505,6	518,7	530,7	546,7	558,3	569,3
513,0		487,3	499,0	512,3	527,0	540,6	550,7
543,2		466,0	480,4	492,5	508,7	520,4	532,5
573,4		444,6	460,7	473,6	488,6	503,2	514,6
613,2		420,4	435,2	448,3	462,7	478,5	490,0
Гидразингидрат +0,3г Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293,5	473,0	490,5	505,8	524,8	537,2	553,6	564,7
313,8	494,5	510,6	526,3	540,0	555,8	570,4	580,9
333,2	512,8	530,7	548,6	560,7	574,7	591,0	603,6
353,4	530,0	550,0	564,3	578,3	592,4	608,2	620,7
373,2	548,3	566,7	582,7	596,5	610,7	624,3	638,0
393,0		582,4	595,4	610,6	625,0	640,7	652,3
413,3		593,3	606,0	622,7	640,7	652,7	664,2
433,8		583,0	600,3	616,3	630,0	648,0	653,0

453,3		567,3	584,4	600,5	614,6	630,2	641,5
483,0		542,5	554,8	564,7	590,2	607,4	628,7
513,5		518,7	532,4	550,2	565,0	580,6	594,2
543,8		490,0	509,2	524,6	540,7	556,3	570,3

Продолжение таблицы 3.13

573,4		468,3	472,4	500,0	515,3	532,8	547,9
613,6		423,0	450,6	466,7	488,4	500,6	515,7

Как видно, из таблиц 3.113.13, с ростом температуры, давления, концентрации нанодобавок (амфотерных оксидов металлов) исследуемых систем и размера наночастиц ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{cp}}=30, 50, 70, 90\text{nm}$ ) увеличивают их теплопроводность [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199, 200, 203, 208]. Например: увеличение наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d_{\text{cp}}=30, 50, 70, 90\text{nm}$ ) от 0,1г. до 0,3г. в гидразингидрате при температуре 298К приводит к увеличению теплопроводности на  $\sim 15,2\%$ , а при 323К при той же самой концентрации уменьшается на  $\sim 8,5\%$ .

Установлено, что теплопроводность чистого гидразингидрата, и системы с добавкой различной концентрации наночастиц амфотерных оксидов металлов различной фракции с ростом температуры и давления увеличиваются. Механизм изменения теплопроводности нами выявлено в следующем:

Теплоперенос в наноструктурах осуществляется при помощи механизмов, которые аналогичны механизмам классической теплофизики. Наряду с этим размерные эффекты, которые в корне изменяют сущность кинетики переноса, также могут и не подчиняться привычным и известным закономерностям, в частности отсутствует возможность применения закона Фурье для расчета теплопроводности, также не действует и законы классического теплового излучения. Основное влияние размерных эффектов наноструктур наблюдается в

изменении динамики всех видов носителей энергии таких как фотоны, электроны и т.д. При рассмотрении данной главы описаны: во-первых, механизм теплопереноса в наноструктурах [218]. Наряду с этим, будут подробно описаны вопросы термосопротивления, которые имеют важнейшее значение в теплопереносе в наноструктурах. Главное внимание уделяется общим методам кинетики переноса тепла. В частности были анализированы процессы переноса тепла в 1D, 2D и 3D наноструктурах (нанопроволоках и нанотрубках, нанопленках, нанокомпозитах и т. п.). Подробно рассматривались сложные наноструктуры, которые связаны с разрабатываемыми наноустройствами. Допуская условность такого определения процессов переноса, следует указать на удобство и последовательность данного рассмотрения. Обмен тепла в наномасштабах для многих современных и перспективных приложений важен. Две проблемы стоят перед исследователями:

- 1) управление в наномасштабных устройствах тепловой генерации;
- 2) перенос тепла и преобразование энергии.

Примерами термического управления можно назвать устранение тепла из интегральных схем, а также полупроводниковых лазеров. Примером переноса тепла и энергопреобразования в наноструктурах являются: термоэлектрическое энергопреобразование, генерация энергии преобразователями термофотоэлектричества и системы хранения данных.

Перенос тепла на уровне наноструктур очень сильно отличается от процесса переноса тепла в микро и макроструктурах. Характерные размеры устройств именно в наномасштабах или масштабах пространственных их элементов могут быть сопоставимы со средней длиной свободного пробега, либо длиной волны энергоносителей электронов, фотонов, фононов либо молекул и атомов. Однако не мало

важную роль играет и пространственный масштаб, связанный с данными носителями.

В данных случаях традиционные законы теплопереноса не соблюдаются, и нужны новые подходы и модели для его определения. В частности, хорошо известны примеры не соблюдения классического закона Фурье о теплопроводности в наноструктурах (нанопроволок или наномасштабных сверхрешеток и т. д.), а также закона Стефана–Больцмана для радиационного теплопереноса в нанозазорах. В связи с этим, не смотря на прогрессы в области исследований различных процессов в наноструктурах, необходимы новые исследования процессов переноса и преобразования тепла в наноструктурах, поскольку не предсказуемые явления при изучении данных процессов в различных условиях и ситуациях могут дать абсолютно разные и даже противоположные результаты. Учитывая все факторы исследования в данном направлении могут привести к новым открытиям и незаменимым разработкам.

Классические формы переноса тепла на макро и микроуровне подразделяются на три вида: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение. Основным для решения проблем теплопереноса на макромасштабах служит закон сохранения (массы, импульса и энергии) в комбинации с равенствами связи между потоком тепла и температурой (или ее градиентом). При этом, закон Фурье (3.2) для теплопроводности либо закон Стефана–Больцмана (3.3) для теплового излучения черного тела имеют вид:

$$q = \lambda T; \quad (3.2)$$

$$q = \sigma_{sb} T^4, \quad (3.3)$$

где  $\lambda$  — теплопроводность;  $\sigma_{sb}$  — постоянная Стефана–Больцмана ( $\sigma_{sb} = 5,67 \cdot 10^8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})^4$ ).

Приведенные характерные длины связаны с размерными эффектами, известные как в наномасштабах, так и в микро и мезомасштабах [111–

113], однако наиболее выражено они проявляются в наномасштабах и могут сильно воздействовать на известные классические законы переноса тепла [137–151].

Среди основных размерных эффектов является изменение спектра элементарных возбуждений энергоносителей за счет дисперсности структуры, которая и приводит к рассеянию на ней элементарных возбуждений. Подобные размерные эффекты способствуют со своеобразным явлением пленению носителей (конфайнменту) [141143].

### **3.4. Термодинамические свойства исследуемых объектов при различных температурах**

Для того, чтобы рассчитать термодинамические свойства исследуемых образцов при атмосферном давлении, мы прибегли к двум методам [1, 2, 13, 14, 27, 34, 44, 101, 125-128]. Первый метод основан на измерении плотности образцов при различных температурах и давлениях, которые не в значительной степени превышают атмосферное. Затем используя полученные данные и уравнение состояния рассчитывают термодинамические свойства изучаемых образцов.

Второй метод базируется на применении результатов экспериментального определения изобарной теплоемкости, плотности и скорости звука изучаемых образцов под действием атмосферного давления [125].

По результатам экспериментального исследования теплоемкости изучаемых веществ их термодинамические свойства были рассчитаны при помощи следующих выражений [53, 169, 173-183, 189-193, 196-203, 206, 209]:

изменение энтальпии

$$\Delta H = \int_{T_0}^T C_p \cdot dT, \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right] \quad (3.4)$$

изменение внутренней энергии

$$\Delta U = \Delta H - \frac{P}{\rho}, \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right] \quad (3.5)$$

изменение энтропии

$$\Delta S = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{T} \cdot dT, \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right] \quad (3.6)$$

удельная энергия Гиббса

$$\Delta \varphi = \Delta H - T \cdot \Delta S, \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right] \quad (3.7)$$

удельная энергия Гельмгольца

$$\Delta F = \Delta U - T \cdot \Delta S, \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right] \quad (3.8)$$

Значения термодинамических свойств, которые вычислены для некоторых исследуемых растворов по формулам (3.4) – (3.8), приводятся в таблице 3.14. и в таблицах П.3.46., П.3.47.

Таблица 3.14 - Термодинамические свойства системы гидразингидрат + наноструктурный оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $d=50\text{nm}$ ) в зависимости от его концентрации, плотности и температуры при атмосферном давлении

Т, К	$\Delta H$ , кДж/кг	$\Delta U$ , кДж/кг	$\Delta S$ , Дж/кг·К	$\Delta \varphi$ , Дж/кг	$\Delta F$ , Дж/кг
при $\rho = 1043 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					
313	52,38	52,283	171,492	1296,996	1393,996
323	87,65	87,553	282,443	3579,089	3676,089
333	123,76	123,663	392,673	7000,109	7097,109
348	178,30	178,203	553,122	14186,456	14283,456
при $\rho = 1052 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.15 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					
313	52,065	51,969	170,461	1289,293	1385,293
323	87,10	87,004	280,671	3556,733	3652,733
333	122,78	122,684	389,563	6944,479	7040,479
348	176,60	176,504	547,848	14051,104	14147,104
при $\rho = 1061 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					

313	51,735	51,64	169,38	1280,94	1375,94
323	86,50	86,405	278,738	3532,374	3627,374
333	122,115	122,02	385,53	6266,49	6361,49
348	175,90	175,805	545,677	13995,596	14090,596
при $\rho = 1069 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.25 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					

Продолжение таблицы 3.14

313	51,45	51,355	168,447	1273,911	1368,911
323	86,05	85,955	277,287	3513,701	3608,701
333	121,135	121,041	384,344	6851,552	6946,552
348	174	173,905	539,783	13844,484	13939,484
при $\rho = 1078 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					
313	51,09	50,996	167,269	1265,197	1359,197
323	85,35	85,256	275,032	3485,336	3597,336
333	120,12	120,026	381,124	6794,292	6888,292
348	172,5	172,406	535,129	13724,892	13818,892

Как видно из таблицы 3.14. и таблиц П.3.13, П.3.34 с ростом температуры величины энтальпии, внутренней энергии и энтропии увеличиваются. Значения удельных энергий Гиббса и Гельмгольца имеют отрицательные знаки.

Согласно выше приведенным таблицам 3.14. и П.3.13, П.3.14 видно, что в зависимости от плотности и концентрации наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$   $d=30, 50, 70, 90\text{ нм}$  и  $0,1; 0,15; 0,2; 0,25$  и  $0,3$  г.) термодинамические характеристики системы изменяются одинаково.

### **Заключение по третьей главе.**

С ростом температуры удельная изобарная теплоемкость изучаемых образцов увеличивается.

Показано, что примененные экспериментальные установки, метод работы которых основан на методе регулярного теплового режима

первого и второго рода, дали достоверную информацию по теплопроводности и теплоемкости наножидкостей системы (гидразингидрат+амфотерные оксиды металлов) с различными концентрациями, которые показали, что с ростом температуры до 613К теплопроводность системы растет почти по линейному закону, а затем уменьшается. С ростом давления до 49,01МПа коэффициент теплопроводности исследуемой системы увеличивается, а теплоемкость образцов понижается.

На базе полученных результатов экспериментальных исследований по теплоемкости и плотности наножидкостей, рассчитан ряд их термодинамических свойства, из которого видно, что по мере возрастания температуры до 383К энтальпия, энтропия и внутренняя энергия изучаемых образцов растут, а энергия Гиббса и Гельмгольца уменьшаются. Согласно полученным результатам увеличение давления до 49,01 МПа приводит к уменьшению этих параметров. В процессе исследования наножидкостей было установлено, что рост температуры до 673К приводит к увеличению энтальпии, энтропии и уменьшению внутренней энергии, энергии Гиббса и энергии Гельмгольца. И наоборот, рост давления приводит к уменьшению энтальпии, энтропии и энергии Гельмгольца, а внутренняя энергия и энергия Гиббса увеличиваются.

Кроме экспериментального определения, в данной главе численными методами (метод Дульнева и Максвелла) был произведен расчет теплопроводности, тем самым была показана применимость и численных методов по определению ТФС исследуемых веществ.

## **ГЛАВА 4. АНАЛИЗ, ОБРАБОТКА И ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ. ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ АМФОТЕРНЫХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОГО ГИДРАЗИНГИДРАТА**

### **4.1. Анализ экспериментальных данных по теплофизическим, термодинамическим свойствам**

Весьма широкое распространение в природе имеют смеси растворов и принимаются во многих технологических процессах и энергообменных установках. Применяются они в качестве рабочего тела, топлива, окислителей, восстановителей, защитных, охлаждающих и нагревающих сред, растворителей, вытеснителей, дубителей и других функциональных веществ и материалов, а также растворы могут входит в молекулярнодисперсные системы [101-103].

Существующие теории о строении жидкостей разделяют на два типа – это формально строгий и модельный типы. Первый подход основан на принципах статистической физики. Во втором случае расчеты по свойствам жидкостей и растворов осуществляются на основе предварительно разработанных моделей. Одна из распространенных моделей считаются «ячеечная» и «дырочная».

Ячеечная теория предполагает то, что каждому определенному узлу решетки совпадает отдельная частица жидкости [101-103], количество частиц и количество ячеек, в которой движутся частицы, безпеременно. Таким образом можно, утверждать, что ячейная теория описывает строение жидкости с позиции строения твердого тела.

Дырочная теория Френкеля [102] допускает, что в ячейках существуют вакантные места или «дырки». При этом степень систематизированности структуры меньше, чем в ячейной теории, что больше совпадает реальности.

Дырочная теория строения жидкости объясняется кинетическим свойством, что позволяет считать ее более приемлемой среди модельных теорий [216].

Законами Рауля и Генри объясняют поведение бесконечно разбавленных растворов. Для произвольных давлений и температур (раствор бинарный) [215]:

закон Рауля

$$f_1 = (1 - N)f_1^0. \quad (4.1)$$

закон Генри

$$f_2 = NK, \quad (4.2)$$

где,  $f_1$  и  $f_2$  – летучесть компонентов, входящих в состав раствора при представленных условиях;  $f_1^0$  – летучесть первого компонента при полном давлении  $P$  над раствором и данной температуре  $T$ ;  $K$  – коэффициент Генри, зависящий как от давления, так и от температуры раствора. Если давление низкое, то зависимость  $K$  от давления можно не учитывать и воспринимать его как функцию температуры.

Если давление низкое или умеренное, то в большинстве случаев путем замены летучести давлением, возможно упрощение выражений законов Рауля и Генри

$$P_1 = (1 - N)P_1^0 \quad (4.3)$$

$$P_2 = NK, \quad (4.4)$$

где,  $P_1$  и  $P_2$  – парциальные давления паров компонентов смеси;  $P_1^0$  – давление насыщенного пара первого компонента в чистом виде при данной температуре;  $K$  – температурный коэффициент Генри.

Растворы, которые подчиняются закону, описанному уравнением (4.1) при любых составах, называются идеальными [215].

При воздействии на них внешнего постоянного поля они начинают ориентироваться. Нарушается он, когда прекращается воздействие этого

поля, по закону  $e^{-t/\tau}$ , где:  $\tau$  – время релаксации, в течение которого упорядоченность уменьшается до  $1/e$  первоначального значения, а  $t$  – время данного момента [215].

Учитывая теорию Дебая можно вывести следующее соотношение [215]:

$$\tau = \frac{4\pi \cdot \eta \cdot r^2}{k \cdot T} = \frac{4\pi \cdot \nu \cdot \rho \cdot r^2}{k \cdot T}, \quad (4.5)$$

где,  $\eta$  – вязкость;  $r$  – эффективный радиус;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура.

Это приводит к одновременному уменьшению времени релаксации, вязкости, плотности, радиуса молекулы при увеличении энергии молекулы. Можно утверждать, что с повышением температуры время релаксации также сокращается.

Однако, если время релаксации и этап колебания поля будут обладать одинаковым порядком, то дипольные молекулы в свое исходное состояние смогут вернуться за то время, за которое поле изменит свой знак, т.е. образует резкое понижение ориентационной поляризации, за счет чего жидкость начнет нагреваться, поскольку поле действует напротив дезориентирующих сил в жидкости, что свидетельствует частичному всасыванию энергии поля жидкостью.

По выражениям (4.3) и (4.4) видно, что молекулярная поляризация и молекулярная рефракция диэлектриков влияет на теплофизические характеристики исследуемых веществ. Результаты экспериментального исследования теплопроводности гидразингидрата с добавкой наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$   $d=30, 50, 70, 90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.) показали, что с ростом температуры теплоемкость увеличивается, а теплопроводность

уменьшается. С повышением плотности, возрастанием давления, температуропроводность увеличивается.

Под действием внешнего давления молекулы растворов прижимаются друг к другу, что облегчает переход тепла от одного изотермического слоя к другому, поэтому с увеличением температуры температуропроводность растворов повышается.

При повышении температуры расстояние между молекулами раствора возрастает и тепло переход от одного изотермического слоя к другому ухудшается.

Было установлено, что при  $C_p = const$ , с повышением температуры молекулярная поляризация и рефракция повышается. При постоянных  $a$  и  $\lambda$  удельная теплоемкость, как установлено, влияет на изменение молекулярной поляризации и рефракции – с повышением удельной теплоемкости повышаются  $P$  и  $R$  исследуемых систем.

#### **4.2. Обработка и обобщение экспериментальных данных теплофизических свойств исследуемых систем в зависимости от температуры при атмосферном давлении**

Нижеприведенные функциональные зависимости нами были использованы для обобщения и обработки данных по температурной зависимости теплоемкости, которые были получены экспериментально [53, 125-128, 169, 173, 176, 178, 180, 183, 189, 192, 193, 199-203, 206-209]:

$$\frac{C_p}{C_p^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.6)$$

где,  $C_p$  – теплоемкость испытуемого образца в зависимости от температуры;  $C_p^*$  – теплоемкость испытуемого образца при  $T_1=323\text{K}$ ;  $T$  – температура, при которой проводилось испытание.

Для опытных образцов системы гидразингидрата + наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$

нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.) хорошо выполняется уравнение 4.6. Данные экспериментов по удельной теплоемкости хорошо ложатся вдоль общей кривой (рисунок 4.1), которая описывается уравнением [53, 125-128, 169, 173, 176, 178, 180, 183, 189, 192, 193, 199, 203, 206-209]:

$$C_p = \left[ 47,63 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 - 81,93 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{T}{T_1} \right) + 1,353 \right] \cdot C_p^* \cdot \left[ \frac{\text{Джс}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \right] \quad (4.7)$$

где,  $T$  – расчетная температура,  $K$ ;  $T_1$  – постоянная температура, которая равна 323К.

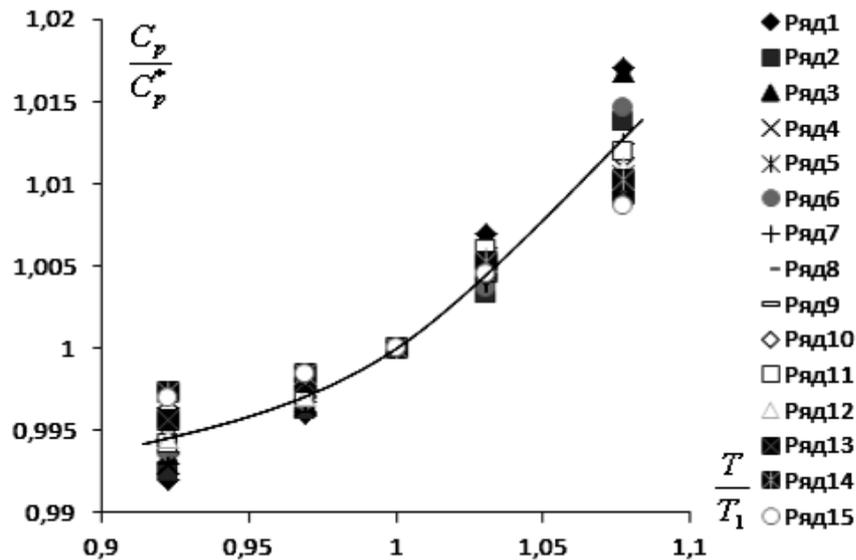


Рисунок 4.1 - Зависимость относительной теплоемкости  $C_p / C_p^*$  исследуемых веществ от относительной температуры  $T/T_1$ ; ряд10,1г., ряд20,15г., ряд30,2г., ряд40,25г., ряд50,3г. ( $Al_2O_3$   $d=50$ нм), ряд60,1г., ряд70,15г., ряд80,2г., ряд90,25г., ряд100,3г. ( $Fe_2O_3$   $d=50$ нм), ряд110,1г., ряд120,15г., ряд130,2г., ряд140,25г., ряд150,3г. ( $TiO_2$   $d=50$ нм)

$C_p^*$  является функцией концентрации наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=50$ нм).

$$\frac{C_p^*}{C_p^{**}} = f\left(\frac{m}{m_1}\right), \quad (4.8)$$

Прямая линия, изображенная на рисунке 4.2, описывается уравнением [53, 125-128, 169, 173, 176, 178, 180, 183, 189, 192, 193, 199-203, 206-209]:

$$C_p^* = \left[ -32 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{m}{m_1}\right) + 1032 \cdot 10^{-3} \right] \cdot C_p^{**}, \quad \left[ \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \right] \quad (4.9)$$

где,  $m$  – масса наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=50\text{нм}$  и др.)  $10^{-3}\text{кг}$ ,  $C_p^{**}$  теплоемкость гидразингидрата + наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=50\text{нм}$ ) в зависимости от молярной массы при  $T_1=323\text{К}$  и  $m_1=0,2 \cdot 10^3\text{кг}$  [53, 125-128, 169, 173, 176, 178, 180, 183, 189, 192, 193, 199-203, 206-209].

В таблице 4.1 приведены значения теплоемкости опытных образцов в зависимости от концентрации добавок в гидразингидрат при  $T_1=323\text{К}$ .

Таблица 4.1 - Экспериментальные значения теплоемкости ( $C_p$ ,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ) опытных образцов (гидразингидрат + наноструктурные амфотерные оксиды металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=50\text{нм}$ ) при  $T_1=323\text{К}$

$\mu$ , $\text{кг}/\text{моль}$	$m$ , $10^{-3}\text{кг}$				
	2	3	4	5	6
1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
0,080	3482	3451	3418	3383	3355
0,102	3506	3484	3460	3442	3414
0,160	3492	3467	3441	3410	3381

Значение  $C_p^{**}$  является функцией молярной массы образцов:

$$C_p^{**} = f(\mu) \quad (4.10)$$

Кривая линия, изображенная на рисунке 4.3, описывается уравнением [53, 125-128, 169, 173, 176, 178, 180, 183, 189, 192, 193, 199-203, 206-209]:

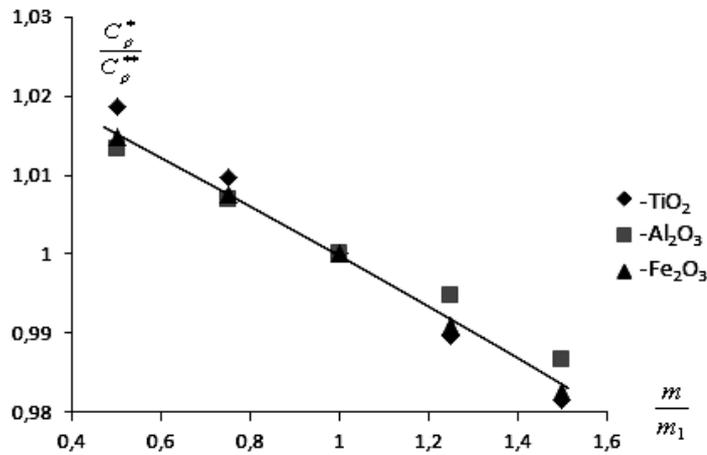


Рисунок 4.2 - Зависимость относительной теплоемкости системы гидразингидрат + наноструктурные амфотерные оксиды металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=50$ нм) от относительной концентрации при  $T_1=323K$  и  $m=0,2 \cdot 10^3$ кг

$$C_p^{**} = -27,963 \cdot 10^3 \cdot \mu^2 + 6,999 \cdot 10^3 \cdot \mu + 3037,07, \quad \left[ \frac{Дж}{(кг \cdot K)} \right] \quad (4.11)$$

где,  $\mu$  – молярная масса образцов, кг / моль

Значение теплоемкости гидразингидрата + наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=30,50,70,90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.) в зависимости от молярной массы при  $T_1=323K$  приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Экспериментальные значения теплоемкости ( $C_p$ , Дж/(кг·К)) системы гидразингидрат+наноструктурные амфотерные оксиды металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  и др.  $d=50$ нм) в зависимости от молярной массы при  $T_1= 323K$  и  $m_1=0,2 \cdot 10^3$ кг

$\mu$ , кг/моль	0,062	0,080	0,094	0,102	0,153	0,160
$C_p^{**}$ , Дж/(кг·К)	3363	3418	3448	3460	3453	3441

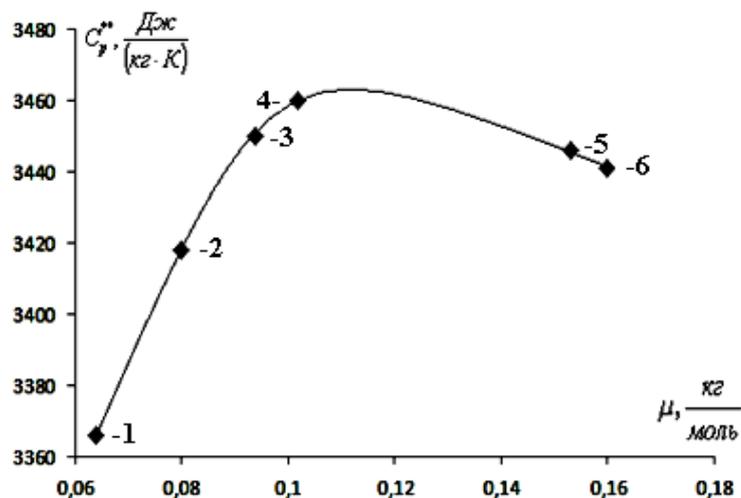


Рисунок 4.3 - Зависимость теплоемкости системы гидразингидрат + наноструктурные амфотерные оксиды металлов от их молярной массы, при  $T_1=323\text{K}$  и  $m_1=0,2 \cdot 10^3\text{кг}$ . (1 $\text{NaO}_2$ ; 2 $\text{TiO}_2$ ; 3 $\text{KO}_2$ ; 4 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 5 $\text{BaO}$ ; 6 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $d=50\text{нм}$ )

Подставив уравнения (4.9) и (4.11) в уравнение (4.7) получим [53, 125-128, 169, 173, 176, 178, 180, 183, 189, 192, 193, 199-203, 206-209]:

$$C_p = \left[ 47,63 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 - 81,93 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{T}{T_1} \right) + 1,353 \right] \times \left[ -32 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{m}{m_1} \right) + 1032 \cdot 10^{-3} \right] \times (-27,963 \cdot 10^3 \cdot \mu^2 + 6,999 \cdot 10^3 \cdot \mu + 3037,07), \quad (4.12)$$

Полученное уравнение (4.12) позволяет рассчитать теплоемкость неисследованных растворов с погрешностью до 4% (таблицы П.4.1П.4.3.) в зависимости от температуры при атмосферном давлении. Для произведения расчета необходимо знать только массовое значение концентрации или молярную массу.

Чтобы произвести обработку и обобщение опытных данных по теплопроводности гидразингидрата + наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм), с учетом изменения температуры и влияния атмосферного давления, был использован закон соответственных состояний в следующем виде [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right). \quad (4.13)$$

где,  $\lambda$  – теплопроводность испытуемого образца в зависимости от температуры;  $\lambda_1$  – теплопроводность испытуемого образца при  $T_1$ ;  $T$  – температура проведения испытания;  $T_1=323\text{К}$ .

Проверка соотношения (4.13) для исследованных нами образцов установила, что оно качественно и количественно описывает температурную связь коэффициента теплопроводности испытуемых образцов.

Рисунок 4.4 - иллюстрирует выполнимость уравнения (4.3), поскольку практически все экспериментальные точки опытных образцов хорошо укладываются вдоль общей кривой, которая описывается уравнением [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]:

$$\lambda = \left[ -2,6 \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 5,71 \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right) - 2,12 \right] \cdot \lambda_1, \quad \left[ \frac{Bm}{(M \cdot K)} \right] \quad (4.14)$$

где,  $T$  – температура опыта, К;  $T_1= 323 \text{ К}$ .

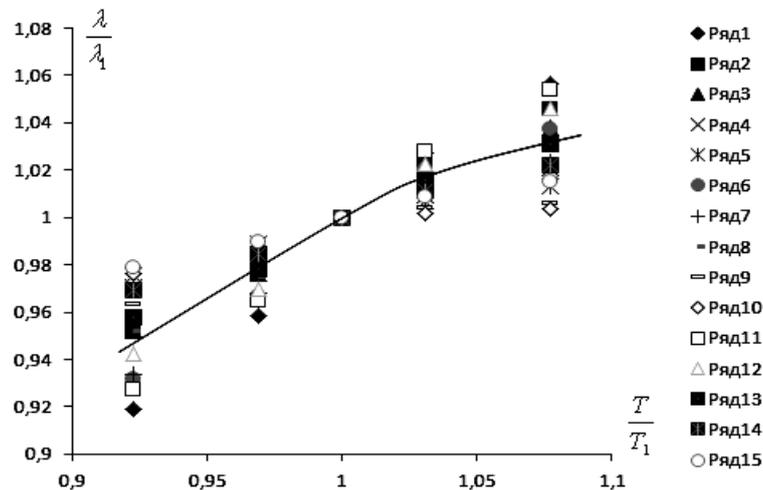


Рисунок 4.4 - Зависимость относительной теплопроводности  $\lambda / \lambda_1$  исследуемых систем от относительной температуры  $T/T_1$ ; ряд10,1г., ряд20,15г., ряд30,2г., ряд40,25г., ряд50,3г. ( $Al_2O_3$   $d=50\text{нм}$ ), ряд60,1г., ряд70,15г., ряд80,2г., ряд90,25г., ряд100,3г. ( $Fe_2O_3$   $d=50\text{нм}$ ), ряд110,1г., ряд120,15г., ряд130,2г., ряд140,25г., ряд150,3г. ( $TiO_2$   $d=50\text{нм}$ )

Соотношения (4.14), преимущественно описывает температурную зависимость теплопроводности опытных образцов, с погрешностью 2% в интервале температур (298–348)К.

Посредством выражения (4.14) можно вычислить теплопроводность испытуемых растворов в зависимости от температуры, если будет известна  $\lambda_1$ .

Значение  $\lambda_1$  принята в качестве функции концентрации наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90\text{нм}$ ) при  $T= 325\text{К}$  [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_1^*} = f\left(\frac{m}{m_1}\right), \quad (4.15)$$

Как видно из рисунка 4.5, с ростом концентрации наноструктурных амфотерных оксидов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.) относительная теплопроводность растет по линейному закону.

Эта прямая описывается уравнением [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208].:

$$\lambda_1 = \left[ 11,5 \cdot 10^{-2} \left( \frac{m}{m_1} \right) + 88,75 \cdot 10^{-2} \right] \cdot \lambda_1^*, \quad \frac{Bm}{(M \cdot K)} \quad (4.16)$$

где,  $m$  – масса наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм)  $10^{-3}\text{кг}$ .

Таблица 4.3 - Экспериментальные значения теплопроводности ( $\lambda \cdot 10^3, Bm/(M \cdot K)$ ) гидразингидрата в зависимости от добавки наноструктурных амфотерных оксидов металлов при  $T_1=323\text{К}$

$\mu, \text{кг/моль}$	$m, 10^{-3}\text{кг}$				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
0,080	425	434	448	458	472
0,102	407	414	423	439	448
0,160	454	468	481	494	511

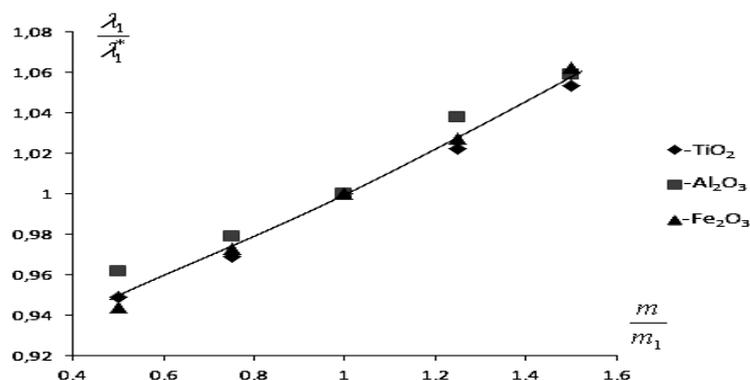


Рисунок 4.5 - Зависимость относительной теплопроводности гидразингидрата от относительной массы наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=50\text{нм}$ ) при  $T_1=323\text{К}$  и  $m_1=0,2 \cdot 10^3\text{кг}$

Значение теплопроводности гидразингидрата в зависимости от добавки наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.) при  $T_1=323\text{К}$  приведены в таблице 4.3. Значение  $\lambda_1^*$  является функцией молярной массы образца [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]:

$$\lambda_1^* = f(\mu). \quad (4.17)$$

Как видно из рисунка 4.6, с ростом молярной массы теплопроводность имеет аномальный характер.

Значение теплопроводности системы гидразингидрат + наноструктурные амфотерные оксиды металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.) в зависимости от молярной массы при  $T_1=323\text{К}$  и  $m_1=0,2 \cdot 10^3\text{кг}$  описаны в таблице 4.4 и график на рисунке 4.6..

Таблица 4.4 - Результаты экспериментального исследования теплопроводности ( $\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ) гидразингидрата+наноструктурных оксидов металлов в зависимости от молярной массы при  $T_1=323\text{К}$  и  $m_1=0,2 \cdot 10^3\text{кг}$

$\mu, \text{кг}/\text{моль}$	0,062	0,080	0,094	0,102	0,153	0,160
$\lambda_1^* \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	480	448	429	423	464	481

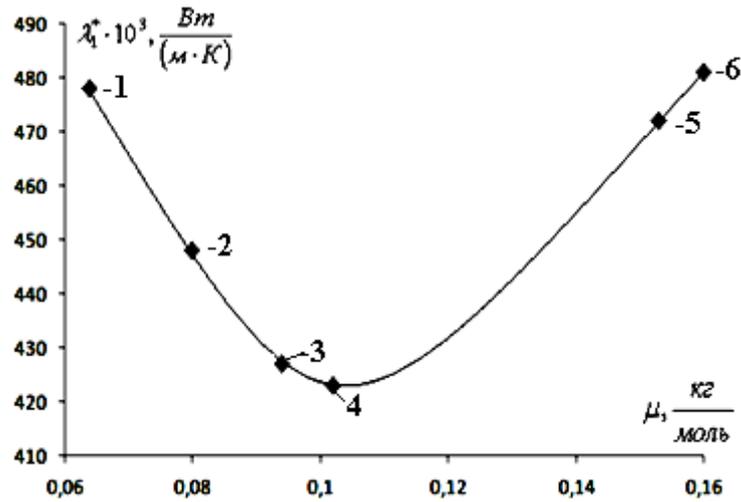


Рисунок 4.6 - Зависимость теплопроводности гидразингидрата + наноструктурных амфотерных оксидов металлов от молярной массы при  $T_1=323K$  и  $m_1=0,2 \cdot 10^3$  кг. (Обозначения как на рисунке 4.3)

Кривая линия представленная на рисунке 4.6 описывается уравнением [3, 53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]:

$$\lambda_1^* = 26,7 \cdot \mu^2 - 5,996 \cdot \mu + 0,757, \left[ \frac{Вт}{(м \cdot К)} \right] \quad (4.18)$$

где,  $\mu$  – молярная масса образцов, кг / моль .

Из уравнений (4.14), (4.16) и (4.18) получили:

$$\lambda = \left[ -2,6 \cdot \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 + 5,71 \cdot \left( \frac{T}{T_1} \right) - 2,12 \right] \times \left( 11,5 \cdot 10^{-2} \left( \frac{m}{m_1} \right) + 88,75 \cdot 10^{-2} \right) \times \left( 26,7 \cdot \mu^2 - 5,996 \cdot \mu + 0,757 \right), \left[ \frac{Вт}{(м \cdot К)} \right] \quad (4.19)$$

С помощью выражения (4.19) можно рассчитать теплопроводность неисследованных экспериментально систем гидразингидрата + наноструктурных амфотерных оксидов металлов в взаимосвязи от температуры, с погрешностью до 2,5%. Для этого необходимо располагать только значением массы оксидов металлов и их молярной массы.

### 4.3. Обработка и обобщение экспериментальных данных теплофизических свойств исследуемых систем наноструктурных амфотерных оксидов металлов в зависимости от давления при комнатной температуре

Для того, чтобы вывести расчетное уравнение по теплопроводности гидразингидрата в зависимости от давления, массы оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм) и молярной массы мы обработали опытные данные при помощи следующей функциональной зависимости [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]:

$$\frac{\lambda_p}{\lambda_{p_1}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right), \quad (4.20)$$

где,  $\lambda_p$  – теплопроводность испытуемого образца в зависимости от давления;  $\lambda_{p_1}$  – теплопроводность испытуемого образца при  $P_1$ ;  $P$  – давление, при котором проводилось испытание;  $P_1=0,121$  МПа.

Выражение (4.20) удовлетворительно выполняется для растворов, т.е. экспериментальные данные по теплопроводности испытуемых образцов хорошо ложатся вдоль общей прямой (рисунок 4.7), которая определяется уравнением [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]:

$$\lambda_p = \left[ 471,2 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{P}{P_1}\right) + 529,04 \cdot 10^{-3} \right] \cdot \lambda_{p_1}, \quad \left[ \frac{Bm}{(M \cdot K)} \right] \quad (4.21)$$

где,  $P$  – давление при котором проводилось испытание;  $P_1=0,121$  МПа.

Значение  $\lambda_{p_1}$  является функцией концентрации некоторых наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм):

$$\frac{\lambda_{p_1}}{\lambda_{p_1}^*} = f\left(\frac{m}{m_1}\right). \quad (4.22)$$

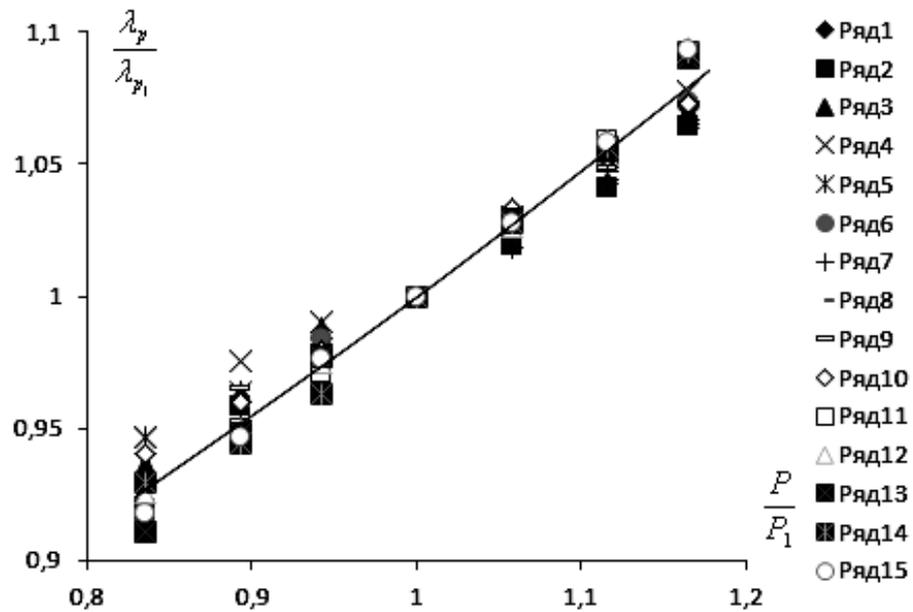


Рисунок 4.7 - График зависимости относительной теплопроводности  $\lambda_p / \lambda_{p_1}$  опытных образцов от относительного давления  $P / P_1$ ; ряд10,1г., ряд 20,15г.,ряд30,2г., ряд40,25г., ряд50,3г. ( $Al_2O_3$   $d=50$ нм),ряд60,1г., ряд70,15г.,ряд80,2г., ряд 90,25г., ряд100,3г. ( $Fe_2O_3$   $d=50$ нм), ряд110,1г., ряд120,15г., ряд130,2г., ряд140,25г., ряд150,3г ( $TiO_2$   $d=50$ нм)

Теплопроводность гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурных оксидов металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.) при  $P_1= 0,121$ МПа приведена в таблице 4.11.

Кривая линия, изображенная на рисунке 4.7, описывается уравнением:

$$\lambda_{p_1} = \left[ 14,85 \cdot 10^{-3} \left( \frac{m}{m_1} \right)^2 + 105 \cdot 10^{-3} \left( \frac{m}{m_1} \right) + 881 \cdot 10^{-3} \right] \cdot \lambda_{p_1}^* \cdot \left[ \frac{Bm}{(M \cdot K)} \right] \quad (4.23)$$

где,  $m$  масса концентрации наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм),  $10^{-3}$  кг.

Таблица 4.11 - Зависимость теплопроводности ( $\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ) гидразингидрата от концентрации наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2, d=50\text{нм}$ ) при  $P_1=0,121\text{МПа}$

$\mu, \text{кг}/\text{моль}$	$m, 10^{-3}\text{кг}$				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
0,080	407	432	443	454	471
0,102	392	408	414	437	448
0,160	448	460	474	492	512

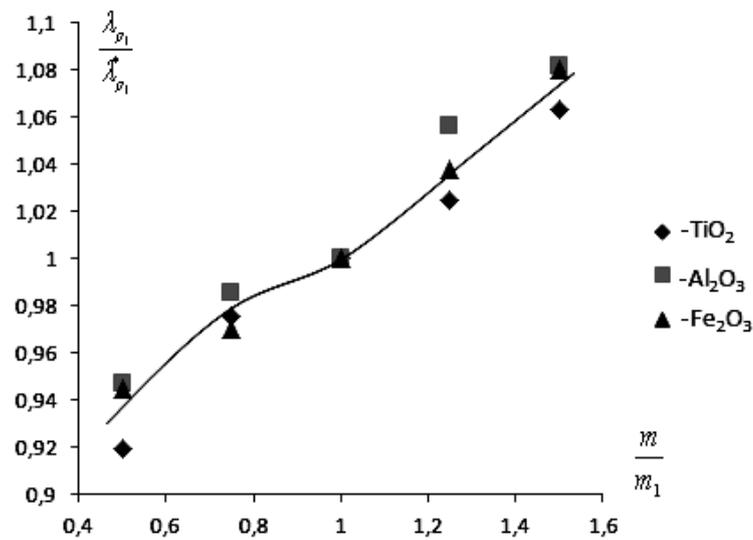


Рисунок 4.8 - Зависимость  $\frac{\lambda_{P1}^*}{\lambda_{P1}} = f\left(\frac{m}{m_1}\right)$  исследованных веществ

Значение  $\lambda_{P1}^*$  это функция молярной массы образца [21, 40, 51, 102, 146, 184, 188-192]:

$$\lambda_{P1}^* = f\left(\frac{m}{m_1}\right) \quad (4.24)$$

Значение зависимости теплопроводности гидразингидрата+наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2, d=30, 50, 70, 90 \text{ нм}$  и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.) от молярной массы при  $P_1=0,121 \text{ МПа}$  и  $m_1=0,2 \cdot 10^3 \text{ кг}$  сведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 - Зависимость теплопроводности системы гидразингидрат+ наноструктурные оксиды металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.) от молярной массы при  $P_1=0,121$ МПа и  $m_1=0,2 \cdot 10^3$ кг

$\mu$ , кг/моль	0,062	0,08	0,094	0,102	0,153	0,16
$\lambda_{p_1}^* \cdot 10^3, \frac{Вт}{м \cdot К}$	477	443	421	414	458	474

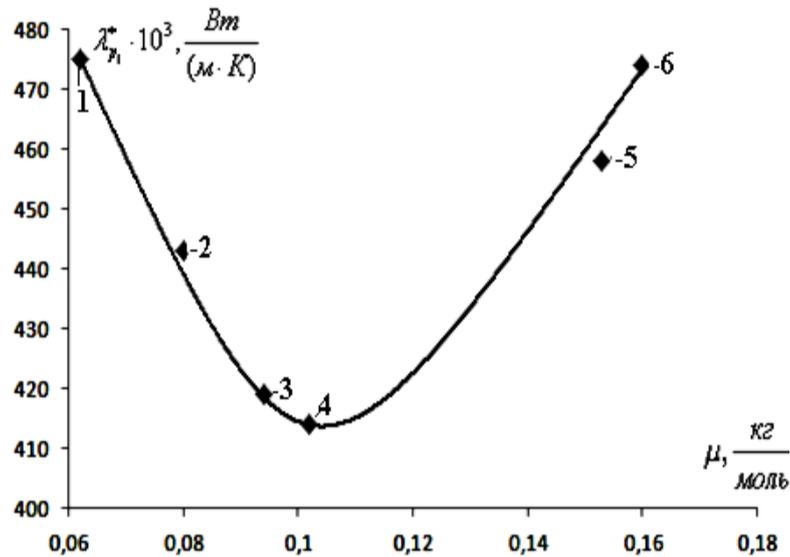


Рисунок 4.9 - Зависимость  $\lambda_1 = f(\mu)$  исследуемых растворов (Обозначение как на рисунке 4.3)

Изображенная на рисунке 4.9 кривая линия, описывается уравнением [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]:

$$\lambda_{p_1}^* = 26,056 \cdot \mu^2 - 5,811 \cdot \mu + 735,8 \cdot 10^{-3}, \quad \left[ \frac{Вт}{м \cdot К} \right] \quad (4.25)$$

где,  $\mu$  – молярная масса образца, кг/моль.

Из соотношения (4.41) с учетом (4.43) и (4.45), для вычисления теплопроводности системы гидразингидрат + наноструктурные амфотерные оксиды металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.) в зависимости от давления получим [53, 168, 75, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208, 218]:

$$\lambda_p = \left[ 471,2 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{P}{P_1} \right) + 529,04 \cdot 10^{-3} \right] \times$$

$$\times \left[ 14,85 \cdot 10^{-3} \left( \frac{m}{m_1} \right)^2 + 105 \cdot 10^{-3} \left( \frac{m}{m_1} \right) + 881 \cdot 10^{-3} \right] \times$$

$$\times \left[ 6,056 \cdot \mu^2 - 5,811 \cdot \mu + 735,8 \cdot 10^{-3} \right], \quad \left[ \frac{Bm}{(M \cdot K)} \right] \quad (4.26)$$

Если знать массовое значение нанодобавок, либо молярную массу растворителя, то соотношение (4.26) можно использовать для расчета теплопроводности неисследованных растворов с погрешностью до 2% при разном давлении и комнатной температуре.

Результаты экспериментального исследования теплоемкости образцов в зависимости от давления, массы наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3г.) и молярной массы, нами были обработаны и обобщены с помощью закона соответственных состояний и термодинамического подобия [53, 125128, 169, 173, 176, 178, 180, 183, 189, 192, 193, 199-203, 206-209]:

$$\frac{C}{C_{P_1}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right), \quad (4.27)$$

где,  $C$  – теплоемкость опытного образца в зависимости от давления;  
 $C_{P_1}$  – теплоемкость опытного образца при  $P_1$ ;  $P$  – давление опыта;  
 $P_1=0,121$  МПа.

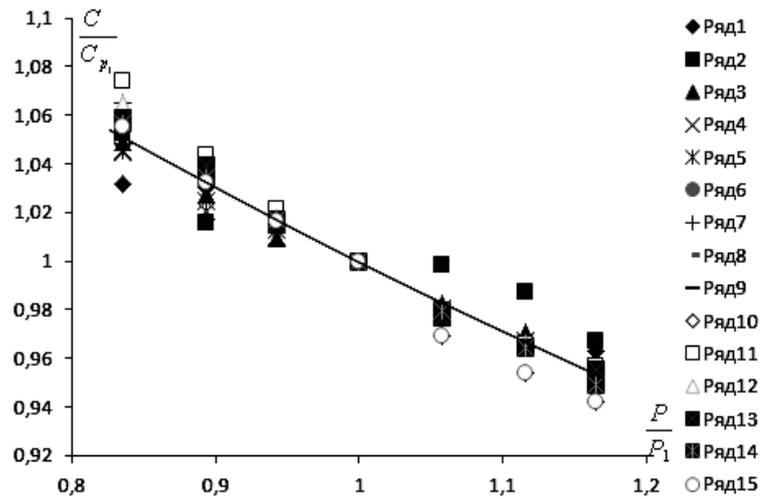


Рисунок 4.10 - Зависимость относительной теплоемкости  $C/C_{p_1}$  опытных образцов от относительного давления  $P/P_1$ : ряд1-0,1г., ряд2-0,15г., ряд3-0,2г., ряд4-0,25г., ряд5-0,3г. ( $Al_2O_3$ ,  $d=50$ нм), ряд6-0,1г., ряд7-0,15г., ряд8-0,2г., ряд9-0,25г., ряд10-0,3г. ( $Fe_2O_3$ ,  $d=50$ нм), ряд11-0,1г., ряд12-0,15г., ряд13-0,2г., ряд14-0,25г., ряд15-0,3г. ( $TiO_2$ ,  $d=50$ нм)

Соотношение (4.27) хорошо выполняются для растворов, т.е. вдоль общей прямой экспериментальные данные по теплоемкости хорошо укладываются (рисунок 4.10) и описывается уравнением [53, 125-128, 169, 173, 176, 178, 180, 183, 189, 192, 193, 199-203, 206-209]:

$$C = \left[ -0,303 \cdot \left( \frac{P}{P_1} \right) + 1,303 \right] \cdot C_{p_1}, \quad \left[ \frac{Дж}{г \cdot К} \right] \quad (4.28)$$

где,  $P$  – давление опыта;  $P_1=0,121$  МПа;  $C_{p_1}$  теплоемкость при  $P_1$ .

Теплоемкость  $C_{p_1}$  является функцией концентрации наноструктурных оксидов металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.)  $C_{p_1} = f(\bar{n})$ , значения которой приведены в таблице 4.13.

$$\frac{C_{p_1}}{C_{p_1}^*} = f\left(\frac{m}{m_1}\right), \quad (4.29)$$

Значение зависимости теплоемкости гидразингидрата от концентрации наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г.) при  $P_1=0,121$  МПа приведены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг·К)) гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=50$  нм) при  $P_1=0,121$  МПа

$\mu$ , кг/моль	$m$ , $10^{-3}$ кг				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
0,080	3239	3282	3221	3187	3173
0,102	3256	3193	3110	3103	3067
0,160	3366	3281	3274	3263	3227

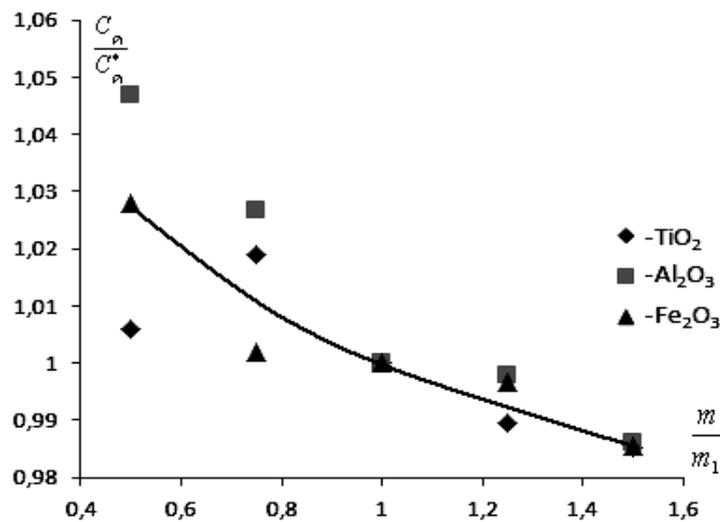


Рисунок 4.11 - Зависимость  $\frac{C_{p_1}}{C_{p_1}^*} = f\left(\frac{m}{m_1}\right)$  опытных образцов

Кривая линия изображенная, на рисунке 4.11 описывается уравнением:

$$C_{p_1} = \left[ 20,8 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{m}{m_1}\right)^2 - 83,9 \cdot 10^{-3} \left(\frac{m}{m_1}\right) + 1,0644 \right] \cdot C_{p_1}^*, \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right] \quad (4.30)$$

где,  $m$  – масса концентрации наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=50$  нм),  $10^{-3}$  кг

Значение  $C_{p1}^*$  является функцией молярной массы образца

$$C_{p1}^* = f(\mu), \quad (4.31)$$

Величина теплоемкости системы гидразингидрат+наноструктурные амфотерные оксиды металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и  $0,1; 0,15; 0,2; 0,25$  и  $0,3$  г.) от молярной массы при  $P_1=0,121$ МПа и  $m_1=0,2 \cdot 10^3$ кг приведены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 - Зависимость теплоемкости ( $C_p$ , Дж/(кг·К)) гидразингидрата + наноструктурных амфотерных оксидов металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=50$ нм) от молярной массы при  $P_1=0,121$ МПа и  $m_1=0,2 \cdot 10^3$ кг

$\mu, \text{кг/моль}$	0,062	0,08	0,094	0,102	0,153	0,16
$C_{p1}^*, \text{Дж/(кг·К)}$	3348	3221	3326	3110	3211	3264

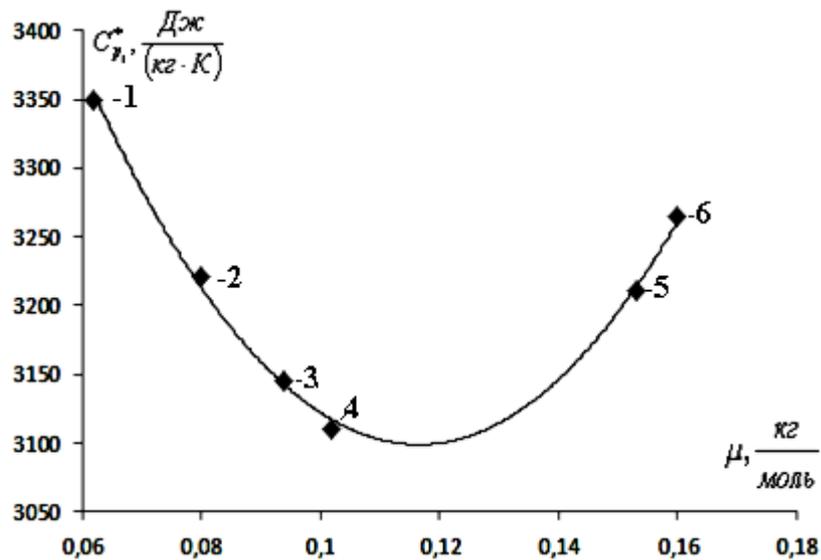


Рисунок 4.12 - Зависимость  $C_{p1}^* = f(\mu)$  испытываемых растворов (Обозначения как на рисунке 4.10)

Изображенная на рисунке 4.12. кривая линия выражается уравнением:

$$C_{p_1}^* = 128,7 \cdot \mu^2 - 353,885 \cdot \mu + 3353,5, \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot \text{К}} \right] \quad (4.32)$$

где,  $\mu$  – молярная масса образца, кг/моль.

Из выражения (4.30), с учетом (4.31) и (4.32) для вычисления теплоемкости системы гидразингидрат + наноструктурные амфотерные оксиды металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3г.) в зависимости от давления составляется [53, 125-128, 169, 173, 176, 178, 180, 183, 189, 192, 193, 199-203, 206-209]:

$$C = \left[ \left[ -30,3 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{P}{P_1} \right) + 130,3 \cdot 10^{-2} \right] \times \left[ 20,8 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{m}{m_1} \right)^2 - 83,9 \cdot 10^{-3} \left( \frac{m}{m_1} \right) + 1,0644 \right] \right] \times \left[ 128,7 \cdot \mu^2 - 353,885 \cdot \mu + 3353,5 \right], \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot \text{К}} \right] \quad (4.33)$$

Полученное эмпирическое выражение (4.33) служит для вычисления теплоемкости неисследованных растворов при комнатной температуре и различном давлении с погрешностью до 3% (таблица П.3.1П.3.2), при этом необходимо знать только массовое значение оксидов или их молярную массу.

#### **4.4. Влияние температуры, давления на изменение теплофизических, термодинамических и электрофизических свойств системы гидразингидрат + наноструктурные амфотерные оксиды металлов**

В зависимости от температуры и давления для получения расчетного уравнения по теплопроводности, теплоемкости и электропроводности гидразингидрата, мы обработали данные экспериментов в виде следующих функциональных зависимостей [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]; [53, 185, 187, 189, 196, 199, 200, 205, 208]; [53, 125-128, 169, 173, 176, 178, 180, 183, 189, 192, 193, 199-203, 206-209]:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad \frac{\lambda_p}{\lambda_{p_1}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right), \quad (4.34)$$

$$\frac{C_p}{C_p^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad \frac{C}{C_{p_1}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right), \quad (4.35)$$

где,  $\lambda$ ,  $\lambda_p$ ,  $C$ ,  $C_p$  теплопроводность, теплоемкость испытуемых образцов в зависимости от температуры, давления;  $\lambda_1$ ,  $C_p^*$ ,  $\lambda_{p_1}$ ,  $C_{p_1}$ , – теплопроводность, теплоемкость испытуемых образцов при  $T_1$ ,  $P_1$  и  $T$ ,  $P$  –соответственно температура, давление при котором проводились испытания;  $T_1 = 323\text{K}$ ;  $P_1 = 0,121\text{МПа}$ .

Из уравнений (4.34) – (4.35) получим [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]:

$$\frac{\lambda_{T,P}}{\lambda^*} = f\left[\left(\frac{T}{T_1}\right) \cdot \left(\frac{P}{P_1}\right)\right], \quad (4.36) \quad \frac{C_{T,P}}{C^*} = f\left[\left(\frac{T}{T_1}\right) \cdot \left(\frac{P}{P_1}\right)\right], \quad (4.37)$$

На основании экспериментальных данных теплопроводности, теплоемкости гидразингидрата в зависимости от температуры, давления были выведены следующие формулы [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]:

$$\lambda_{T,P} = \left[ \left[ -2,6 \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 5,71 \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right) - 2,12 \right] \cdot \left[ 471,2 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{P}{P_1}\right) + 529,04 \cdot 10^{-3} \right] \right] \cdot \lambda^* \quad (4.38)$$

$$C_{T,P} = \left[ \left[ 46,63 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 - 81,93 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right) + 1,353 \right] \cdot \left[ 68,2 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{P}{P_1}\right) + 93,21 \cdot 10^{-2} \right] \right] \cdot C^* \quad (4.39)$$

Значения  $\lambda^*$ ,  $C_p^*$ , является функциями концентрации наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ):

$$\lambda^* = f(\bar{n}), \quad C^* = f(\bar{n}),$$

Далее, для обобщения,  $C^*$  и  $a^*$  мы использовали следующие зависимости [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]:

$$\frac{\lambda^*}{\lambda_1^*} = f\left(\frac{m}{m_1}\right), \quad \frac{C^*}{C_1^*} = f\left(\frac{m}{m_1}\right), \quad (4.40)$$

Выполнимость выражений (4.38), (4.39) показана на рисунках 4.13, 4.14, соответственно.

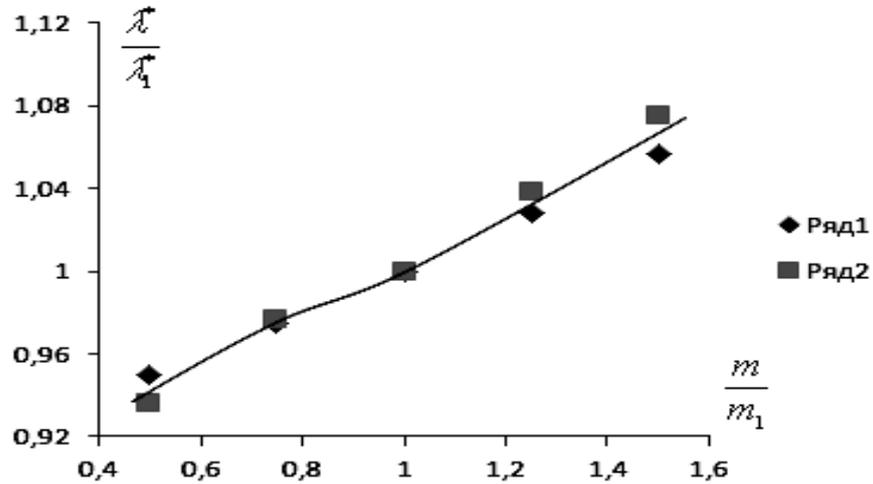


Рисунок 4.13 - Зависимость относительной  $\lambda^* / \lambda_1^*$  исследуемых веществ от относительной  $m / m_1$ : ряд1- ( $\lambda_{T1} / \lambda_{T1}^*$ ) значение относительной теплопроводности при  $T=323$  K; ряд2- ( $\lambda_{P1} / \lambda_{P1}^*$ ) при  $P=0,121$  МПа

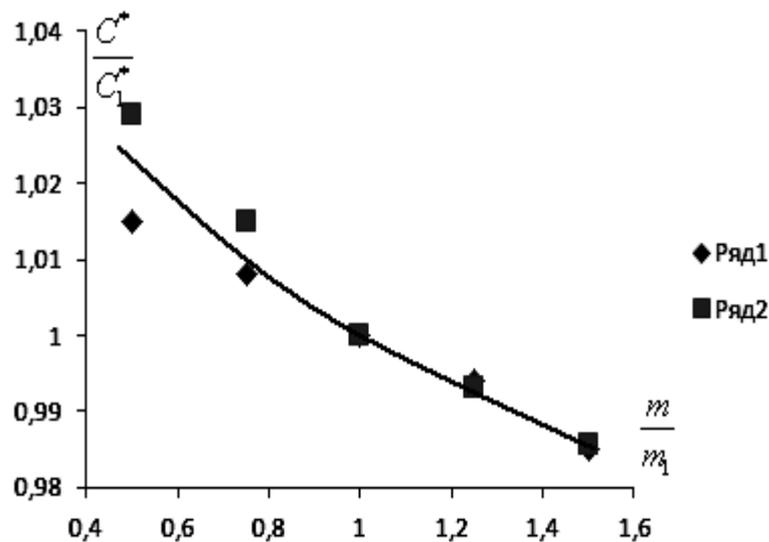


Рисунок 4.14 - Зависимость относительной  $C^* / C_1^*$  испытываемых образцов от относительной  $m / m_1$ : ряд1- ( $C_T^* / C_{T1}^*$ ) значение относительной теплоемкости при  $T_1=323$  K; ряд2 - ( $C_{P1} / C_{P1}^*$ ) при  $P_1=0,121$  МПа

Как видно, из рисунков 4.13, 4.14 экспериментальные точки укладываются вдоль общей прямой. Исходя из этой зависимости, приведенные на рисунках 4.13, 4.14 описываются следующими выражениями [53, 168, 175, 186, 188, 189, 191, 195, 198, 199-203, 208]:

$$\lambda^* = \left[ 14,9 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{m}{m_1} \right)^2 - 87,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{m}{m_1} \right) + 898,6 \cdot 10^{-3} \right] \cdot \lambda_1^* \quad (4.41)$$

$$C^* = \left[ 17,4 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{m}{m_1} \right)^2 - 71,1 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{m}{m_1} \right) + 1053,6 \cdot 10^{-3} \right] \cdot C_1^* \quad (4.42)$$

Соотношение (4.37), (4.38) при учете (4.41), (4.42) принимают вид:

$$\lambda_{T,P} = \left[ \left[ -2,6 \cdot \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 + 5,71 \cdot \left( \frac{T}{T_1} \right) - 2,12 \right] \cdot \left[ 471,2 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{P}{P_1} \right) + 529,04 \cdot 10^{-3} \right] \right] \times \\ \times \left[ 14,9 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{m}{m_1} \right)^2 - 87,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{m}{m_1} \right) + 898,6 \cdot 10^{-3} \right] \cdot \lambda_1^* \quad (4.43)$$

$$C_{T,P} = \left[ \left[ 46,63 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 - 81,93 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{T}{T_1} \right) + 1,353 \right] \cdot \left[ 68,2 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{P}{P_1} \right) + 93,21 \cdot 10^{-2} \right] \right] \times \\ \times \left[ 17,4 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{m}{m_1} \right)^2 - 71,1 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{m}{m_1} \right) + 1053,6 \cdot 10^{-3} \right] \cdot C_1^* \quad (4.44)$$

где,  $\lambda_1^*, C_1^*$ , являются функциями молярной массы наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и  $0,1; 0,15; 0,2; 0,25$  и  $0,3$  г.): при  $T_1=323\text{K}$ ,  $P_1=0,121\text{МПа}$ ,  $m_1 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ .

Посредством (4.43), (4.44) можно рассчитать теплопроводность и теплоемкость неисследованных систем гидразингидрата + наноструктурных оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и  $0,1; 0,15; 0,2; 0,25$  и  $0,3$  г.) в зависимости от температуры, давления, при этом необходимо знать только массу добавляемого объекта или молярную массу испытуемого образца.

### *Заключение к четвертой главе*

Для инженерных расчетов необходимо знание величин плотности, теплоемкости и коэффициента теплопроводности наножидкостей при конструировании новых машин, вычислении их коэффициентов теплоотдачи при отсутствии кипения жидкости в тракте охлаждения.

Полученные результаты экспериментальных исследований, а также разработанная математическая модель, характеризующая изменение теплофизических свойств, способствуют исключению применения дорогих оборудований и опытов. На базе полученных экспериментальных данных по свойствам наножидкостей и модели выведен ряд расчетных зависимостей для отражения теплофизических характеристик гидразингидрата с добавлением наноструктурных амфотерных оксидов металлов, таких как коэффициент теплопроводности, теплоемкость в зависимости от температуры, давления и концентрации компонентов. Результаты исследований сделали возможным заложение основы для конструирования материалов двигателей летательных аппаратов (ЖРД), в том числе при использовании этих материалов в соответствующих конструкциях.

Полученные данные дали возможность установить общие закономерности изменения теплофизических, термодинамических и электрофизических свойств от изменения температуры, давления и концентрации нанонаполнителей. Приведенные результаты могут быть применены в процессах разработки новых конструкций и изделий, в теплотехнических и конструктивных расчетах оборудований, в энергетике и во многих других областях науки.

Впервые путем экспериментов было определено изменение теплопроводности, теплоемкости и электрофизических свойств наножидкостей (гидразингидрат и некоторые амфотерные оксиды металлов) в интервале температур (293-673)К и давлений (0.101-49,01) МПа.

## ВЫВОДЫ

1. Исследован комплекс теплофизических (теплопроводность, плотность, теплоемкость), термодинамических (энтропии, энтальпии, энергии Гиббса и Гельмгольца) и электрофизических свойств (электропроводность, диэлектрическая проницаемость) системы (гидразингидрат + наноструктурные амфотерные оксиды металлов), позволяющих прогнозировать перечисленные параметра на основе их молекулярных структур.
2. Модернизированы и собраны экспериментальные установки для измерения  $C_p$ ,  $\lambda$  и электропроводности изучаемых систем гидразингидрат+ наноструктурные амфотерные оксиды металлов (метод лазерной вспышки) в зависимости от давления и для электрофизических свойств, работающая методом плоского конденсатора (кондуктометрия).
3. Впервые получены экспериментальные данные по теплопроводности, теплоемкости, плотности, энтропии, энтальпии, энергии Гиббса и Гельмгольца, электропроводности и диэлектрической проницаемости системы (гидразингидрат+наноструктурные амфотерные оксиды металлов  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $d=30, 50, 70, 90$  нм и 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 г) при температуре ( $T=298-673$ )К, давлении ( $P = 0,101 \div 49,01$  МПа).
4. При этом установлено, что теплопроводность, электропроводность при заданной температуре с ростом давления исследуемых систем увеличиваются. С ростом температуры при заданном давлении уменьшается, а теплоемкость, наоборот увеличивается.
5. Установлено, что с ростом количества наноструктурных оксидов металлов приводит к изменению теплофизических, термодинамических и электрофизических свойств гидразингидрата. Например: при  $T= 298$  К,  $P=0,101$  МПа увеличение массы наноструктурного оксида  $Fe_2O_3$ ,  $d=50$  нм на 0,3 г. теплопроводность гидразингидрат уменьшается на  $\sim 77,8\%$ , а при  $T= 348$  К,  $P= 0,101$  МПа этот изменение доходит до  $\sim 90,2 \%$ .

6. В результате обработки экспериментальных данных по теплофизическим, термодинамическим и электрофизическим свойствам исследуемых веществ при различных параметрах состояния (давления, температура и концентрации амфотерных оксидов металлов) получен ряд эмпирических уравнений.
7. Главные результаты теоретических и экспериментальных исследований приняты к применению и внедрены в различных промышленных предприятиях Республики Таджикистан, а также используются в учебном процессе Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни в городе Душанбе.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. Аминов, Ш.А.** Влияние герметика на изменение электропроводности и теплопроводности воды и некоторых водных растворов./ Ш.А. Аминов, М.М. Анакулов, Т.Р. Тиллоева, Х.А. Зоиров, М.М. Сафаров. //Матер.7<sup>ой</sup> Межд. теплофиз. школы «Теплофизич. исслед. и измерения в энергосбереж, при контроле, управ. и улучш. качест. продук, процессов и услуг» Ч.1. - 20-25 сентябрь. - 2010. - С.100-101.
- 2. Байрамов, Н.М.** Плотность бромалькилов и эфиров органических кислот в жидкой и паровой фазах: Дисс. к.т.н. - 1983. – С. 186.
- 3. Бегункова, А.Ф.** Прибор для быстрых испытаний теплопроводности изоляционных материалов.//Заводская лаборатория. –1952. –Т. - XV111. – №10. - С. 1260 – 1262.
- 4. Варгафтик, Н.Б.** Теплопроводность жидкостей./ Н.Б. Варгафтик // Изв. ВТИ. –1949. – № 8. - С. 6–11.
- 5. Власов, Д.В.** Оценка погрешности измерения высокоградиентных температурных полей термопарой с неточечным спаем: Тезисы докл. / Д.В. Власов, Д.А. Казенин, Н.А. Колесникова. //Вторая межд. теплофизич. школа. - 25-30 сентября 1995. – С.248.
- 6. Волькенштейн, В.С.** Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов./ В.С.Волькенштейн.//(Л.:Энергия).-1971.-145с
- 7. Геращенко, Ю.А.** Температурные измерения: Справ /Ю.А. Геращенко , А.Н.Гордов, Р.И.Лах, Н.Я.Ярышев.// Наукова думка.-1984.- С. 495.
- 8. Греков, А.П.** Физическая химия гидразина./А.П. Греков, В.Я. Веселов. // Наукова думка. - 1979. С. 264.
- 9. Груздев, В.А.** Автоматизированный С<sub>1</sub>калориметр: Тезисы докладов. /В.А. Груздев, Ю.А. Веслогузов, Ю.А. Коваленко, С.Г. Комаров. //9я Теплофизич. Конф. СНГ. - 24-28 июня - 1992. - С. 225.
- 10. Гордов, А.Н.** Статистические методы обработки результатов теплофизического эксперимента. /А.Н. Гордов, В.Г. Парфенов, А.Ю. Потягайло, А.В. Шарков. //Учеб. пособие. ЛИТМО. – 1981. - С. 72.

11. ГОСТ 8.20776 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. –М.: Издво стандартов. -1976. – С. 9.
12. ГОСТ 8.38180 (Ст СЭВ 40376) ГСИ. Эталоны. Государственная система обеспечения единства измерений. Способы выражения погрешностей. –М.: Издво стандартов. - 1980. - С.9.
13. Гусейнов, К.Д. Исследование термодинамических свойств ряда кислородосодержащих органических веществ в широком интервале параметров состояния:/ К.Д. Гусейнов.//Дисс... дра. т.н. - 1979. - С. 392
14. Гусейнов, С.О. Результаты комплексного исследования теплофизический важных органических соединений (нитрилы, олефины и толуидины) в жидком состоянии./С.О. Гусейнов.//Автореф.Дисс. д.т.н.– 1990. – С. 37.
15. Деденко, Л.Г. Мат. обработ. и оформ. результатов экспер./Л.Г. Деденко, В.В. Керженцев. //Издво стандартов. - 1977. – С. 36.
16. Джураев, Д.С. Расчетноэкспериментальное исследование термодинамических свойств наножидкостей в зависимости от температуры и давления. /Д.С. Джураев, М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Х.А. Зоиров. Материалы Рес. научнопрак. конф. «Состояние и будущее энергетики Таджикистана». – 2009. – С. 136–138.
17. Джураев, Д.С. Расчет теплоемкости коллоидных жидкостей в зависимости от давления при комнатной температуре. /Д.С. Джураев. //Известия вузов. – 2010. – №4. – С. 3–5.
18. Зарипова, М.А. Уравнение состояния гидразинзамещенных водных растворов. /М.А. Зарипова. //Вестник Таджикского технического университета. - 2008. - №2. - С. 9-15.
19. Зарипова, М.А. Прогнозирование калорических свойств некоторых гидразинзамещенных жидкостей и углеводов. /М.А. Зарипова.//Вест. Тадж. тех. универ. - 2008. - №3. - С. 12-21.

- 20. Зарипова, М.А.** Экспериментальное исследование теплопроводности водных растворов триметилгидразина в зависимости от температуры и давления. /М.А. Зарипова. // Измер. тех.- 2013. - №2. - С. 36-40.
- 21. Зарипова, М.А.** Экспериментальное исследование коэффициента теплопроводности водных растворов этилгидразина при высоких параметрах состояния./М.А. Зарипова.//Вест. ТГНУ.-2011.-12(76) С.25-29.
- 22. Зарипова, М.А.** Методы расчета термодинамических свойств гидразингидрата при высоких параметрах состояния. /М.А.Зарипова.// Вест. пед. универ.- №2(38). - 2011. - С.7-12.
- 23. Зарипова, М.А.** Теплопроводность водных растворов метилгидразина в зависимости от температуры и давления. /М.А. Зарипова. // Вест. Тадж. тех. универ.-1(13).- 2011.-С.12-18.
- 24. Загеров, А.Р.** Измерение теплопроводности жидкостей в потоках методом импульсно нагреваемой проволоки: Тезисы док. /А.Р. Загеров, А.А. Тарзиманов, Р.А. Шарафутдинов. //Вторая межд. теплофиз. школа. -25-30 сентября. - 1995. – С.226.
- 25. Захаров, А.Г.** Транспортная космическая система./А.Г.Захаров, Ю.К. Казаров //М.: ВИНТИ.-1976.–С.248. – (Итоги науки и техники: Серия Ракетостроение. Т.7).
- 26. Зайдель, А.Н.** Ошибки измерений физических величин./ А.Н. Зайдель. // - Л. Наука.-1974. – С.146.
- 27. Земин, В.С.** Экспериментальное исследование плотности предельных спиртов при различных температурах и давлениях. /В.С. Земин.//Дис. к.т.н.– М.-1980. –С.175.
- 28. Зоиров, Х.А.** Влияние наноксидов на изменение термодинамических свойств гидразингидрата. /Х.А. Зоиров, М.М. Сафаров, С.А.Тагоев, М.А. Зарипова, А.Ф.Тошов.//Матер. Рес.конф. «Координ. химия и ее знач. в развитии народного хоз.» с межд. участием, посвящ памяти проф. Юсупова З.Н., Тадж. нац. универ.-26-27 декабря 2011.- С.100-106.

- 29. Зоиров, Х.А.** Влияние наномикрочастиц на изменение теплоемкости воды и продуктов пива. /М.Ф. Курбонов, М.М. Сафаров, Х.А. Зоиров и др. // ТНУ.- 2011(6).
- 30. Зоиров, Х.А.** Взаимосвязь между калорическими и термодинамическими свойствами воды и некоторых органических растворов. /Ш.А. Амирнов, М.М. Сафаров, Х.А. Зоиров и др. //Матер. Рес. научнопрак. конф. «Перспект. Энерг. Таджикистана».- 23 декабря 2011.- С.16-19.
- 31. Зоиров, Х.А.** Диоксид титана ( $TiO_2$ ) применение и влияние его на изменение плотности конечного продукта. /Х.А. Зоиров, М.М. Сафаров, Д.С. Джураев и др. //Материалы республиканской научнопрактической конференции «Перспек. энер. Рес.Тадж.».- 23 декабря 2011.-С.10-12.
- 32. Зоиров, Х.А.** Способ определения теплопроводности магнитных жидкостей методом лазерной вспышки./Х.А. Зоиров, Д.С. Джураев, М.М. Сафаров, Ш.З.Нажмудинов//№ТJ316.-2010.-МПК(2006).
- 33. Казарновский, Д.М.** Испытание электронных материалов. /Д.М. Казарновский, Б.М. Тареев. //М.Л.: Госэнергоиздат.-1963.-С.154.
- 34. Картавченко, А.В.** Разработка каталитического пакета разложения низкотемпературного топлива (типа гидразингидрата) для глубоководного аппарата «Океан». /А.В. Картавченко, В.М. Григорьев, В.А. Дидык. //НПО ГИПХ, 1987; Инв.- № 53 – 87. – С.28.
- 35. Кирилин, В.А.** Исследования термодинамических свойств веществ. / В.А. Кирилин, А.Е. Шейндлин. //– Л.: Госэнергоиздат. - 1963. – С.560.
- 36. Клименко, А.В.** Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. /А.В. Клименко, В.М. Зорина. //Под. общ. ред. Издательство МЭИ. - 2001. - С. 560.
- 37. Козлов, А.Д.** Разработка и внедрение в народное хозяйство системы нормативносправочных данных о термодинамических свойствах технически важных газов, жидкостей и смесей: /А.Д. Козлов. //Автореф. дисс...дра тех. наук.–М.- С.48.

- 38. Козлов, А.Д.** Деятельность ГСССД по обеспечению народного хозяйства данными о свойствах веществ и материалов. /А.Д.Козлов. //Информ. бюл. ГСССД. -М.-1980. -Вып.8-9. – С.710.
- 39. Кондратьев, Г.М.** Регулярный тепловой режим. /Г.М. Кондратьев.// М.:ГИТЛ.- 1954. –С.408.
- 40. Коровин, Н.В.** Гидразин. / Н.В. Коровин. // – М.: Химия.-1980. –С.272.
- 41. Курепин, В.В.** Приборы для исследования теплопроводности и теплоемкости в режиме монотонного разогрева. /В.В. Курепин, Е.С. Платунов.// Известия Вузов. Приборостроение. –1966. –Т.1Х. –№3. – С.127–130.
- 42. Кудряшова, Ж.Ф.** Рекомендации по методам обработки результатов наблюдений при прямых измерениях./Ж.Ф. Кудряшова, С.Г. Рабинович, К.А. Резник.//Тр. Метролог. инст. СССР.–1972.–Вып.134 (194).-С.5–90.
- 43. Маджидов, Х.** Экспериментальная установка для измерения теплопроводности жидкостей методом монотонного разогрева. /Х.Маджидов, Е.П. Двойкин, А.И. Богданов, С. Зубайдов, М.М. Сафаров. //Приборостроение. -1989. –Т.32.–№12.–С.78–81.
- 44. Мамедов, А.М.** Таблицы термодинамических свойств газов и жидкостей.– Вып.5. Углеводороды ароматического ряда. /А.М. Мамедов, Т.С. Ахундов.// АН СССР. –М. Изд. станд. -1978. –С.140.
- 45. Мен, А.А.** Лучистокондуктивный теплообмен в среде с селективными оптическими свойствами. /А.А. Мен, О.А. Сергеев. //ТВТ. –1971.–Т.9.– Вып.3. –370с.
- 46. Мирошниченко, В.И.** Экспериментальная установка с импульсным лазерным нагревом для исследования теплопроводности и теплоемкости твердых тел при высоких температурах. /В.И. Мирошниченко, В.В. Махров, М.В. Ребров. // Тез.док. 9-я Теплофизич. конф. СНГ. - 1992. – С.22-23.
- 47. Мустафаев, Р.А.** Теплофизические свойства углеводородов при высоких параметрах состояния. /Р.А. Мустафаев.//. - 1980. – С. 296.

- 48. Мустафаев, Р.А.** Экспериментальное исследование  $P\lambda T$  зависимости динонилового эфира янтарной кислоты в широком интервале параметров состояния. / Р.А. Мустафаев, Д.К. Ганиев, Р.С. Рагимов //Тезис.док. 9<sup>я</sup> Теплофиз. конф. СНГ. - 24-28 июня 1992. – С. 68.
- 49. Мустафаев, Р.А.** Метод монотонного нагрева для исследования теплопроводности жидкостей, паров и газов при высоких температурах и давлениях: Сб. по теплофизич. свойствам жидкостей. /Р.А. Мустафаев. // - 1973. – С. 112–117.
- 50. Мустафаев, Р.А.** Теплофизические свойства капроатов при высоких параметрах состояния: /Р.А. Мустафаев, Н.М. Байрамов, К.Д. Гусейнов. //Тез. док. 9<sup>я</sup> Теплофиз. конф. СНГ. - 24-28 июня 1992.–С.119.
- 51. Мустафаев, Р.А.** Экспериментальное исследование и методика расчета теплопроводности органических жидкостей в диапазоне температур (300-600) К и давлений (0,1-98,0)МПа: Теплофизические свойства веществ. /Р.А. Мустафаев, Б.Г. Гараджаев, Р.С. Рагимов. // Труды V111 Всесоюз. конф. Ч. 1. - 1989. – С. 175-180.
- 52. Нуриддинов, З.** Теплофизические свойства фталовой кислоты в зависимости от температуры и давления. / Зиедулло Нуриддинов. //Дис.канд. техн. наук. - 1991. – С. 185.
- 53. Назруллоев, А.С.** Влияние наноразмерных амфотерных оксидов металлов на изменение тепло, электропроводность и термодинамических свойств гидразингидрата./ М.М. Сафаров, М.А.Зарипова, Х.А. Зоиров, А.С. Назруллоев // - 2016. – С. 235. (Монография).
- 54. Одрит, Л.** Химия гидразина. /Л. Одрит, Б. Огг. / Пер. с англ. Е.А. Яковлевой. -1954. – С. 238.
- 55. Пак, М.И.** Квазистационарный метод комплексного определения теплофизических свойств твердых тел в широком температурном интервале. /М. И. Пак, В.А. Осимова. //Теплоэнергетика. – 1967. – №6. – С. 73–76.

- 56. Парфенов, В.Г.** Регрессионный и корреляционный анализ. Обработка результатов наблюдений при измерениях.: /В.Г. Парфенов //Учеб. пособие. ЛИТМО. - 1983. – С. 78.
- 57. Патент РФ №2234075, МПК G01 N22/00.**
- 58. Платунов, Е.С.** Теплофизические измерения в монотонном режиме. /Е.С. Платунов // – Энергия. - 1973. – С. 142.
- 59. Платунов, Е.С.** Теплофизические измерения и приборы. /Е.С. Платунов, С.Е. Буравой, В.В. Курепин, Г.С. Петров. //Под общ. ред. Платунов Е.С. –Л.: Машиностроение. - 1986. – С. 256.
- 60. Рабинович, С.Г.** Методика вычисления погрешности результатов измерения. / С.Г. Рабинович //Метрология. – 1970. – №1.– С.3–12.
- 61. Раджабов, Ф.С.** Теплопроводность и плотность водных растворов азрозина при различных температурах и давлениях. /Ф.С. Раджабов //Дис.канд. ф.м. наук. - 2002. – С. 149.
- 62. Сарнер, С.** Химия ракетных топлив./С.Сарнер //– М. - 1969. – С.488.
- 63. Сафаров, М.М.** Теплопроводность и плотность водных растворов гидразина (Статья). / М.М. Сафаров, Х. Маджидов, А.В. Картавченко, М.А. Зарипова.//Сб. Науч. раб. Вып.№1. -1992. - С.39-41.
- 64. Сафаров, М.М.** Теплопроводность и плотность водных растворов гидразина при высоких параметрах состояния. / М.М. Сафаров, М. А. Зарипова.//Тез. док. Рес. науч.–тех. конф. по ТСВ. – 1992. - С.48.
- 65. Сафаров, М.М.** Экспериментальное исследование теплопроводности гидразингидрата при высоких параметрах состояния. / М.М. Сафаров, М.А. Зарипова.//Измерительная техника. – 1993. - №4. -С.48-49.
- 66. Сафаров, М.М.** Теплофизические свойства простых эфиров и водных растворов гидразина в зависимости от температуры и давления./ М.М. Сафаров//Дисс. д.т.н. – 1993. – С. 450.
- 67. Сафаров, М.М.** Температурная и концентрационная зависимость плотности водных растворов гидразина (Статья). /М.М. Сафаров, А.В. Картавченко, М.А. Зарипова. //ТВТ. - Т.31. - №1. – 1993. - М. - С.301-312.

- 68. Сафаров, М.М.** РрТ зависимости водных растворов гидразина (Статья)./М.М. Сафаров, А.В. Картавченко. //Журнал Физ. Химия – 1993. - Т.67. - №4. - С. 710-712.
- 69. Сафаров, М.М.** Теплоемкость водных растворов фенилгидразина. (Тезис)./М.М. Сафаров, М.А. Зарипова. //Тез. науч. прак. конф. - 28-30 октября 1993. – С. 70.
- 70. Сафаров, М.М.** Взаимосвязь теплопроводности с плотностью водных растворов гидразина. (Тезис). /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова. //Тез. науч. прак. конф. - 28-30 октября 1993. - С.74.
- 71. Сафаров, М.М.** Динамическая вязкость гидразингидрата при высоких параметрах состояния. (Тезис) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев. // Тез.науч. прак.конф. 28 - 30 октября 1993. - С. 58.
- 72. Сафаров, М.М.** Плотность водных растворов гидразина в зависимости от температуры. (Тезис). /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев. // Тр. Преподавателей и сотрудников ДГПИ. им.К. Джураева. - 1993. - С. 64.
- 73. Сафаров, М.М.** Динамическая вязкость водных растворов гидразина при высоких параметрах состояния. (Статья). /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова. // Измерительная техника. – 1994. - №9. - С. 43-45.
- 74. Сафаров, М.М.** Вязкость, плотность водных растворов гидразина и фенилгидразина в зависимости от температуры при атмосферном давлении. (Статья)./М.М. Сафаров, А.В. Картавченко, М.А. Зарипова. //ИФЖ. - Т.68. - 1995. - №2. - С. 287-290.
- 75. Сафаров, М.М.** Зависимость теплопроводности водных растворов гидразина от плотности в широком диапазоне температур и давления. (Статья). /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова. //ИФЖ. - Т.68. – 1995. - №3. - С. 453-456.
- 76. Сафаров, М.М.** Вязкость водных растворов фенилгидразина в зависимости от температуры. (Статья). /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, З. Файзуллоев. // ИФЖ. - Т.68. – 1995. - 1995. №2. - С. 287-290.

- 77. Сафаров, М.М.** Акустические свойства гидразингидрата при различных температурах и давлениях.(Статья)./М.М. Сафаров, М.А. Зарипова. //Сб. ТУТ. Вып.1. - 1995. - С. 35-38.
- 78. Сафаров, М.М.** Акустические свойства водных растворов гидразина и фенилгидразина в широком диапазоне параметров состояния.(Статья ). /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова. //11Межд. теплофиз. школа. – 1995. - С.186-190.
- 79. Сафаров, М.М.** Плотность системы азрозина и воды при различных температурах и давлениях. (Тезис). /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, М.Т. Тургунбоев. //Респ. науч. техн. конф. ТГУ. – 1995. - С.83.
- 80. Сафаров, М.М.** Теплофизические свойства водных растворов гидразина. (Статья). /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова. //Метрология. - 1996. - №4. - С. 31-35.
- 81. Сафаров, М.М.** Взаимосвязь теплопроводности и плотности водных растворов фенилгидразина.(Статья)./М.М.Сафаров, М.А.Зарипова. //ТВТ. - Т.34. – 1996. - №2. - С.327-330.
- 82. Сафаров, М.М.** Теплоемкость водных растворов азрозина в зависимости от температуры и давления. (Статья). /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова. // Измерительная техника. - N51996. - С. 46-48.
- 83. Сафаров, М.М.** Теплоемкость водных растворов диметилгидразина в зависимости от температуры и давления. (Статья). /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, В. Давлатова. //ИФЖТ.69. - №3. – 1996. – С. 8.
- 84. Сафаров, М.М.** Теплопроводность водных растворов азрозина при высоких параметрах состояния. (Статья)./М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, М.Т. Тургунбоев. //Сб. ТУТ. Вып.3. – 1997. - С. 31-35.
- 85. Сафаров, М.М., Зарипова М.А., Тургунбоев М.Т.** Плотность водных растворов азрозина в широком интервале температур и давления. (Статья) ИФЖ. Т.70. -1997. №5. - С.7.
- 86. Сафаров, М.М.** Теплопроводность водных растворов диметилгидразина в широком интервале температур и

давлений.(Статья)/М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, М.Т. Тургунбоев. //ИФЖ. - Т71. - 1998. - №3. - С.375-383.

**87. Сафаров, М.М.** Теплопроводность гидразинзамещенных водных растворов в зависимости от температуры и давления. (Тезис). /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, М.Т. Тургунбоев.//Матер.науч.практ. Конф. Посв.10летию независимости. РТ. – 2001. С. 34-35.

**88. Сафаров, М.М.** РрТх –свойства растворов водатриметилгидразина и этиленгликоля. (Тезис). /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Ш. З. Нажмуддинов, Х.А. Зоиров и др. //Материалы Республиканской научнопрактической конференции. «Соврем. проб. химии, химичес. технол. и металлургии». - 2009. - С. 28-29.

**89. Сафаров, М.М.** Устройство для определения влияния магнитного поля на изменение температуропроводности магнитных жидкостей. /М.М. Сафаров, Д.С. Джураев, М.А. Зарипова, Х.А. Зоиров и др. //Патент РТ. МПК (2006) G 01 N 27/00; 27/74. - № ТЈ 229. – С. 14.

**90. Сафаров, М.М.** Устройство для определения электрофизических свойств электролитов в зависимости от давления. /М.М. Сафаров, С.К. Давлатшоев, М.А. Зарипова, Х.А. Зоиров // Патент № ТЈ 371. – С. 20-107.

**91. Сафаров, М.М.** Способ измерения диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков./М.М. Сафаров, С.К. Давлатшоев, Х.А. Зоиров, М.С. Махмадиев.//Патент РТ. МПК (2006)G01 №27/06; 27/22. №ТЈ 210.С.5.

**92. Сафаров, М.М.** Теплофизические свойства пористой гранулированной окиси алюминия с металлическими наполнителями в различных газовых средах./М.М. Сафаров//Автореф. на соиск. уч. ст. к.т.н. – 1986. – С. 24.

**93. Сафаров, М.М.** Теплофизические свойства простых эфиров в широком интервале параметров состояния (теплопроводность и плотность). Монография./М.М. Сафаров, К.Д. Гусейнов.//Книга 1. - С. 1996–196.

- 94. Сафаров, М.М.** Теплофизические свойства пористой гранулированной окиси алюминия содержащей различное количество металла в зависимости от температуры в различных газовых средах. / М. М. Сафаров // Дис...канд. техн. наук. - 1986. – С. 186.
- 95. Сергеев, О.А.** Метрологические основы теплофизических измерений. / О. А. Сергеев // –М.: Изд. Стандартов - 1972. – С. 156.
- 96. Сичев, В.В.** Государственная служба стандартных справочных данных в 1976-1980 г.г./ В.В. Сичев, А.Д. Козлов. // Информ. бюл. ГСССД. - Вып. 2. - С. 45.
- 97. Стальнов, П.И.** Метод повышения точности физикохимических измерений: Тезис. док. / П.И.Стальнов // Вторая межд. теплофизич. школа. - 25-30 сентября 1995. – С. 238.
- 98. Соловьев, В.А.** Элементарные методы обработки результатов. / В.А. Соловьев, В.Е. Яхонтова. // –Л.: Издво ЛГУ. - 1977. – С. 86.
- 99. Тагоев, С.А.** Влияние растворителей на изменение теплопроводности и теплоемкости хлопкового масла в зависимости от температуры и давления. / Сафовуддин Асоевич Тагоев // Дис. канд. техн. наук. – 2002. – С. 165 с.
- 100. Тейлор, Дж.** Введение в теорию ошибок. / Дж. Тейлор // Пер. с англ. канд. физ.мат. наук Л.Г. Деденко. – 1985. – С. 272.
- 101. Фишер, И.З.** Современное состояние теории жидкостей. / И.З. Фишер // Уравнение состояния газов и жидкостей. Сб. – 1975. – С. 102 .
- 102. Френкель, Я.И.** Кинетическая теория жидкостей. / Я. И. Френкель // – 1975. – С. 692.
- 103. Френкель, Я.И.** Собрание научных трудов. / Я. И. Френкель // –Т.11. – М. –Л.: Издво АН СССР. - 1958. – С. 600.
- 104. Фукс, Л.Т.** Метод комплексного определения теплофизических свойств. / Л.Т. Фукс, В.Н. Шмандина. // Извес Вуз. Энергетика.–1970.– №2.– С. 124–126.

- 105. Цыкало, А.Л.** Термодинамические свойства гидразина. /А.Л. Цыкало, В.К. Савенков и др. // – Рук. деп. в ВИНТИ . - № 536. С. 74.
- 106. Чудновский, А.Ф.** Теплофизические характеристики дисперсных материалов. / А.Ф. Чудновский // Физматгиз. - 1962. – С. 456.
- 107. Шашков, А.Г.** Методы определения теплопроводности и температуропроводности. /А.Г. Шашков, Г.М. Волохов, Т.Н. Абраменко. // Энергия. - 1973. – С. 335.
- 108. Шашков, А.Г.** О некоторых методах определения теплофизических характеристик материалов при комнатных и средних температурах. /А.Г. Шашков //Инженернофизический журнал. –1961. –№9. –С. 356–360.
- 109. Штехер, М.С.** Топлива и рабочие тела ракетных двигателей. /М.С. Штехер // Машиностроение. - 1976. – С. 302.
- 110. Юренева, В.Н.**Теплотехнический справочник. Т.2. Под общей ред. /В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева. // – 1976. – С. 876.
- 111. Chang, E.T.** Thermodynamic properties of gases in propellants. II. Solubility's of helium, nitrogen and argon gas in hydrazine, methylhydrazine. / E.T. Chang, N.A. Gokcen, T.M. Poston.//J.Phys.Chem. – 1968. – V.72. - №2. –P.638 – 642.
- 112. Guth, E.D.** Пат. 3732694 (США). Method for catalytic decomposition of monopropellant hydrazine. /E.D. Guth, J.L.Blumenthal. //– Оpubл. 15.05.73.
- 113. Гребенков, А.Ж., Котелевский Ю.Г., Саплина В.В.,** Исследования теплопроводности некоторых технически важных азотсодержащих соединений. / Тезисы док. 10<sup>ой</sup> Рос. конф. по теплофиз. свойст. веществ. Казань, 30 сентября по 4 октября 2002г. С.105.
- 114. Mc Millan, J.A.** Phys.–1965./ Mc Millan J.A.,Los S.C.,J.Chem.//V.42, N 1. –P.160; N 3. – P.829.
- 115. Pannetier, G.** Diagrammes de Solidification et masses volumiques de melanges azoture d'hydrazin divorcement hydrates./G. Pannetier, F. Margineanu. // Bull.Soc.Chem.France. – 1972. – N 10. – P.3725 – 3728.

- 116. Safarov, M.M.** Heat conductivity of organic liquids containing Oxygen and Water Muxtures of Hydrazine in Wide State. /M.M. Safarov, A. Zaripova, F.S. Rajabov, M.T. Turgunboev. //(Abstract) 23 –Thermal Conductivity. - 29 oct.1 November. – 1995. - USA, Oak Ridg. - P.126.
- 117. Safarov, M.M.** Thermophysical Feature of Water Mixtures Mixed up With Hydrazene under various Temperature and Pressures. /M.M. Safarov, M.A. Zaripova, F.S. Rajabov, M.T. Turgunboev. // (Report) 14<sup>th</sup> European Conference on Thermophysical properties, Proceedings. - September 16-19. – 1996. - Lyon, France. - P.11411146.
- 118. Safarov, M.M.** Density, Viscosity of Water Hydrazinehydrate solutions independence of Temperatures and Pressures. /M.M. Safarov, M.A. Zaripova, T. R. Tilloeva, H.A. Zoirov. //(Abstract) 18 Thermodynamic Water Solutions, Berlin. - 2008. - P.181.
- 119. Safarov, M.M.** Thermal conductivity and thermodynamic properties of water, ethylhydrazine solutions. /M.M. Safarov, M.A. Zaripova, T.R. Tilloeva, H.A. Zoirov. // Proceedings of the Thirtieth International thermal conductivity conference. – 2009. - Pittsburg, Pennsylvania, USA. - P.841-847.
- 120. Safarov, M.M.** Thermal conductivity and acoustic. Properties of hydrazine of deferent temperatures and Pressure. /M.M. Safarov, M.A. Zaripova, I. Sweda //25 ITCC/11 ITEC. Ann Arbor, USA. - Lund (1316). – 1999. –P.321.
- 121. Safarov, M.M.** Density and of hedrazinesubmissions under various temperatures and pressures. Equetions state. /M.M. Safarov, M.A. Zaripova, T.R. Tilloeva, H.A. Zoirov, Sh.A. Aminov. //18 th European conference on thermophysical properties. – France. – 2008. - P.23.
- 122. Safarov, M.M.** Density of rocket fuel and its temperature and pressure dependence. /M.M. Safarov, M.A. Zaripova, T.R. Tilloeva, H.A. Zoirov. //17<sup>th</sup> Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, Colorado USA. - June 21-26. – 2009. - P.202.

- 123. Safarov, M.M.** Thermal conductivity of water /ethylhydrazine solutions. / M.M. Safarov, M.A. Zaripova, T.R. Tilloeva, H.A. Zoirov. // Conference book. 30<sup>th</sup> International Thermal Conductivity Conference and 18<sup>th</sup> International; Thermal Expansion Symposium. Pittsburg, Pennsylvania USA. – 2009. - P. 26.
- 124. Taylor, R.E.** Heatpulse thermal diffusivity measurements. / R.E. Taylor // High Temperatures High Pressures. - 1979. –V. 11. – P. 43–58.
- 125. Зарипова, М.А.** Влияние наночастиц на изменение теплофизических, термодинамических свойств некоторых кислородосодержащих, азотосодержащих органических жидкостей при различных температурах и давлениях./ М. А. Зарипова // Дисс. дра. т.н. - 2016. - С. 307.
- 126. Зоиров, Х.А.** Влияние наноразмерных оксидов металлов на изменение тепло,электро,и диффузионных свойств гидразингидрата. / Х. А. Зоиров // Дисс.канд.техн.наук. - 2014. – С. 157.
- 127. Гуломов, М.М.** Влияние углеродных нанотрубок на изменение тепло, температуропроводности и плотности жидкого диэтилового эфира./ М. М. Гуломов//Дис. канд. техн. наук. - 2017. – С. 132.
- 128. Едалиева, З.Н.** Теплофизические и термодинамические характеристики полупроводниковых систем CdSbNiSb<sub>2</sub>, влияние их на изменение свойства диметилгидразина в зависимости от температуры и давления. / З. Н. Едалиева // Дисс. канд. техн. наук. -2016. –С. 148.
- 129. Гельчинский, Б. К., С., Коренченко А., Воронцов А.** Компьютерное моделирование наночастиц формирования и роста в паровой фазе процесса конденсации. <http://www.nist.gov>.
- 130. Джованни, А., Лонго, К.С., Клаудио, З.** Экспериментальные измерения теплофизических свойств этиленгликоля и нанодисперсных частиц Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. <http://www.nist.gov>.
- 131. Javid Safarov.** (P, ρ,T) зависимости ионных жидкостей [http // www.nist.gov](http://www.nist.gov).

- 132. Kannam Sridhar Kumar, Billy Todd, Peter Devis, Jasper Hansen** Скорость потока флюидов в углеродных нанотрубках. <http://www.nist.gov>.
- 133. Chirico, R.D., Frenkel M., Magee J.W., et.** NIST журнал о сотрудничестве в целях повышения качества опубликованных экспериментальных данных: новый онлайн инструменты. <http://www.nist.gov>.
- 134. Sergio Bobbo, Laura Colla, Laura Fedele, Mauro Scattolini.** Характеристика теплообмена потенцией на водной основе ZnO наножидкостях. <http://www.nist.gov>.
- 135. Haiping Hong, C.S.** Влияние pH на теплопередачу наножидкостей содержащих наночастицы ZrO<sub>2</sub> и TiO<sub>2</sub> <http://www.nist.gov>.
- 136. Rainer Wunderlich, Y.J.Fercht.** Поверхностное натяжение и вязкость жидкого катализаторов NiAl и их сплавов. <http://www.nist.gov>.
- 137. Ефримов, И.Ф.** Периодические коллоидные структуры. /И.Ф. Ефримов. - Химия. - 1971. – С.186.
- 138. Novotny, V., Mtinsky P., Wanson J.** Effect of Size and Surface on the Specific Heat of Small Lead Particles // Physics Review letters. - 1972. -P. 901-903.
- 139. Baltes, H., Hilf, E.** Specific heat of lead grains// Solid State Communications. - 12 Issue 5. - 1973. - P. 369-373.
- 140. Петров, Ю.И.** Физика малых частиц. - 1982. – С. 332.
- 141. Непийко, С.А.** Физические свойства малых металлических частиц. - 1985. – С. 165.
- 142. Wang, B., Zhou L., Peng X.** Surface and Size Effects on the Specific heat capacity of Nanoparticles// International Journal of Thermophysics. - 2006. - P. 236-243.
- 143. Nanoparticle Technology Yfndboor./ Ed.V.Hosokawa, K.Nagi, V.Naino, T. Yakoyama.** Elsevier. - 2007. – P. 644.
- 144. Das, S., Choi, S., Yu, W. et. al.** Nano fluids: Science and Technology John Wiley and Sons. Hoboken. NJ. USA. - 2008. - P. 456-463.

- 145. France, D.,** Choi S., Yu W. et. al. Review and assessment of Nano fluid Technology for Transportation and Other Applications. Argone National Laboratory Technical Report. ANL/ ESD/079. - 2007. – P. 78.
- 146. Ding, Y.,** Chen H., Wang L. et.al. Heat Transfer Intensification Using Nanofluids// KONA. - 2007. - P. 23-38.
- 147. Das, S.,** Choi S., Patel H. Heat Transfer in Nano fluids. A Review// Heat Transfer Engineering. - 2006. - P. 319.
- 148. Wong, K.,** Castillo M. Heat Transfer Mechanisms and Clustering in Nano fluids. Review Article// Advances in Mechanical Engineering. ID 795478. - 2010. - P.19.
- 149. Wang, Y.,** Mujumdar A. Heat Transfer characteristics of Nano fluids: a review // International Journal of Thermal Sciences. 46. - 2007. - P.119.
- 150. Schoch, R.,** Han J. Renaud P. Transport phenomena in nanofluidics// Review Modern Physics. V.80. July September. - 2008. - P. 849-883.
- 151. Keblinski, P.,** Eastman J. Cahill D. Nano fluids for thermal transport // Materials Today. - 2005. - P.36-44.
- 152. Ozering, S.,** Rıfırc S., Yazıcıoğlu A. Enhanced thermal conductivity of nanofluids: a stateoftheart review// Applied Physics letters. - 79. - 2001. P. 2252-2254.
- 153. Choi, S.,** Zhang Z., Yu W. et.al. Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions// Applied Physics Letters.- 79. -2001. - P. 2262-2265.
- 154. Das, S.K.,** Choi S.U.S., Patel H.E. Heat transfer in Nanofluids a review// Heat Transfer Engineering. - 27(10). - 2006. - P. 219.
- 155. Wenhua, Y.,** David F., Jules R. et.al. Review and Comparison of Nano fluids Thermal Conductivity and Heat Transfer Enhancements// Heat Transfer Engineering. - 29(5). - 2008. - P. 432-460.
- 156. Turanov, A.,** Tolmachev Y. Ytat and masstransport in aqueous silica Nano fluids// Heat Mass Trasfer. – 45. - 2009. - P.1583-1588.

- 157. Charagozloo, P.,** Eaton J., Goodson K. Diffusion, aggregation, and the thermal conductivity of nanofluids// *Applied Physics Letters*. - 93. - 2008. - P.103-110.
- 158. Tsai, T.,** Kuo, L. Chen, P. et.al. Effect of viscosity of base fluid on thermal conductivity of nano fluids// *Applied Physics Letters*. 93. - 2008. - P. 233-121.
- 159. Nayak, A.,** Sing R., Kulkarni P. Thermal expansion characteristics of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids: More to understand than understudy// *Applied Physics Letters*. 94. - 2009. - P. 094-102.
- 160. Putnam, S.,** Cahill D., Braun P. et.al. Thermal conductivity of nanoparticles suspensions// *Journal Applied Physics*. - V.99. - Issue 8. - 2006.
- 161. Дмитриев, А.С.** Введение в нанотеплофизику./ А.С. Дмитриев. М. : БИНОМ. Лабораторная знаний. - 2015. – С. 790.
- 162. Patel, Y.,** Das S., Sundaragan T. et.al. Thermal conductivity of naked and monolayer protected metal nanoparticle based Nanofluids: Manifestation of anomalous enhancement and chemical effect// *Applied Physics Letters*. - 83. - 2003. - P. 2931-2933.
- 163. Xuan, Y.,** Li Q., Hu W. Aggregation structure and thermal conductivity of Nano fluids // *AIChE Journal* 1.49(4). - 2003. P.1038-1043.
- 164. Fan, J.,** Wang L. Effective thermal conductivity of Nano fluids: the effects of microstructure// *Journal Physics. D: Applied Physics*. -2010. - P. 10.
- 165. Yu, W.,** France M., Routbort J. et.al. Review and Comparison of Nano fluid thermal conductivity and Heat Transfer Enhancements // *Heat Transfer Engineering*. - 29(5). - 2008. - P. 432-460.
- 166. Xu, J.,** Yu B., Zou M. et.al. A new model for heat conduction of Nano fluids based on fractal distributions of nanoparticles // *Journal Physics. D: Applied Physics*. - 39. - 2006. – P. 448-690.
- 167. Володин, А.А.,** Чихирев, Д.В., Золотаренко, А.Д. и др. Формирование и свойства композитов оксидуглеродные нанотрубки. / Сборник научных статей “Наноструктуры в конденсированных средах” . – 2011. – С. 381.

168. **Назруллоев, А.С.** Влияние медных нанокompозитов на изменения теплопроводности воды и гидразингидрата/ М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Иман Бахроми Маниш, Т.Р. Тиллоева, Х.А. Зоиров, А.С. Назруллоев// Международная научнотехническая конференция «Пробл. ресурсо и энергосберегающих технологий в промышленности и АПК». - 2014. - С.155-159.
169. **Назруллоев, А.С.** Влияние наноамфотерных окисей на изменение теплоемкости жидкого гидразингидрата/ М.М. Сафаров, А.С. Назруллоев, Х.А. Зоиров, Н.Б. Давлатов // Труды международной научнотехнической конференции "Нанотехнология функциональных материалов (НФМ 2114)". - 24-28 июня 2014. - С. 39-41.
170. **Назруллоев, А.С.** Экспериментальная установка для определения электрофизических свойств электролитов в зависимости от давления/ М.М. Сафаров, А.С. Назруллоев// Материалы Девятой Международной теплофизической школы, Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий. – 6-11 октября 2014. - С. 278-282.
171. **Назруллоев, А.С.** Расчет и оптимизация теплового реактора с учетом интенсификации рабочего тела (гидразина+ фуллерен  $C_{60}$ ) и (моторное масло +силикагель)/ М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Д. А. Шарипов, Ф.Х. Насриддинов, А.С. Назруллоев//Матер. Рес. научнопрак. конф " Ломоносовские чтения", посвящ. 1150летию ученого в области химии и медицины Абубакра Закирие Рози (24-25 апреля 2014г.), Филиал МГУ. – 2014. - С. 26-28.
172. **Назруллоев, А.С.** Расчет коэффициента активности двухкомпонентных водных растворов / М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев, М.Ф. Курбонов, Н.Б. Давлатов, Д.С. Джураев // Матер. Девятой Межд. теплофиз. школы, Теплофиз. исслед. и измерения при контроле качес. веществ, материалов и издел. - 2014. - С. 461-465.

- 173. Назруллоев, А.С.** Термодинамические свойства и уравнения состояния бинарных водных растворов гидразина / М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев, Н.Б. Давлатов, Иман Бахром Маниш // Матер. Девятой Межд. теплофизич. школы, Теплофизич. исслед. и измер. при контр. качеств. веществ, матер. и изделий. - 2014. - С. 443-446.
- 174. Назруллоев, А.С.** Расчет аддитивной схемы теплоты сгорания компонентов азотсодержащего топлива / М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Иман Бахром Маниш, С.А. Тагоев, Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, Девятой Межд. теплофизической школы и теплофиз. исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий. - 2014. - С. 270-272.
- 175. Назруллоев, А.С.** Влияние оксида меди на изменение теплопроводности жидкого гидразина/ М.М. Сафаров М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев, Н. Б. Давлатов, Х.А. Зоиров, А.Ф. Тошов // Материалы Девятой Международной теплофизической школы, Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий. - 2014. - С. 273-277.
- 176. Назруллоев, А.С.** Теплоемкость и термодинамические функции некоторых основных оксидов и металлов. Обработка экспериментальных данных. / М.М. Сафаров, Х.А. Зоиров, М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев, Э.Ш. Тауров, Г.Н. Неъматов // Матер. Девятой Межд. теплофиз. школы, Теплофизич. исслед. и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий. - 2014. - С. 304-309.
- 177. Назруллоев, А.С.** Уравнения состояния типа Тейта для жидких растворов. Теплопроводность. / М.М. Сафаров, М.Ф. Курбонов, Ф.Б. Курбонов, Юсупов Ш.Т., Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, Д.А. Шарифов, Г.Н. Неъматов. // Матер. Девятой Межд. теплофизич. школы, Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий. – 2014. - С. 447-452.

- 178. Назруллоев, А.С.** Корреляция между внутренней энергией и плотностью гидразингидрата на линии насыщения /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Х.А. Зоиров, А.С. Назруллоев, М.Т. Тургунбоев, Иман Бахром Маниш // Материалы Девятой Международной теплофизической школы, Теплофизич. Исслед. и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий. – 2014. - С. 475-477.
- 179. Назруллоев, А.С.** Расчет коэффициента активности бинарных и тернарных жидкостей /М.М. Сафаров, Т.Р. Тиллоева, М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев //Матер.14<sup>ой</sup> Рос. конф. (с межд. участием) по теплофизич. свойствам веществ. - 2014. - Т.1. - С. 23-24.
- 180. Назруллоев, А.С.** Влияние наноамфотерных оксидов на изменение термодинамических и реологических свойств некоторых ракетных топлив. / М.М. Сафаров, А.С. Назруллоев, Н.Б. Давлатов, Иман Бахром Маниш // . - 2014. - С. 54-59.
- 181. Назруллоев, А.С.** Влияние некоторых наноамфотерных оксидов, Ag (99,99%) и фуллерена на изменение физикохимических свойств ракетных топлив (обзорэксперимент) /М.М. Сафаров, А.С. Назруллоев, Иман Бахром Маниш, Т.Р. Тиллоева, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова // Матер. Всерос. научнопракт. конф. (с межд. участием) «Актуал. проб. науки» Секция «Физикоматематические науки». – 2014. - С. 76-84.
- 182. Назруллоев, А.С.** Влияние наноамфотерных оксидов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ) на изменение плотности некоторых ракетных топлив (эксперимент и обзор)/ М. М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев // Матер. 7-ой Межд. научнопракт. конф. «Перспек. разв. науки и образ.», посвященной 20-летию Конст. РТ и 90 –летию г. Душанбе. - 2014. С. 151-154.
- 183. Назруллоев, А.С.** Влияние наночастицы фуллерен ( $C_{60}$ ) и  $Al_2O_3$  на изменение теплоемкости низкотемпературных топлив при различных температурах и давлениях // М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, // Материалы 7<sup>ой</sup> Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы развития

инновационной деятельности в новом тысячелетии». – 2014. - №7(11). - С. 42-45.

**184. Назруллоев, А.С.** Расчет коэффициента активности бинарных и тернарных жидкостей // М.М. Сафаров, Т.Р. Тиллоева, М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. - Т. 17. - № 20. - С. 63-67.

**185. Назруллоев, А.С.** Температуропроводность наножидкостей системы (64% $N_2H_4$ +36% $H_2O$ ) и нанонаполнителей //М.М. Сафаров, Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, М.А. Зарипова, Иман Бахроми Маниш //Вестник Таджикского национального университета. – 2014. - С.121-126.

**186. Назруллоев, А.С.** Влияние наночастицы фуллерен ( $C_{70}$ ), некоторых непреходных металлов и их оксидов на изменение теплопроводности низкотемпературных топлив при различных температурах и давлениях (Обзор и эксперимент) //М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Иман Бахроми Маниш, Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, Х.А. Зоиров //Материалы 5<sup>ой</sup> Международной научной Интернетконференции, Актуальные проблемы биохимии и бионанотехнологии. - 2014 . - С. 66-76 .

**187. Nazrulloev, A.S.** The thermal diffusivity of nanoliquids system (50% $N_2H_4$  +50% $H_2O$ ) and nanofillers/ N.B. Davlatov, A.S. Nazrulloev, M.A. Zaripova, Iman Bahrami Manish, Sh.A. Aminov //ICCE23, (July12-18, 2015 in Chengdu, China) [www.iccenano.org](http://www.iccenano.org)

**188. Назруллоев, А.С.** Влияние наночастиц на изменение теплопроводности гидразингидрата в зависимости от температуры при атмосферном давлении // М.М. Сафаров, Иман Бахроми Маниш, М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев, Т. Р.Тиллоева, Н.Б. Давлатов // Сборник материалов Международной научнопрактической конференции, посвященной 115летию персидского таджикского ученого-энциклопедиста, врача, алхимика и философа Абу Бакри Мухаммада ибн Закария Рози, Институт химии. - 2015. - С. 121-125.

- 189. Назруллоев, А.С.** Адсорбционные и теплофизические свойства наноструктурной пористой гранулированной окиси алюминия с различными фракциями // М.М. Сафаров, Мирзомамадов А.Г., Абдуназаров С.С., М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев, А. Нейматов // Сборник материалов Международной научнопрактической конференции, посвященной 115 летию персидскотаджикского ученогоэнциклопедиставрача, алхимика и философа Абу Бакри Мухаммада ибн Закария Рози, Институт химия. - 2015. - С.125-128.
- 190. Назруллоев, А.С.** Влияние нанопереходных металлов на изменение плотности водных растворов //М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Иман Бахроми Маниш, А.С. Назруллоев, Н.Б. Давлатов, Б.М. Махмадиев// Сборник тезисов докладов научной конференции «Актуальные проблемы современной науки», посвященной 70 летию Победы в Великой Отечественной Войне. - 2015. – Издво. “МИСиС”. - С. 80-81.
- 191. Назруллоев, А.С.** Влияние фуллерена  $C_{60}$  и амфотерных оксидов на изменение теплопроводности гидразинзамещенных ракетных топлив в критической области //М.М. Сафаров, Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, Х.А. Зоиров //Материалы Республиканской научнопрактической конференции «Экономическое развитие энергетики в Республике Таджикистан». - 2015. - С. 56-59.
- 192. Назруллоев, А.С.** Интенсификация азотосодержащих ракетных топлив с учетом добавки наночастиц и расчет их термодинамических характеристики//М.М. Сафаров, М.А.Зарипова, Н.Б.Давлатов, А.С.Назруллоев, Т.Р. Тиллоева, З.Н. Едалиева, М.М. Гуломов, Э.Ш. Тауров // Материалы 8<sup>ой</sup> Международной научнотехнической конференции «Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики». - 2015. - С. 517-522.
- 193. Назруллоев, А.С.** Влияние наноструктурных частиц на изменение термодинамических и адсорбционных свойств на линии увлажнения //М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев, М.М. Гуломов,

Н.Б.Давлатов, А.Г. Мирзомамадов, С.С. Абдуназаров, З.Ю. Норов //Тезисы докладов 10го Всероссийского симпозиума с международным участием, Термодинамика и материаловедение. Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе, РАН. - 2015. - С. 42.

**194. Назруллоев, А.С.** Исследование влияния наночастицы на изменение интенсификационных характеристик ракетных топлив// М.М. Сафаров, А.С. Назруллоев, Бахром И.М., Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова //Энерго и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: Материалы Международной науднотехнической конференции студентов, аспирантов, ученых. - 2015. - Т.3. - № 1. - С. 207-210.

**195. Назруллоев, А.С.** Влияние наночастицы фуллерен ( $C_{70}$ ) , некоторых непереходных металлов и их окисей на изменение теплопроводности низкотемпературных топлив при различных температурах и давлениях (обзор и эксперимент)// М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Н.Б. Давлатов, Б.М. Иман, А.С. Назруллоев, Х.А. Зоиров //В сборнике: Актуальные проблемы биохимии и бионанотехнологии V Международная научная Интернетконференция. - 2014. - С. 66-76.

**196. Назруллоев, А.С.** Влияние некоторых наноамфотерных оксидов, Ag (99,99%) и фуллерена на изменение физикохимических свойств ракетных топлив (обзорэксперимент)// М.М. Сафаров, А.С. Назруллоев, И.Б. Маниш, Т.Р. Тиллоева, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова //В сборнике: Актуальные проблемы науки Материалы I Всероссийской (заочной) научнопрактической конференции под общей редакцией А.И. Вострецова. - 2014. - С. 76-84.

**197. Назруллоев, А.С.** Кинетические, адсорбционные свойства пентэласта и некоторых нанопорошков с различными фракциями для технологических процессов получения сплавов // М.М. Сафаров, Норов З.Ю., Аминов Ш.А., Махмадиев Б.М., А.С. Назруллоев, Д.С.Джураев, С.Г.Ризоев, М.М.Холиков, Д.Ш. Хакимов // Физика, Научный журнал,

Институт физикотехнических проблем и материаловедения НАН Кыргызской Республики. – 2016. - С. 74-81.

**198. Назруллоев, А.С.** Адсорбционные и теплофизические свойства некоторых металлических, неметаллических наночастиц и их влияние на поведение растворителей // М.М. Сафаров, Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, А.Г. Мирзомамадов, Д.С. Джураев, М.М. Холиков, С.С. Рафиев // Вестник ТПИ ТТУ им. М.С. Осими, в г.Худжанд. - 2017. -С.123-128.

**199. Назруллоев, А.С.** Адсорбционные, теплофизические, термодинамические свойства некоторых наночастиц и их влияние на поведение теплоносителей // Назаров Х.Х., Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, М.А. Зарипова, Т.Р. Тиллоева, С.Г. Ризоев, З.Н. Едалиева, Д.С. Джураев, М.М. Холиков, Д.Ш. Хакимов, З.Ю. Норов, Д.А. Назирмадов, С.С. Рафиев // Материалы докладов 10<sup>ой</sup> школысеминара молодых учёных и специалистов академика РАН В.Е. Алемасова «Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении». -2016. - С. 217-220.

**200. Назруллоев, А.С.** Теплофизические свойства некоторых углеродных материалов// М.М. Сафаров, Назаров Х.Х., Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, М.А.Зарипова, Т.Р.Тиллоева, М.М. Гуломов, С.Г.Ризоев, Э.Ш.Тауров, Д.Ш. Хакимов, Д.А.Назирмадов, С.С.Рафиев, А.Р.Раджабов //Вестник Таджикского национального университета. – 2016. - 1/4 (216). - С. 40-45.

**201. Назруллоев, А.С.** Влияние некоторых катализаторов и масла на изменение термодинамических характеристик авиационного керосина / М.М. Сафаров, З.Ш. Асомиддинов, А.С. Назруллоев, Г.Н. Неъматов, С.Г. Ризоев, Э.Ш. Тауров, Д.Ш. Шарипов // Вестник Таджикского национального университета. – 2016. - 1/4 (216). - С. 187-193.

**202. Назруллоев, А.С.** Влияние некоторых наноамфотерных оксидов Ag (99,99%) и фуллерена на изменение физикохимических свойств ракетных

топлив (Обзор Эксперимент) // М.М. Сафаров, А.С. Назруллоев, Имам Бахроми Маниш, Т.Р. Тиллоева, Н.Б. Давлатов, М.А.Зарипова, С.Г. Ризоев, Ш.З. Нажмудинов // Материалы 10<sup>ой</sup> Международной теплофизической школы, 38 октября 2016 г., «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». - 2016. - С. 109-121.

**203. Nazrulloev, A.S.** Influence of carbon nanotubes,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , nanometalic to exchange thermophysical and thermodynamics properties of hydrazinehydrate (rocket fuel) in dependence temperature and pressures/ Kh.H. Nazarov, S.A.Tagoev, H.A. Zoirov, M.A. Zaripova, T.R. Tilloeva, A.S. Nazrulloev, S. G. Rizoev, A.G. Mirzomamadov, S.S.Abdunazarov, Z.U. Norov, D.Sh. Hakimov, D.A. Nazrimadov, B.M. Mahmadiyev, S.S. Rafiev, D.S. Juraev, M.M. Kholikov, N. B. Davlatov, Iman Bahromi Manish//Conference book, 10 ICTP, 38 october 2016 , «Thermophysical properties measurements in the quality control of substances, materials and products». - 2016. - P. 201-218.

**204. Назруллоев, А.С.** Определение коэффициента массоотдачи пентэласта при увлажнении водой / М.М.Сафаров, Х.Х. Назаров, Ш.А.Аминов, З.Ю. Норов, А.С. Назруллоев, А. Ньматов, Б.М. Махмадиев, С.С. Рафиев, Р.Д. Давлатов, С.К. Сафаров// Материалы 10<sup>ой</sup> Международной теплофизической школы, 38 октября 2016 г., «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». - 2016. - С. 326-334.

**205. Nazrulloev, A.S.** Temperature conductivity of hydrazine hydrate at the concentration of nanocatalic  $Ti_2O_3$ / М.А. Zaripova, H.A. Zoirov, S. A.Tagoev, T. R. Tilloeva, A.S. Nazrulloev, S.K.Safarov//Conference book, 10 ICTP, 38 October 2016, «Thermophysical properties measurements in the quality control of substances, materials and products». - 2016. - P. 372-376.

**206. Назруллоев, А.С.** Влияние некоторых наноамфотерных оксидов на изменение термодинамических свойств гидразинзамещенных топлив/

М.М. Сафаров, А.С. Назруллоев, Имам Бахроми Маниш, С.К. Сафаров, М.М. Гуломов // Материалы 10<sup>ой</sup> Международная теплофизическая школа, 38 октября 2016 г., «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». - 2016. - С. 424-432.

**207. Назруллоев, А.С.** Влияние некоторых наноамфотерных оксидов на изменение теплоемкости ракетных топлив (обзор-эксперимент) / М.М. Сафаров, А.С. Назруллоев // Материалы 8<sup>ой</sup> Международной научнопрактической конференции «Перспективы развития науки и образования», посвященной 25летию государственной независимости Республики Таджикистан и 60 летию ТТУ имени акад. М.С. Осими. - Ч. 2. - С. 181-183.

**208. Назруллоев, А.С.** Адсорбционные и теплофизические свойства некоторых металлических и неметаллических наночастиц и их влияние на поведение растворителей// М.М. Сафаров, А.С. Назруллоев, Д.С. Джураев, Н.Б. Давлатов, М.М. Холиков, С.С. Абдуназаров //Труды Международной конференции фундаментальных и прикладных вопросов физики, секция1: физика ядра и элементарных частиц, их прикладные аспекты, астрономия и астрофизика, АН Р Уз. - 2017. - С. 117-119.

**209. Nazrulloev, A.S.** Thermodynamic properties of nanofluids in dependence temperature and pressures/M.A. Zaripova, N.B. Davlatov, A.S.Nazrulloev, S.G. Rizoiev, A.,Nematov, D.S.Djuraev, M.T. Turgunboev, T.R.Tilloeva, S.S.Rafiev, D. Sh.Hakimov, M.M.Gulomov, M.A. Abdulloev, R.Dj.Davlatov//Book of Abstracts, 6<sup>th</sup> Rostock International Conference: THERMAL 2017 “Thermophysical Properties for Technical Thermodynamics” Institute of Technical Thermodynamics University of Rostock, Germany17 – 18 July. – 2017. - P. 77.

**210.Хироюки Науши,** Такаши Нишняма и Кодзи Такахаси. Теплопроводность многослойных углеродных нанотрубок. <http://www.nist.gov>

- 211. Javid, Safarov.** (P,ρ,T) зависимости ионных жидкостей. <http://www.nist.gov>
- 212. Timofeeva, E., Robourbort, J., Singh, D.** Particle shape effects on thermophysical properties of alumina Nanofluids// *Jornal Applied Physics*.106.014304.2009.
- 213. Лыков, А.В.** Теория теплопроводности// А.В. Лыков // *Выш.шк.* – 1967. – С. 559.
- 214. Голубев, И.Ф.** Бикалориметр для определения теплопроводности газов и жидкостей при высоких давлениях и различных температурах// И.Ф. Голубев // *Теплоэнергетика*1963. - №12. - С. 78-82.
- 215. Сафаров, М.М., Иноятов М.Б., Косимов У.У.** Влияние воды на поведение теплофизических свойств трансформаторного масла в зависимости от температуры (монография)// М.М. Сафаров, М.Б. Иноятов, У.У. Косимов // . - 2007. - С.120.
- 216. Михайлов, И.Г.** Основы молекулярной акустики./ И.Г. Михайлов, В.А. Соловьев, Ю.П. Сырников // . -1964. – С. 514.
- 217. Крижижановский, Р.Е.** Теплопроводность и электропроводность металлов и сплавов. / Р.Е. Крижижановский.// *Металлургия.* - 1967. – С. 285.
- 218. Дульнев, Г.Н., Заричняк Ю.П.** Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Справочная книга. / Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк // . - 1974. – С. 264.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

**Таблица П.2.2** - Исходные данные для количественной оценки доверительной границы погрешности измерения удельной теплоемкости по методу монотонного разогрева, а измерения проведено калориметрическим методом

№	Наименование	Величина
1	Величина тепловой проводимости тепломера $K_T(t_c)$	0,41
2	Погрешность определения тепловой проводимости тепломера $\Delta K_T$	0,001
3	Величина перепада температуры на тепломере $\Delta t_T(\tau)$ , К	2,5
4	Погрешность определения перепада температуры на тепломере $\sigma(\Delta t_T)$	0,01
5	Суммарная теплоемкость стакана $C_c(t_c)$ , Дж/К	3,2
6	Погрешность определения суммарной теплоемкости стакана $\Delta C_c$ , Дж/К	0,03
7	Скорость разогрева $b_c(\tau)$ , К/с	0,22
8	Погрешность определения скорости разогрева $\Delta b_c(\tau)$ , К	0,01
9	Доверительная граница погрешности измерений теплоемкости в относительной форме при $\alpha=0,95$ , %	2,2
10	Методическая погрешность, %	0,2
11	Инструментальная погрешность, %	0,3
12	Общая относительная погрешность измерения теплоемкости по методу монотонного разогрева, %	2,7

**Таблица П.3.1** - Экспериментальные значения теплоемкости ( $C_p$ , Дж/(кг·К)) исследуемых объектов в зависимости от температуры и концентрации наноструктурного оксида железа ( $Fe_2O_3$ , d=50нм) при атмосферном давлении

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	3470	3481	3492	3517	3543
0,15	3445	3456	3467	3481	3510
0,2	3419	3430	3441	3459	3477
0,25	3394	3402	3410	3427	3445
0,3	3369	3375	3381	3396	3412

Таблица П.3.2 - Экспериментальные значения теплоемкости ( $C_p, Дж/(кг \cdot K)$ ) исследуемых объектов в зависимости от температуры и концентрации наноструктурного оксида титана ( $TiO_2, d=50nm$ ) при атмосферном давлении

$m, 10^{-3} кг$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	3462	3472	3482	3503	3525
0,15	3432	3441	3451	3470	3490
0,2	3403	3411	3418	3434	3450
0,25	3374	3378	3383	3401	3418
0,3	3345	3350	3355	3370	3384

Таблица П.3.6 - Экспериментальные значения теплопроводности гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации наноструктурного оксида алюминия ( $Al_2O_3, d=50nm$ ) при атмосферном давлении

$m, 10^{-3} кг$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	374	390	407	418	430
0,15	394	404	414	424	433
0,2	403	413	423	431	439
0,25	426	432	439	443	448
0,3	437	443	448	451	454

Таблица П.3.7 - Теплопроводность ( $\lambda \cdot 10^3, Вт/(м \cdot K)$ ) гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации наноструктурного оксида титана ( $TiO_2, d=50nm$ ) при атмосферном давлении

$m, 10^{-3} кг$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	394	410	425	437	448
0,15	409	421	434	444	454
0,2	429	438	448	455	462
0,25	444	451	458	463	468
0,3	462	467	472	476	479

Таблица П.3.11 - Плотность ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) образца в зависимости от температуры и концентрации наноструктурного оксида алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, d=50нм) при атмосферном давлении

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	1043	1027	1011	1003	995
0,15	1052	1035	1018	1010	1001
0,2	1061	1043	1026	1018	1010
0,25	1069	1053	1036	1027	1018
0,3	1078	1060	1043	1035	1028

Таблица П.3.12 - Плотность ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) образца в зависимости от температуры и концентрации наноструктурного оксида железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, d=50нм) при атмосферном давлении

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	1041	1025	1008	1000	992
0,15	1046	1030	1014	1006	998
0,2	1053	1038	1023	1015	1007
0,25	1061	1047	1033	1023	1018
0,3	1064	1050	1036	1029	1023

Таблица П.3.13 – Термодинамические свойства системы гидразингидрат + наноструктурный оксид железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, d=50нм) в зависимости от температуры при атмосферном давлении

Т, К	$\Delta H$ , кДж/кг	$\Delta U$ , кДж/кг	$\Delta S$ , Дж/кг·К	$\Delta \varphi$ , Дж/кг	$\Delta F$ , Дж/кг
при $\rho = 1041 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					
313	52,215	52,118	170,952	1292,976	1389,976
323	87,30	87,203	281,315	3564,745	3661,745
333	123,095	122,998	390,563	6962,479	7059,479
348	177,15	177,053	549,555	13747,14	14192,14
при $\rho = 1046 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.15 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					

Продолжение таблицы 3.13

313	51,84	51,743	169,724	1283,612	1380,612
323	86,675	86,578	279,301	3539,223	3635,223
333	121,835	121,738	386,565	6891,145	6988,145
348	175,50	175,403	544,436	13963,728	14060,728
при $\rho = 1053 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					
313	51,45	51,354	168,447	1273,911	1369,911
323	86,025	85,929	277,207	3512,861	3608,861
333	121,065	120,969	384,122	6847,626	6943,626
348	173,85	173,754	539,32	13833,36	13929,36
при $\rho = 1061 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.25 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					
313	51,03	50,935	167,072	1263,536	1358,536
323	85,25	85,155	274,71	3481,33	3576,33
333	119,945	119,85	380,568	6784,144	6879,144
348	172,250	172,155	534,354	13705,192	13800,192
при $\rho = 1064 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					
313	50,625	50,530	165,746	1253,498	1348,498
323	84,525	84,43	272,373	3451,479	3546,479
333	118,86	118,765	377,126	6722,958	6817,958
348	170,60	170,505	529,235	13573,78	13668,78

Таблица П.3.14 -Термодинамические свойства системы гидразингидрат + наноструктурный оксид титана ( $\text{TiO}_2$ ,  $d=50\text{нм}$ ) в зависимости от температуры при атмосферном давлении

Т, К	$\Delta H$ , кДж/кг	$\Delta U$ , кДж/кг	$\Delta S$ , Дж/кг·К	$\Delta \varphi$ , Дж/кг	$\Delta F$ , Дж/кг
при $\rho = 1039 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					
313	52,08	51,983	170,51	1289,63	1386,63
323	87,05	86,953	280,51	3554,73	3651,73
333	122,605	122,508	389,008	6934,664	7031,664
348	176,25	176,153	546,763	14023,524	14120,524
при $\rho = 1043 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.15 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					

Продолжение таблицы 3.14

313	51,615	51,518	168,987	1277,931	1374,931
323	86,275	86,178	278,013	3523,199	3620,199
333	121,45	121,353	385,343	6869,219	6966,219
348	174,5	174,403	541,334	13884,232	13981,232
при $\rho = 1048 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					
313	51,165	51,069	167,514	1266,882	1362,882
323	85,45	85,354	275,354	3489,342	3585,342
333	120,19	120,094	381,346	6798,218	6894,218
348	172,5	172,404	535,129	13724,892	13820,892
при $\rho = 1055 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.25 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					
313	50,67	50,574	165,894	1254,691	1350,691
323	84,575	84,479	272,534	3453,64	3549,64
333	119,035	118,939	377,681	6732,79	6828,79
348	170,90	170,804	530,166	13597,76	13693,76
при $\rho = 1061 \text{ кг/м}^3$ ; $m = 0.3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$					
313	50,25	50,155	164,52	1244,29	1339,29
323	83,875	83,78	270,28	3425,05	3520,05
333	117,95	117,855	373,937	6571,047	6666,047
348	169,20	169,105	524,892	13462,5	13557,5

Таблица П.4.1 - Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплоемкости ( $C_p, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ) системы гидразингидрат + ( $\text{Al}_2\text{O}_3, d=50\text{нм}$ ) в зависимости от температуры по формуле 4.33

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Т, К								
	298			313			323		
	$C_{\text{экс}}$	$C_{\text{выч}}$	%	$C_{\text{экс}}$	$C_{\text{выч}}$	%	$C_{\text{экс}}$	$C_{\text{выч}}$	%
0,1	3478	3494	0,5	3492	3504	0,3	3506	3515	0,3
0,15	3458	3466	0,2	3471	3477	0,2	3484	3487	0,1
0,2	3438	3439	0,03	3449	3449	0	3460	3460	0
0,25	3418	3412	0,2	3430	3422	0,2	3442	3432	0,3
0,3	3398	3384	0,4	3406	3394	0,3	3414	3405	0,3

Продолжение таблицы 4.1

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Т, К					
	333			348		
	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%
0,1	3536	3529	0,2	3566	3556	0,3
0,15	3508	3502	0,2	3532	3528	0,1
0,2	3489	3474	0,4	3518	3500	0,5
0,25	3461	3446	0,4	3480	3472	0,2
0,3	3432	3419	0,4	3450	3444	0,2

Таблица П.4.2 - Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплоемкости ( $C_p, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ) системы гидразингидрат + ( $\text{TiO}_2, d=50\text{нм}$ ) в зависимости от температуры по формуле 4.33

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Т, К								
	298			313			323		
	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%
0,1	3462	3452	0,2	3472	3462	0,3	3482	3473	0,3
0,15	3432	3425	0,4	3441	3435	0,4	3451	3445	0,5
0,2	3403	3378	0,5	3411	3407	0,5	3418	3418	0,7
0,25	3374	3370	0,6	3378	3380	0,7	3383	3391	0,8
0,3	3345	3343	0,7	3350	3353	0,7	3355	3363	0,8

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Т, К					
	333			348		
	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%
0,1	3503	3486	0,4	3525	3513	0,5
0,15	3470	3459	0,3	3490	3485	0,6
0,2	3434	3432	0,7	3450	3457	0,8
0,25	3401	3404	0,7	3418	3430	0,8
0,3	3370	3376	0,8	3384	3402	0,8

**Таблица П.4.3** - Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплопроводности ( $\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ) системы гидразингидрат+( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $d=50\text{нм}$ ) в зависимости от температуры по формуле 4.26

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Т, К								
	2			3			4		
	298			313			323		
	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%
0,1	374	377	0,8	390	391	0,3	407	399	2
0,15	394	388	1,5	404	403	0,2	414	411	0,7
0,2	403	399	1	413	415	0,5	423	423	0
0,25	426	411	3,6	432	427	1,2	439	435	0,9
0,3	437	422	3,5	443	439	0,9	448	447	0,2
$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Т, К								
	333			348					
	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%			
0,1	418	404	3,4	430	418	3,5			
0,15	424	416	1,9	433	420	3,1			
0,2	431	428	0,7	439	433	1,4			
0,25	443	441	0,4	448	445	0,7			
0,3	451	453	0,4	454	457	0,5			

**Таблица П.4.14** - Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплоемкости ( $C_p, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ) системы гидразингидрат+( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $d=50\text{нм}$ ) в зависимости от температуры по формуле 4.44

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	P, МПа											
	0,101			0,108			0,114			0,121		
	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	
0,1	3473	3561	2,5	3467	3502	1	3411	3450	1,1	3366	3391	
0,15	3453	3511	1,6	3383	3452	2	3352	3402	1,5	3281	3343	
0,2	3425	3470	1,3	3354	3412	1,7	3296	3362	2	3264	3304	
0,25	3398	3478	2,3	3320	3380	1,8	3287	3331	1,3	3253	3273	

Продолжение таблицы 4.14

0,3	3374	3414	1,2	3306	3357	1,5	3268	3309	1,2	3227	3251
$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Р, МПа										
	0,128			0,135			0,141				
	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%	$C_{\text{ЭКС}}$	$C_{\text{ВЫЧ}}$	%		
0,1	3289	3331	1,3	3253	3272	0,6	3241	3221	0,6		
0,15	3276	3285	0,3	3239	3226	0,4	3172	3176	0,1		
0,2	3206	3246	1,2	3169	3188	0,6	3127	3139	0,4		
0,25	3190	3216	0,8	3146	3158	0,4	3106	3110	0,1		
0,3	3158	3194	1,1	3115	3137	0,7	3082	3089	0,2		

Таблица П.4.18 - Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплопроводности ( $\lambda \cdot 10^3, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ) системы гидразингидрат + ( $\text{TiO}_2$ ,  $d=50\text{ нм}$ ) в зависимости от температуры по формуле 4.43

$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Р, МПа											
	0,101			0,108			0,114			0,121		
	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%									
0,1	394	379	3,9	398	390	2	404	400	1	407	411	1
0,15	409	392	4,3	416	403	3,2	420	413	1,7	432	425	1,6
0,2	429	405	5,9	434	417	4	438	427	2,6	443	429	3,2
0,25	444	419	5,9	447	431	3,7	450	442	1,8	454	454	0
0,3	462	444	4	466	446	4,5	469	458	2,4	471	470	0,2
$m, 10^{-3} \text{ кг}$	Р, МПа											
	0,128			0,135			0,141					
	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%			
0,1	412	422	2,4	416	433	3,9	421	443	4,9			
0,15	428	436	1,8	433	448	3,3	438	457	4,1			
0,2	447	451	0,9	452	463	2,4	455	473	3,8			
0,25	459	467	1,7	463	479	3,3	466	489	4,7			
0,3	474	483	1,8	478	496	3,6	482	507	4,9			

Таблица П.3.1 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг.К)) наножидкости системы (гидразингидрат+ $Al_2O_3$ ,  $d=30$ нм) при различных температурах, давлениях и концентрациях нанодобавок

Т,К	Давление Р, МПа						
	2	3	4	5	6	7	8
1	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. $Al_2O_3$							
293.4	3498	3490	3490	3470	3460	3450	3440
313.5	3556	3510	3500	3490	3480	3470	3460
333.4	3549	3535	3528	3520	3510	3492	3480
363.0		3572	3560	3550	3540	3530	3518
393.5		3608	3592	3586	3574	3560	3550
423.6		3640	3630	3620	3610	3600	3583
453.2		3678	3664	3655	3640	3630	3620
483.4		3720	3720	3690	3678	3660	3650
513.0		3746	3738	3728	3716	3704	3680
543.2		3780	3770	3760	3750	3736	3718
573.0		3818	3800	3790	3780	3765	3750
Гидразингидрат +0,15г. $Al_2O_3$							
293.3	3472	3461	3450	3440	3428	3416	3400
313.4	3495	3480	3470	3460	3448	3430	3420
333.5	3518	3500	3490	3480	3465	3453	3440
363.2		3532	3520	3510	3496	3480	3470
393.0		3570	3550	3540	3528	3510	3500
423.2		3600	3583	3570	3566	3546	3530
453.4		3630	3618	3600	3587	3557	3560
483.9		3662	3649	3632	3618	3600	3586
513.4		3694	3678	3660	3648	3628	3613
543.7		3728	3710	3690	3678	3660	3642

Продолжение таблицы 3.1

573.2		3760	3740	3720	3708	3672	3690
Гидразингидрат +0,2г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.6	3460	3450	3440	3420	3410	3394	3380
313.0	3482	3470	3460	3440	3436	3420	3400
333.4	3510	3490	3483	3470	3456	3440	3425
363,0		3536	3525	3508	3490	3478	3460
393,4		3590	3560	3540	3530	3510	3495
423,3		3608	3598	3580	3568	3546	3530
453,0		3650	3636	3615	3600	3580	3540
423,6		3580	3670	3655	3638	36200	3600
513,0		3720	3708	3680	3670	3653	3630
543,2		3758	3740	3730	3728	3690	3660
Гидразингидрат +0,25г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.0	3450	3412	3400	3385	3370	3360	3340
313.3	3466	3446	3432	3410	3400	3390	3370
333.0	3500	3480	3464	3440	3428	3410	3395
363.2		3524	3508	3490	3475	3460	3440
393.5		3566	3550	3535	3520	3506	3480
413.6		3617	3597	3580	3560	3548	3508
453.0		3660	3642	3623	3608	3590	3572
473.5		3710	3690	3668	3650	3630	3612
513.2		3756	3730	3710	3690	3678	3640
543.0		3800	3780	3760	3740	3720	3702
573.0		3845	3822	3800	3788	3770	3746
Гидразингидрат +0,3г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.0	3441	3430	3420	3410	3390	3380	3360
313.4	3468	3460	3446	3430	3410	3400	3380
333.0	3490	3480	3467	3450	3437	3420	3406

Продолжение таблицы 3.1

363.4		3520	3502	3790	3470	3452	3440
393.8		3556	3537	3521	3503	3486	3470
423.5		3580	3572	3560	3540	3520	3500
443.4		3598	3578	3572	3560	3540	3520
473.8		3650	3630	3618	3600	3578	3560
513.6		3690	3677	3660	3640	3620	3600
543.9		3735	3714	3700	3675	3654	3612
573.6		3760	3740	3720	3700	3683	3640

Таблица П.3.2 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг.К)) наножидкость системы (гидразингидрат+ $Al_2O_3$ ,  $d=50$ нм) при различных температурах, давлениях и концентрациях нанодобавок.

Т, к	Давление Р, МПа						
	2	3	4	5	6	7	8
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. $Al_2O_3$							
293.6	3478	3470	3460	3446	3434	3424	3410
313.2	3500	3490	3480	3470	3458	3442	3430
333.6	3528	3512	3502	3490	3480	3466	3454
363.5		3550	3540	3530	3516	3500	3490
393.0		3590	3570	3562	3550	3540	3520
423.5		3623	3610	3600	3587	3572	3552
453.0		3660	3650	3638	3620	3604	3589
483.4		3700	3687	3671	3660	3640	3620
513.7		3730	3720	3708	3690	3652	3636
543.6		3766	3750	3740	3730	3708	3684
573.0		3800	3790	3780	3764	3740	3720
Гидразингидрат +0,15г. $Al_2O_3$							
293.0	3458	3442	3430	3416	3400	3386	3370

Продолжение таблицы П.3.2

313.4	3472	3460	3443	34430	3418	3400	3384
333.8	3484	3472	3460	3448	3430	3412	3400
363.9		3500	3480	3470	3450	3440	3420
393.5		3524	308	3490	3476	3460	3440
423.7		3548	3533	3516	3498	3480	3460
453.6		3572	3554	3538	3518	3500	3480
483.7		3596	3580	3556	3540	3520	3506
513.5		3620	3606	3580	3562	3545	3523
543.6		3644	3624	3603	3583	3562	3548
573.5		3670	3650	3627	3608	3584	3570
Гидразингидрат +0,2г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.4	3438	3420	3410	3392	3380	3362	3348
313.7	3460	3440	3430	3420	3400	3390	3370
333.7	3490	3464	3458	3440	3422	3410	3395
363.8		3504	3492	3478	3460	3440	3420
393.2		3540	3528	3512	3496	3480	3460
423.4		3578	3560	3548	3530	3513	3500
453.6		3618	3600	3584	3568	3550	3512
483.5		3650	3636	3618	3600	3584	3568
513.6		3690	3670	3660	3635	3620	3600
543.0		3724	3708	3690	3670	3654	3640
573.5		3760	3742	3728	3706	3688	3670
Гидразингидрат +0,25г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.3	3418	3410	3396	3384	3370	3360	3343
313.0	3442	3434	3418	3403	3390	3380	3364
333.8	3464	3450	3436	3422	3410	3399	3383
363.7		3482	3463	3450	3438	3428	3410
393.0		3512	3498	3483	3470	3458	3440

Продолжение таблицы П.3.2

423.7		3544	3527	3516	3500	3486	3475
453.0		3573	3554	3543	3530	3518	3500
483.5		3606	3584	3570	3558	3545	3530
513.6		3637	3617	3600	3592	3578	3560
543.2		3668	3644	3631	3620	3604	3585
513.7		3700	3678	3663	3650	3635	3620
Гидразингидрат +0,3г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.0	3398	3390	3380	3367	3356	3340	3335
313.5	3420	3414	3400	3386	3370	3360	3350
333.4	3440	3430	3418	3400	3390	3378	3364
363.7		3460	3448	3430	3420	3400	3390
393.0		3485	3472	3460	3446	3428	3418
423.5		3518	3503	3485	3470	3458	3440
453.6		3546	3530	3518	3500	3480	3467
483.7		3580	3560	3540	3525	3510	3490
513.0		3607	3586	3570	3550	3536	3518
543.4		3636	3615	3598	3580	3560	3540
573.3		3662	3643	3620	3607	3588	3568

Таблица П.3.3 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг.К)) наножидкости системы (гидразингидрат+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, d=60нм) при различных температурах, давлениях и концентрациях нанодобавок

Т,к	Давление P, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.0	3440	3420	3405	3380	3365	3348	3331
313.6	3468	3448	3430	3400	3390	3374	3355
333.8	3490	3470	3455	3430	3410	3390	3380
363.0		3510	3496	3467	3450	3430	3418

Продолжение таблицы П.3.3

393.4		3544	3524	3508	3486	3470	3450
423.8		3580	3560	3540	3520	3506	3490
453.4		3618	3598	3588	3560	3540	3520
483.9		3652	3630	3613	3590	3580	3560
513.5		3690	3667	3650	3636	3618	3600
543.7		3728	3706	3689	3668	3655	3637
573.2		3770	3740	3720	3709	3690	3650
Гидразингидрат +0,15г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.6	3420	3412	3390	3380	3368	3350	3340
313.2	3448	3436	3420	3400	3393	3378	3360
333.6	3469	3460	3440	3430	3412	3400	3382
363.7		3498	3480	3468	3450	3436	3421
393.8		3536	3520	3500	3484	3470	3453
423.7		3572	3558	3540	3522	3507	3490
453.7		3610	3590	3578	3560	3540	3524
483.8		3644	3626	3610	3597	3580	3560
513.7		3700	3684	3650	3632	3616	3600
543.9		3720	3700	3684	3670	3650	3635
573.8		3768	3740	3720	3700	3684	3668
Гидразингидрат +0,2г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.4	3400	3386	3370	3358	3345	3330	3318
313.7	3420	3400	3390	3380	3362	3348	3336
333.5	3440	3420	3410	3398	3380	3368	3352
363.9		3452	3440	3426	3417	3400	3380
393.7		3480	3468	3456	3440	3422	3408
423.4		3516	3500	3487	3467	3453	3438
453.7		3542	3530	3516	3496	3480	3461
483.6		3574	3560	3544	3526	3508	3490

Продолжение таблицы П.3.3

513.9		3600	3588	3570	3536	3540	3520
543.5		3638	3620	3606	3582	3563	3540
573.6		3660	3646	3632	3610	3593	3574
Гидразингидрат +0,25г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.3	3380	3370	3355	3340	3324	3310	3290
313.7	3400	3386	3375	3360	3340	3328	3310
333.8	3422	3410	3394	3378	3360	3348	3326
363.0		3440	3422	3410	3390	3378	3357
393.7		3468	3450	3440	3420	3406	3380
423.6		3498	3480	3463	3448	3432	3410
443.7		3526	3512	3496	3480	3460	3440
473.9		3558	3538	3521	3506	3488	3470
513.4		3583	3568	3550	3536	3518	3499
543.8		3613	3597	3580	3560	3544	3525
573.2		3640	3626	3610	3590	3573	3554
Гидразингидрат +0,3г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.1	3360	3350	3338	3320	3306	3290	3270
313.5	3380	3370	3358	3340	3324	3310	3290
333.8	3400	3388	3376	3360	3340	3326	3307
363.4		3420	3406	3388	3374	3358	3340
393.7		3450	3436	3420	3400	3384	3365
423.6		3480	3462	3447	3430	3412	3394
443.5		3510	3490	3480	3460	3440	3420
473.8		3540	3520	3504	3488	3470	3450
513.2		3570	3552	3538	3518	3500	3480
543.4		3600	3580	3563	3548	3530	3510
573.5		3628	3610	3596	3578	3560	3540

Таблица П.3.4 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг.К)) наножидкости системы (гидразингидрат +  $Al_2O_3$ ,  $d=70$ нм) при различных температурах, давлениях и концентрациях нанодобавок

Т,К	Давление Р, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. $Al_2O_3$							
293.2	3415	3400	3390	3370	3360	3348	3330
313.5	3440	3420	3407	3390	3380	3366	3350
333.8	3454	3460	3440	3420	3410	3390	3360
363.0		3470	3452	3440	3420	3410	3385
393.4		3498	3480	3460	3450	3430	3418
423.8		3524	3508	3490	3477	3460	3440
453.5		3574	3538	3520	3500	3483	3468
483.7		3586	3560	3548	3530	3518	3496
513.8		3618	3590	3578	3560	3538	3520
543.7		3640	3620	3606	3580	3566	3544
573.4		3670	3646	3630	3610	3590	3573
Гидразингидрат +0,15г. $Al_2O_3$							
293.3	3400	3390	3373	3360	3340	3328	3312
313.6	3418	3406	3390	3380	3360	3340	3318
333.7	3434	3420	3400	3390	3372	3358	3340
363.4		3450	3430	3410	3400	3380	3364
393.0		3474	3460	3440	3418	3400	3385
423.7		3498	3480	3460	3442	3423	3410
453.6		3520	3500	3484	3460	3450	3430
483.6		3550	3530	3510	3790	3477	3450
513.8		3577	3555	3532	3514	3492	3477
543.3		3600	3578	3563	3540	3500	3480
573.2		3620	3600	3580	3560	3540	3520
Гидразингидрат +0,2г. $Al_2O_3$							

Продолжение таблицы П.3.4

293.1	3380	3367	3354	3340	3328	3313	3300
313.7	3400	3380	3370	3360	3340	3330	3320
333.5	3420	3400	3384	3370	3360	3340	3330
363.6		3424	3412	3398	3380	3366	3354
393.4		3450	3440	3420	3408	3390	3378
423.5		3480	3464	3450	3430	3418	3400
453.6		3500	3490	3470	3452	3440	3420
483.7		3530	3512	3500	3480	3460	3444
513.2		3560	3540	3520	3500	3480	3460
543.6		3580	3560	3543	3521	3500	3486
573.2		3610	3590	3570	3550	3528	3510
Гидразингидрат +0,25г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.4	3360	3350	3336	3320	3300	3280	3260
313.7	3385	3370	3360	3340	3320	3300	3280
333.8	3410	3390	3380	3360	3340	3320	3304
363.7		3430	3410	3390	3375	3360	3340
393.4		3460	3450	3430	3410	3390	3372
423.7		3500	3483	3460	3440	3420	3403
453.8		3530	3514	3495	3473	3458	3440
483.7		3550	3530	3515	3490	3470	3450
513.9		3608	3580	3560	3540	3520	3503
543.6		3640	3618	3600	3550	3558	3540
573.3		3675	3650	3637	3610	3590	3570
Гидразингидрат +0,3г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.5	3330	3310	3300	3280	3260	3240	3224
313.6	3350	3330	3310	3300	3280	3260	3240
333.7	3375	3350	3330	3310	3300	3280	3260
363.9		3380	3360	3343	3320	3310	3292

Продолжение таблицы П.3.4

393.7		3410	3390	3370	3354	3340	3320
423.0		3438	3420	3400	3380	3368	3350
453.4		3476	3447	3428	3410	3390	3380
483.6		3492	3478	3460	3440	3420	3410
513.7		3520	3500	3484	3470	3450	3440
543.5		3550	3530	3524	3492	3480	3464
573.0		3578	3560	3540	3523	3510	3490

Таблица П.3.5 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг.К)) наножидкости системы (гидразингидрат+ $Al_2O_3$ ,  $d=90$ нм) при различных температурах, давлениях и концентрациях нанодобавок

Т,К	Давление P, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. $Al_2O_3$							
293.4	3395	3382	3368	3354	3338	3320	3308
313.6	3418	3400	3384	3370	3354	3340	3328
333.8	3434	3420	3410	3390	3372	3360	3342
363.4		3455	3438	3420	3408	3390	3358
393.7		3482	3464	3450	3433	3420	3402
423.6		3513	3493	3480	3460	3450	3436
453.2		3546	3528	3510	3493	3482	3462
483.4		3576	3560	3540	3523	3510	3490
513.0		3608	3590	3574	3552	3540	3520
543.7		3638	3520	3600	3586	3566	3530
573.4		3670	3648	3638	3612	3600	3580
Гидразингидрат +0,15г. $Al_2O_3$							
293.2	3375	3356	3340	3320	3300	3280	3258
313.7	3498	3370	3358	3338	3316	3296	3275
333.4	3410	3390	3370	3353	3338	3312	3284

Продолжение таблицы П.3.5

363.7		3420	3400	3384	336	3340	3320
393.8		3443	3430	3410	3390	3367	3342
423.4		3482	3450	3430	3420	3390	3370
453.6		3500	3480	3460	3440	3420	3400
483.3		3528	3510	3490	3470	3440	3420
513.5		3560	3538	3520	3500	3476	3450
543.2		3580	3560	3548	3523	3500	3480
573.8		3610	3590	3580	3550	3522	3500
Гидразингидрат +0,2г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.6	3350	3340	3320	3306	3290	3270	3260
313.8	3378	3360	3340	3320	3300	3290	3280
333.9	3390	3380	3370	3340	3320	3308	3290
363.8		3400	3380	3368	3350	3330	3320
393.3		343.0	3410	3388	3379	3360	3340
423.8		3450	3440	3420	3400	3386	3370
453.7		3486	3460	3440	3430	3410	3390
483.0		3513	3490	3478	3450	3440	3420
513.7		3530	3510	3484	3480	3460	3450
543.7		3560	3540	3520	3510	3490	3470
573.8		3590	3570	3550	3528	3510	3500
Гидразингидрат +0,25г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.7	3350	3340	3320	3308	3282	3268	3250
313.8	3373	3360	3348	3332	3310	3290	3270
333.7	3390	3382	3368	3354	3332	3316	3300
363.9		3420	3400	3390	3370	3350	3334
393.7		3452	3438	3420	3400	3384	3370
423.8		3490	3480	3460	3440	3420	3400
453.7		3520	3500	3490	3470	346	3440

Продолжение таблицы П.3.5

483.4		3558	3540	3520	3508	3490	3476
513.7		3590	3574	3560	3542	3526	3510
543.6		3620	3607	3595	3580	3560	3542
573.3		3660	3640	3627	3614	3600	3580
Гидразингидрат +0,3г. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
293.4	3320	3310	3290	3275	3256	3238	3220
313.8	3350	3320	3310	3294	3278	3256	3240
333.5	3358	3340	3320	3310	3290	3275	3258
363.7		3370	3350	3340	3320	3300	3284
393.0		3400	3380	3360	3346	3330	3315
423.2		3426	3406	3390	3378	3360	3340
453.8		3455	3430	3420	3400	3376	3368
483.8		3480	3460	3448	3430	3410	3397
513.6		3508	3490	3477	3456	3440	3420
543.9		3538	3516	3500	3480	3466	3450
573.7		3560	3540	3530	3510	3492	3480

Таблица П.3.6 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг.К)) наножидкости системы (гидразингидрат+TiO<sub>2</sub>, d=30нм) при различных температурах, давлениях и концентрациях нанодобавок

Т,К	Давление P, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. TiO <sub>2</sub>							
293.4	3492	3480	3460	3440	3418	3394	3370
313.7	3506	3495	3478	3456	3430	3411	3390
333.6	3533	3512	3493	3478	3450	3430	3410
363.7		3540	3520	3500	3480	3460	3440
393.4		3570	3550	3530	3508	3490	3468
423.5		3593	3580	3560	3540	3518	3500

Продолжение таблицы П.3.6

453.4		3620	3600	3588	3563	3542	3525
483.7		3650	3630	3618	3594	3570	3552
513.9		3676	3655	3640	3620	3600	3583
543.4		3700	3680	3667	3650	3630	3610
573.7		3728	3712	3700	3668	3656	3640
Гидразингидрат +0,15г. TiO <sub>2</sub>							
293.3	3462	3442	3424	3408	3382	3364	3348
313.4	3471	3460	3446	3423	3405	3383	3370
333.5	3500	3482	3460	3442	3423	3403	3382
363.4		3510	3490	3478	3456	3438	3418
393.6		3540	3520	3500	3480	3460	3442
423.7		3570	3550	3530	3510	3490	3470
453.4		3595	3578	3560	3540	3520	3500
483.7		3623	3600	3586	3570	3550	3530
513.6		3660	3638	3620	3600	3580	3560
543.2		3682	3663	3650	3630	3610	3590
573.6		3716	3696	3680	3660	3640	3620
Гидразингидрат +0,2г. TiO <sub>2</sub>							
293.0	3433	3416	3400	3380	3360	3340	3326
313.6	3441	3432	3412	3400	3380	3360	3340
333.7	3464	3444	3430	3413	3397	3380	3360
363.0		3472	3460	3440	3420	3400	3386
393.4		3500	3480	3463	3440	3426	3408
423.7		3520	3507	3490	3470	3432	3418
453.4		3546	3530	3510	3490	3478	3460
483.5		3572	3560	3540	3520	3500	3480
513.7		3600	3580	3560	3540	3524	3508
543.4		3620	3609	3586	3568	3550	3536

Продолжение таблицы П.3.6

573.6		3648	3629	3610	3590	3578	3558
Гидразингидрат +0,25г. TiO <sub>2</sub>							
293.4	3400	3390	3378	3357	3340	3320	3300
313.0	3418	3407	3390	3370	3358	3340	3320
333.8	3431	3421	3408	3392	372	3356	3338
363.4		3450	3432	3416	3400	3380	3360
393.7		3500	3480	3463	3448	3430	3410
423.5		3520	3510	3490	3480	3456	3440
453.0		3550	3536	3518	3500	3480	3460
483.2		3576	3560	3540	3520	3500	3482
513.4		3600	3580	3564	3544	3525	3510
543.7		3620	3608	3590	3570	3550	3538
573.6		3650	3630	3616	3600	3580	3560
Гидразингидрат +0,3г. TiO <sub>2</sub>							
293.0	3375	3360	3346	3322	3308	3590	3270
313.7	3386	3375	3358	3332	3318	3300	3280
333.4	3400	3384	3366	3348	3328	3310	3290
363.7		3400	3388	3364	3348	3330	3310
393.5		3420	3400	3380	3365	3346	3328
423.4		3440	3420	3400	3383	3364	3348
453.7		3460	3440	3420	3400	3380	3362
483.4		3480	3460	3440	3420	3400	3380
513.6		3498	3480	3460	3440	3420	3400
543.4		3518	3500	3478	3459	3440	3420
573.0		3536	3518	3493	3476	3458	3440

Таблица П.3.7 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг.К)) наножидкости системы (гидразингидрат+TiO<sub>2</sub>, d=50nm) при различных температурах, давлениях и концентрациях нанодобавок

Т, К	Давление P, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. TiO <sub>2</sub>							
293.0	3462	3448	3424	3400	3387	3362	3343
313.6	3580	3460	3440	3420	3400	3380	3360
333.7	3501	3480	3460	3440	3420	3400	3380
363.2		3508	3482	3463	3444	3422	3407
393.4		3537	3510	3492	3470	3450	3436

Продолжение таблицы П.3.7

423.5		3560	3540	3520	3500	3480	3860
453.7		3583	3562	3543	3524	3506	3490
483.3		3618	3590	3574	3550	3530	3520
513.7		3640	3620	3602	3580	3660	3640
543.6		3663	3642	3622	3605	3587	3570
573.8		3690	3674	3650	3630	3610	3600
Гидразингидрат +0,15г. TiO <sub>2</sub>							
293.3	3441	3420	3400	3380	3360	3340	3320
313.4	3450	3440	3420	3400	3380	3360	3340
333.5	3485	3460	3440	3420	3400	3380	3360
363.4		3496	3473	3452	3430	3410	3390
393.6		3522	3500	3480	3460	3440	3426
423.7		3556	3536	3520	3496	3480	3460
453.4		3587	3574	3548	3523	3510	3490
483.7		3620	3600	3580	3560	3540	3520
513.6		3650	3630	3610	3590	3570	3556
543.2		3680	3660	3640	3620	3600	3587
573.6		3718	3698	3678	3658	3638	3618
Гидразингидрат +0,2г. TiO <sub>2</sub>							
293.1	3419	3403	3382	3360	3340	3324	3308
313.4	3430	3410	3390	3370	3360	3340	3320
333.7	3456	3436	3420	3396	3377	3360	3340
363.4		3460	3440	3420	3400	3384	3370
393.7		3483	3468	3447	3426	3418	3400
423.0		3516	3496	3480	3460	3440	3420
453.7		3540	3518	3500	3480	3472	3450
483.0		3562	3540	3520	3508	3490	3476
513.6		3590	3570	3550	3538	3518	3500
543.2		3616	3598	3578	3558	3543	3530
573.6		3640	3620	3600	3590	3570	3556
Гидразингидрат +0,25г. TiO <sub>2</sub>							
293.4	3392	3380	3360	3338	3318	330	3280
313.0	3403	3390	3370	3350	3330	3310	3294
333.5	3426	3405	3383	3364	3347	3325	3308
363.7		3420	3403	3382	3360	3348	3330
393.4		3444	3425	3412	3386	3370	3350
423.2		3470	3450	3430	3410	3390	3370
453.8		3490	3470	3450	3430	3410	3394
483.4		3510	3490	3470	3450	3430	3414
513.7		3537	3512	3490	3470	3450	3438

Продолжение таблицы П.3.7

543.3		3550	3537	3516	3490	3470	3456
573.8		3577	3557	3536	3516	3496	3480
Гидразингидрат +0,3г. TiO <sub>2</sub>							
293.4	3369	3350	3336	3320	3300	3280	3264
313.7	3380	3368	3347	3330	3310	3294	3290
333.5	3998	3383	3362	3346	3328	3310	3299

363.0		3400	3382	3370	3350	3330	3320
393.5		3428	3410	3396	3374	3360	3340
423.7		3450	3430	3410	3395	3380	3360
453.5		3477	3458	3440	3418	3400	3384
483.0		3500	3480	3460	3440	3426	3406
513.4		3520	3500	3483	3464	3447	3427
543.8		3542	3523	3508	3486	3470	3450
573.2		3568	3544	3530	3510	3590	3573

Таблица П.3.8 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг.К)) наножидкости системы (гидразингидрат+TiO<sub>2</sub>, d=70нм) при различных температурах, давлениях и концентрациях нанодобавок

Т,К	Давление P, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. TiO <sub>2</sub>							
293.4	3432	3416	3397	3370	3360	3338	3315
313.7	3450	3430	3415	3400	3380	3360	3340
333.8	3475	3455	3430	3417	3398	3380	3360
363.7		3480	3460	3446	3430	3410	3390
393.6		3517	3495	3480	3460	3440	3420
423.6		3540	3524	508	3490	3477	3438
453.7		3570	3556	3540	3520	3509	3485
483.4		3600	3586	3570	3550	3540	3520
513.0		3632	3614	3600	3580	3568	3550
543.7		3660	3644	3632	3615	3600	3583
573.6		3698	3678	3660	3640	3630	3618

Продолжение таблицы П.3.8

Гидразингидрат +0,15г. TiO <sub>2</sub>							
293.0	3402	3384	3360	3340	3320	3300	3280
313.6	3425	3403	3380	3360	3340	3320	3300
333.7	3445	3424	3404	3380	3360	3342	3320
363.4		3460	3440	3420	3394	3380	3360
393.6		3490	3470	3450	3430	3410	3390
423.4		3526	3510	3484	3460	3440	3423
453.8		3560	3538	3518	3498	3480	3460
483.0		3586	3570	3550	3530	3510	3490
513.6		3622	3600	3586	3564	3546	3530
543.2		3660	3638	3620	3600	3580	3563
573.6		3690	3670	3650	3630	3618	3580
Гидразингидрат +0,2г. TiO <sub>2</sub>							
293.4	3376	3360	3340	3320	3296	3275	3258
313.3	3400	3380	3360	3340	3310	3290	3270
333.5	3415	3400	3380	3356	3330	3310	3290
363.0		3426	3406	3386	3360	3340	3320
393.5		3460	3437	3410	3390	3370	3350
423.7		3482	3460	3440	3420	3400	3380
453.6		3510	3490	3470	3450	3430	3410
483.6		3540	3520	3500	3480	3460	3440
513.2		3568	3550	3530	3510	3484	3466
543.7		3595	3580	3560	3540	3520	3500
573.4		3620	3600	3584	3560	3540	3520
Гидразингидрат +0,25г. TiO <sub>2</sub>							
293.3	3348	3330	3312	3300	3280	3260	3243
313.7	3369	3350	3335	3320	3395	3280	3266
333.5	3389	3370	3352	3338	3315	3300	3286
363.0		3400	3382	3368	3342	3330	3314

Продолжение таблицы П.3.8

393.6		3432	3418	3400	3378	3360	3340
423.4		3460	3448	3430	3408	3394	3380
453.7		3492	3480	3460	3440	3420	3408
483.6		3527	3412	3490	3470	3460	3440
513.7		3558	3540	3520	3500	3482	3470
543.6		3590	3570	3558	3535	3518	3500
573.4		3620	3600	3586	3565	3548	3530
Гидразингидрат +0,3г. TiO <sub>2</sub>							
293.8	3319	3300	3280	3260	3240	3220	3200
313.4	3340	3320	3300	3280	3260	3240	3220
333.7	3359	3340	3320	3300	3280	3260	3240
363.5		3368	3348	3325	3310	3286	3275
393.7		3400	3380	3360	3340	3320	3300
423.8		3430	3410	3390	3370	3350	3330
453.7		3460	3440	3420	3400	3378	3360
483.8		3490	3470	3450	3430	3400	3390
513.4		3520	3500	3478	3458	3438	3418
543.5		3550	3520	3500	3484	3465	3450
573.4		3600	3580	3560	3540	3520	3500

Таблица П.3.9 - Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг.К)) наножидкости системы (гидразингидрат+TiO<sub>2</sub>, d=90нм) при различных температурах, давлениях и концентрациях нанодобавок

Т,К	Давление P, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г. TiO <sub>2</sub>							
293.2	3402	3380	3369	3340	3312	3280	3256
313.4	3420	3400	3380	3360	3340	3300	3280
333.6	3448	3420	3400	3380	3350	3328	3300

Продолжение таблицы П.3.9

363.5		3440	3430	3418	3388	3360	3340
393.6		3496	3472	3454	3428	3400	3378
423.2		3520	3508	3486	3460	3432	3414
453.4		3560	3540	3520	3498	3470	3444
483.2		3598	3578	3560	3536	3509	3482
513.7		3630	3613	3590	3568	3544	3520
543.8		3665	3644	3623	3603	3580	3560
573.7		3700	3680	3660	3640	3620	3600
Гидразингидрат +0,15г. TiO <sub>2</sub>							
293.5	3380	3360	3340	3320	3300	3274	3260
313.6	3394	3376	3357	3336	3310	3290	3275
333.5	3418	3394	3373	3358	3330	3310	3290
363.7		3420	3402	3382	3360	3340	3320
393.5		3450	3430	3414	3380	3370	3350
423.0		3480	3463	3442	3420	3400	3380
453.7		3510	3490	3470	3450	3428	3410
483.1		3540	3520	3500	3480	3460	3440
513.4		3570	3550	3530	3510	3484	3468
543.8		3600	3580	3560	3540	3520	3500
573.4		3626	3608	3580	3560	3540	3520
Гидразингидрат +0,2г. TiO <sub>2</sub>							
293.0	3350	3330	3308	3290	3260	3236	3218
313.4	3367	3350	3330	3310	3284	3260	3240
333.6	3395	3370	3350	3330	3306	3280	3260
363.7		3407	3380	3360	3340	3318	3294
393.0		3438	3416	3394	3370	3350	3326
423.5		3470	3450	3430	3407	3380	3360
453.7		3500	3480	3460	3438	3414	3396
483.4		3540	3516	3490	3470	3450	3428

Продолжение таблицы П.3.9

513.0		3570	3543	3524	3500	3480	3460
543.5		3600	3580	3558	3528	3514	3495
573.5		3637	3616	3587	3570	3548	3528
Гидразингидрат +0,25г. TiO <sub>2</sub>							
293.6	3319	3300	3275	3254	3238	3216	3200
313.7	3340	3320	3290	3278	3258	3238	3220
333.4	3359	3340	3316	3298	3279	3260	3240
363.0		3370	3348	3338	3210	3290	3272
393.5		3405	3380	3360	3340	3320	3308
423.5		3440	3414	3398	3376	3358	3340
453.0		3470	3448	3430	3408	3387	3370
483.4		3500	3480	3460	3440	3420	3400
513.0		3538	3510	3498	347	3458	3440
543.5		3570	3546	3527	3508	3586	3468
573.8		3600	3580	3560	3540	3520	3500
Гидразингидрат +0,3г. TiO <sub>2</sub>							
293.6	3300	3280	3260	3240	3220	3206	3186
313.4	3310	3294	3278	3258	3236	3220	3200
333.5	3329	3310	3290	3268	3246	3230	3216
363.4		3330	3310	3290	3270	3254	3240
393.0		3350	3330	3312	3290	3274	3260
423.6		3375	3354	3336	3313	3300	3280
453.5		3390	3376	3357	3338	3320	3300
483.4		3418	3396	3377	3360	3340	3320
513.6		3438	3417	3400	3380	3360	3346
543.0		3459	3438	3420	3400	3386	3370
573.5		3480	3460	3440	3423	3408	3390

Таблица П.3.10 - Теплопроводность ( $\lambda \cdot 10^3$ , Вт/(м\*К) наножидкости системы (гидразингидрат+TiO<sub>2</sub> (d=30нм)) при различных температурах и давлениях

Т,К	Давление Р, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
Гидразингидрат +0,1г TiO <sub>2</sub>							
293,0	370,5	387,4	403,2	420,6	435,6	450,3	463,7
313,8	377,2	403,8	421,6	437,8	450,4	467,0	481,3
333,4	405,3	421,0	437,5	453,6	467,2	482,1	497,5
353,7	422,6	478,6	452,9	469,3	483,3	4998,0	513,4
373,3	440,0	456,3	470,0	485,2	500,7	514,6	525,6
393,6		472,6	488,4	501,0	515,4	530,4	546,7
413,0		485,4	500,6	514,7	530,2	542,6	555,0
433,5		478,2	493,0	507,6	520,8	534,7	549,7
453,8		463,5	478,3	493,7	507,0	521,3	537,4
483,4		433,6	459,0	477,8	489,3	500,7	517,5
513,6		423,8	440,5	455,7	467,9	483,3	498,5
543,2		402,0	420,8	435,8	450,7	463,2	479,0
573,0		384,5	400,3	417,8	430,4	443,6	460,3
613,7		360,0	374,5	390,2	404,9	417,0	435,0
Гидразингидрат +0,2г TiO <sub>2</sub>							
293,6	400,0	413,4	432,6	447,7	460,7	476,2	490,0
313,3	413,5	426,6	442,7	458,8	472,0	487,5	500,6
333,7	427,6	438,7	455,9	470,0	484,1	499,0	512,7
353,8	440,0	450,3	468,5	482,5	495,7	510,8	524,8
373,4	453,2	463,7	480,0	495,7	507,4	522,8	534,7
393,0		475,8	492,5	505,6	517,7	532,5	544,5
413,7		485,3	500,7	515,4	528,8	540,0	552,7
433,6		477,5	495,6	509,0	513,7	534,7	547,6

Продолжение таблицы П.3.10

453,0		468,2	484,5	498,7	512,6	524,6	535,0
483,1		450,0	467,6	480,0	497,4	508,5	520,3
513,7		435,7	450,3	464,7	477,0	492,3	504,8
543,9		418,5	433,4	448,3	460,2	474,7	490,0
573,6		400,6	416,5	430,0	444,8	458,5	474,6
613,5		380,0	395,2	410,5	422,7	436,8	453,2
Гидразингидрат +0,3г TiO <sub>2</sub>							
293,4	429,7	443,0	456,5	467,0	477,9	489,0	499,5
313,6	433,4	456,5	467,2	477,5	488,5	499,8	509,7
333,0	449,5	468,7	478,5	488,6	499,6	513,5	526,4
353,0	467,7	480,0	490,5	500,5	512,8	522,7	535,0
373,6	480,0	493,4	504,7	515,6	527,3	537,6	547,5
393,4		505,0	515,9	528,0	539,0	549,5	552,8
413,5		515,4	525,7	534,7	544,7	555,7	565,7
433,4		507,0	517,9	528,0	539,6	549,9	554,5
453,2		490,2	500,0	510,7	520,5	532,7	543,9
483,6		480,2	493,5	503,9	514,6	526,7	537,5
513,8		464,2	474,9	487,5	497,8	509,5	519,4
543,7		448,0	458,7	469,5	470,7	482,7	493,9
573,2		430,2	440,4	450,2	460,5	472,7	484,0
613,0		410,0	422,5	433,2	443,9	453,9	457,8