

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН
ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.С. ОСИМИ**

На правах рукописи

Д 212. 079. 02.

Зоиров Хикматулло Абдухоликович

**Влияние некоторых наноструктурных оксидов металлов на изменение
теплофизических, термодинамических и диффузионных свойств гидра-
зингидрата**

Специальность 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Сафаров Махмадали Махмадиевич

Душанбе –2014

СОДЕРЖАНИЕ

Основные условные обозначения и сокращения.....	4
Введение.....	5
Глава 1. Литературный обзор. Основные характеристики исследуемых объектов.....	14
1.1. Основные характеристики исследуемых объектов.....	14
1.2. Теплофизические свойства гидразингидрата и гидразинзамещённых водных растворов (Обзор).....	21
Глава 2. Экспериментальные установки для исследования теплофизических и электрофизических свойств системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм и др.).....	29
2.1. Экспериментальная установка для исследования температуропроводности исследуемых объектов методом лазерной вспышки в зависимости от давления при комнатной температуре (Патент РТ №ТЖ292, №ТЖ 230).....	29
2.2. Экспериментальная установка для измерения теплопроводности в зависимости от давления (Патент РТ №ТЖ 316).....	34
2.3. Устройство для определения электрофизических свойств магнитных жидкостей в зависимости от давления и магнитного поля (Патент РТ №ТЖ 372).....	36
2.4. Устройство для определения электрофизических свойств электролитов в зависимости от давления (Патент РТ №ТЖ 371)	39
2.5. Способ измерения диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков (Патент РТ №ТЖ 210)	41
2.6. Оценка погрешности измерения теплофизических свойств исследуемых веществ.....	45
Глава 3. Теплофизические, термодинамические и диффузионные свойства системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм и др.).....	51
3.1. Теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность и коэффициент молекулярной диффузии системы гидразингидрат + наноструктурные окиси ме-	

таллов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$ и др.) в зависимости от температуры при атмосферном давлении.....	51
3.2. Температуропроводность, теплопроводность, теплоемкость и коэффициент молекулярной диффузии системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) в зависимости от давления при комнатной температуре	57
3.3. Термодинамические свойства исследуемых объектов при разных температурах.....	65
3.4. Расчет среднего времени жизни изобарических флуктуаций плотности растворов системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов.....	68
Глава 4. Анализ, обработка и обобщение экспериментальных данных. Влияние некоторых наноструктурных окисей металлов на изменение теплофизических, термодинамических и диффузионных свойств гидразингидрата.....	73
4.1. Анализ экспериментальных данных по теплофизическим и термодинамическим свойствам.....	73
4.2. Обработка и обобщение экспериментальных данных теплофизических свойств исследуемых систем в зависимости от температуры при атмосферном давлении.....	74
4.3. Обработка и обобщение экспериментальных данных теплофизических свойств исследуемых систем наноструктурных окисей металлов в зависимости от давления при комнатной температуре.....	90
4.4. Влияние температуры, давления на изменения теплофизических и диффузионных свойств системы гидразингидрат + некоторые наноструктурные окиси металлов.....	102
Выводы.....	106
Литература.....	108
Приложения.....	129

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

λ – коэффициент теплопроводности;
 C_p – удельная теплоемкость;
 τ – время;
 T – температура;
 Q - количество тепла;
 F_0 – критерий Фурье;
 P - давление;
 ΔT - разность значений температур;
 Pr - критерий Прандтля;
 Gr - критерий Грасгофа;
 ρ – плотность;
 $t_{a,n-1}$ - коэффициент Стьюдента;
 α –доверительная вероятность;
 α_p – коэффициент теплового расширения;
 β_T - изотермическая сжимаемость;
 P_i - внутреннее давление;
 C_V - изохорная теплоемкость;
 M - молярная масса;
 m - темп регулярного охлаждения;
 U - показания потенциометра;
 $\alpha_{\text{луч.}}$ -коэффициент теплоотдачи излучением;
 ε –степень черноты;
 ν –коэффициент кинематической вязкости;
 d - диаметр ядра бикалориметра;
 $G_{\text{я}}$ -масса ядра;
 G_1 - вес поплавка в воздухе;
 G_2 - вес поплавка в исследуемых объектах;
 $V_{\text{п}}$ - объем кварцевого поплавка;
 $V_{\text{н}}$ -объем манганиновой проволоки.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка высокоэффективной новой техники, технологии и материалов с заранее заданными свойствами для различных отраслей народного хозяйства, как и в целом для ускорения научно-технического прогресса, невозможно без знания свойств веществ и материалов.

Уровень развития промышленности характеризуется не только объемом производства и ассортиментом выпускаемой продукции, но и показателями ее качества. Одним из основных направлений повышения эффективности является улучшение качества используемых материалов и изделий [62].

Исследования физико-химических и теплофизических свойств (теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность, плотность) веществ имеют давнюю историю. Однако в последние годы эти исследования приобрели качественно новый характер. Для совершенствования и оптимизации технологических процессов необходимы научно обоснованные инженерные расчеты, которые нуждаются в информации о теплофизических и термодинамических свойствах рабочего вещества в широкой области изменения параметров состояния. Исследование недостоверных или даже приближенных данных по свойствам веществ в инженерных расчетах приводит к существенному завышению металлоемкости установок и снижению их технико-экономических показателей. В связи с этим, дальнейшее уточнение теплофизических данных рабочих веществ представляет собой значительный резерв совершенствования технологического процесса [139, 63].

Водные растворы широко применяются в современной технике в качестве рабочих тел, теплоносителей, химических реагентов и ракетных топлив. Они используются в химической и нефтеперерабатывающей промышленности, при разработке процессов разделения и селективной очистки, в тепло- и хладотехнике, в процессах химического синтеза, при получении высокооктановых топлив, ракетных топлив и т.д.

Сведения о теплофизических и термодинамических свойствах водных растворов весьма важны для познания и развития физики жидкого состояния ве-

ществ. Они необходимы для выяснения механизма межмолекулярных взаимодействий и моделей структуры растворов, процессов образования и разрушения молекулярных комплексов, с их помощью можно решить проблемы смешиваемости и растворимости, выяснить изменение степени ассоциации компонентов при смешении и др.

Одними из важных теплофизических свойств жидкостей и газов являются теплоемкость, теплопроводность и плотность, которые необходимы для калорического расчета процесса и аппаратов и входят в критериальные уравнения теплообмена, и отражают особенности термодинамической поверхности.

Большое теоретическое значение представляет собой исследование жидкостей, что связано с фундаментальными физико-химическими проблемами. Вместе с разработкой новых применений жидкостей ведутся теоретические и экспериментальные исследования их физических и физико-химических характеристик, которые, в свою очередь, определяются свойствами коллоидных частиц, их взаимодействием во внешних полях. За счет комплексного подхода с применением классических методов статистической термодинамики, молекулярной оптики, физики магнитных явлений, физической химии, механики сплошных сред и т.д. стали возможны научные достижения в области исследования физических и физико-химических характеристик жидкостей.

Уровень развития промышленности характеризуется не только объемом производства и ассортиментом выпускаемой продукции, но и показателями ее качества. Показателями качества продукции, в числе других технических характеристик, являются и их теплофизические и термодинамические свойства.

Актуальность диссертационной работы заключается в том, что гидразингидрат используется для удаления кислорода при обработке воды; для защиты от коррозии водяных и паровых циркуляционных трубопроводов (а именно: парогенераторов, систем охлаждения, систем отопления), а также для консервации выведенного из эксплуатации оборудования. Исследование теплофизических, термодинамических и диффузионных свойств гидразингидрата дает возможность определить рациональное его использование при обработке воды. Для составления

уравнения состояния и подробных таблиц по свойствам водных растворов гидразингидрата необходимы данные по их теплофизическим свойствам. Данная работа посвящена определению теплофизических (температуропроводность, теплопроводность, теплоемкость, плотность) и термодинамических свойств (изменение энтальпии, энтропии, внутренней энергии, удельной энергии Гиббса и энергии Гельмгольца), коэффициента молекулярной диффузии и среднего времени жизни изобарических флуктуаций плотности системы гидразингидрат + некоторые наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 и др.).

Объект исследования: система гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 и др. Средний размер наночастиц $d=50$ нм).

Цель диссертационной работы: разработка и создание экспериментальной установки для измерения температуропроводности, теплопроводности, электропроводности и диэлектрической проницаемости системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50$ нм и др.) 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3%.) в зависимости от давления методом лазерной вспышки и получение экспериментальных значений теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности, молекулярной диффузии и термодинамических свойств в интервале температур (298–348) К, давления (0,101 – 0,141) МПа.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработка и создание экспериментальной установки для измерения теплопроводности и температуропроводности, работающей методом лазерной вспышки при различных давлениях.
- получение экспериментальных значений теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности и расчет коэффициента диффузии исследуемых объектов в интервале температур (298–348) К, давления (0,101 – 0,141) МПа.
- установление зависимости теплофизических свойств гидразингидрата + 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 %.; (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50$ нм и др.) от температуры (298–348) К, давления (0,101 – 0,141) МПа;
- получение аппроксимационной зависимости, устанавливающей взаимосвязь теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности и коэффициента

молекулярной диффузии с температурой, давлением и особенностями структуры исследуемых объектов;

– установление взаимосвязи теплофизических и термодинамических свойств исследуемых объектов в зависимости от температуры;

- определение среднего времени жизни изобарических флуктуаций плотности исследуемых систем.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– получены экспериментальные данные по теплофизическим и диффузионным свойствам системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (до 0,3%. Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$ и др.) в интервале температур (298–348)K и давления (0,101 – 0,141) МПа;

– разработаны экспериментальные установки для измерения теплопроводности, температуропроводности (по методу лазерной вспышки);

– использованы методы расчета термодинамических свойств и коэффициента молекулярной диффузии жидкостей;

- получены значения термодинамических свойств системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$ и др.) в зависимости от температуры;

– получены аппроксимационные зависимости, описывающие теплофизические, термодинамические свойства и коэффициенты молекулярной диффузии системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) в зависимости от температуры, давления и массы наночастиц.

- использованы способы определения среднего времени жизни изобарических флуктуаций плотности исследуемых систем.

На защиту выносятся:

– экспериментальные данные по теплопроводности, температуропроводности, теплоемкости, электропроводности, диэлектрической проницаемости и коэффициенту молекулярной диффузии (при $T=298\text{--}348\text{K}$, $P=0,101\text{--}0,141$ МПа.);

- новые варианты измерительных устройств для исследования теплопроводности и температуропроводности (работающие по методу лазерной вспышки) объектов в зависимости от давления при комнатной температуре;
- анализ процесса теплопереноса в исследуемых объектах;
- расчетные данные по термодинамическим свойствам (разность энтальпии, разность энтропии, удельная энергия Гиббса и энергия Гельмгольца, молекулярная диффузия и данные температуропроводности, среднее время жизни изобарических флуктуаций плотности и др.) в зависимости от температуры;
- аппроксимационные зависимости для расчета теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности, коэффициента молекулярной диффузии исследуемых объектов в широком интервале температуры и давления.

Практическая ценность работы:

- разработана методика обобщения экспериментальных данных по теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности и коэффициенту молекулярной диффузии системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.);
- разработанные экспериментальные установки могут быть использованы для скоростного определения температуропроводности и теплопроводности объектов в лабораториях;
- проведен анализ процесса теплопереноса в системах гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$);
- дополнен банк теплофизических, термодинамических и диффузионных характеристик системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$) новыми данными.

Результаты исследования внедрены:

- созданная аппаратура для измерения теплофизических свойств (ТФС) наножидкостей внедрена и используется в научных и учебных лабораториях кафедры «Теплотехника и теплотехнические оборудования» Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими преподавателями при выполнении дис-

сертационных работ и студентами при выполнении дипломных, курсовых и лабораторных работ.

- составлены подробные таблицы ТФС наножидкостей в интервале температур (298–348)К и давления (0,101–0,141) МПа, которые могут быть использованы проектными организациями в различных технологических процессах;
- полученные эмпирические уравнения используются для инженерных расчетов, аспирантами для выполнения диссертационных работ и студентами при выполнении курсовых и дипломных работ;
- получены акты внедрения от Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими и АООТ «Душанбинская ТЭЦ».

Диссертационная работа выполнена по плану координации научно-исследовательских работ в области естественных и общественных наук АН Республики Таджикистан на 2005-2012 годы по теме: «Теплофизические свойства веществ» (N госрегистрации 81081175) и (N 01.86.0103274) по проблеме 1.9.7-Теплофизика.

Личный вклад автора. Состоит из выбора методов и разработки алгоритмов решения поставленных при выполнении работы задач, установления основных закономерностей, протекающих в тепло- и электрофизических процессах при получении ракетных топлив, получения данных по теплофизическим (теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость, плотность) и электрофизическим (электропроводность, удельное сопротивление) свойствам, обработки и анализа полученных результатов, формулировки основных выводов диссертационной работы. Все результаты диссертационной работы получены автором лично под руководством научного руководителя.

Апробация работы: Основные результаты работы докладывались на международных и республиканских научных конференциях: 2-я Международная конференция молодых ученых, Иваново, (2007); Республиканская научно-практическая конференция «Перспективы энергетики Таджикистана», Душанбе, (2011); Республиканская конференция «Координационная химия и ее значение в развитии

народного хозяйства» с международным участием, посвященная памяти профессора Юсупова З.Н., ТНУ, Душанбе, (2011); 10-й Международный семинар «Магнитные фазовые переходы» Махачкала, (2010); 9-я Международная научно-техническая конференция «Материалы и технологии 21 века». Пенза- (2011); Республиканская научно-практическая конференция «Перспективы энергетики Таджикистана», Душанбе, (2011); Республиканская научная конференция «Проблемы современной координационной химии», посвященная 60-летию члена-корреспондента АН РТ, доктора химических наук, профессора Аминджонова А.А., Душанбе, (2011); Республиканская научно-практическая конференция «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии», Душанбе, (2009); Международная конференция «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах» Махачкала, (2010); 30-International Thermal Conductivity Conference and 18 International; Thermal Expansion Symposium. Pittsburg, Pennsylvania USA, (2009); 18-th European conference on thermophysical properties. France, (2008); 17-th Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, USA, (2009); Proceedings of the Thirtieth International thermal conductivity conference, Pittsburg, Pennsylvania, USA, (2009); 30th ITCC and 18-th ITES Pittsburg. USA. (2009); 16 th International conference thermodynamics properties materials, Budapest (2009); 19-th International Thermal expansions symposium, Saguenay, Quebec, Canada (2011); 31-th Thermal conductivity conference, 19-th International Thermal expansions symposium, Saguenay, Quebec, Canada (2011); 19 European Conference on Thermophysical Properties, Thessaloniki, Greece (2011); 24. Influence carbon nanotube, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 to exchange thermophysical properties Hydrazine-hydrate (rocket fuel) in dependence temperature and pressures, 8-th International Conference: Concrete in the low Carbon Era, Dundee, UK, (2012); Восьмая международная теплофизическая школа, посвященная 60-летию члена-корреспондента Инженерной академии Республики Таджикистан, доктора технических наук, профессора Сафарова М.М., Душанбе-Тамбов, (2012).

По результатам работы опубликовано 22 статьи (из них 5 рекомендуемых ВАК РФ), 18 тезисов докладов и получено 6 патентов Республики Таджикистан.

1. Зоиров Х.А. Назначение, компоненты, структуры, исследование и прогнозирование теплофизических свойств наноструктурных композиционных материалов и их растворов /М.М. Сафаров, Х.А. Зоиров, А.Ф. Тошов и др. //Вестник Таджикского национального университета, -2011. -№1 (65), -С.63-68.

2. Зоиров Х.А. Теплопроводность, теплоемкость системы гидразингидрат + некоторые окиси металлов в зависимости от давления /Х.А. Зоиров, М.А. Зарипова, М.М. Сафаров //Вестник Таджикского национального университета (научный журнал), -2012.-№1/1(77), -С.108-114.

3. Зоиров Х.А. Влияние нанопористого, наноразмерного оксида титана на изменение температуропроводности гидразингидрата при комнатной температуре в зависимости от давления /Х.А. Зоиров, С.А. Тагоев, М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.Ф. Тошов. //Вестник Таджикского национального университета, -2011. №1(65), -С.69-72.

4. Зоиров Х.А. Вторичные энергетические ресурсы и их применение /Т.Р. Тиллоева, Х.А. Зоиров, М.А. Зарипова, М.М. Сафаров //Вестник Таджикского технического университета -2009. -№1(5), -С.28-33.

5. Зоиров Х.А. Плотность несимметричного диметилгидразина в зависимости от температуры и давления /М.А. Зарипова, М.Т. Тургунбоев, М.М. Сафаров, Х.А. Зоиров и др. // Вестник педагогического университета, №5 (41), Душанбе, - 2011. -С.18-23.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 128 страницах текста. Она содержит 51 рисунков, 39 таблиц, 189 наименований источников литературы и 46 страницу приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

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

В первой главе приводится литературный обзор по теме диссертации.

Во второй главе приводятся описания и схемы экспериментальных установок для исследования теплофизических свойств в зависимости от температуры и давления.

В третьей главе приводятся результаты экспериментального исследования теплопроводности, удельной теплоемкости, температуропроводности, коэффициента молекулярной диффузии и термодинамических свойств системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм и др.) в зависимости от температуры (298-348) К и давления (0,101–0,141) МПа.

Четвертая глава посвящена анализу и обобщению экспериментальных данных по теплофизическим, термодинамическим и диффузионным свойствам системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм и др.).

Получены аппроксимационные зависимости по теплопроводности, плотности, температуропроводности, теплоемкости и коэффициенту молекулярной диффузии исследуемых объектов в зависимости от температуры, давления и концентрации, а также результаты расчета их термических и калорических свойств.

В приложении приводятся акты внедрения и копии малых патентов, полученных при изобретении установок, которые использовались для изучения теплофизических, термодинамических и диффузионных свойств рабочего вещества в широкой области изменения параметров состояния.

Диссертационная работа выполнена в лаборатории кафедры «Теплотехника и теплотехнические оборудования» Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

1.1. Основные характеристики исследуемых объектов

Гидразин (диамид) $\text{H}_2\text{N} - \text{NH}_2$, дымящий на воздухе, жидкий; растворяется в воде, низших спиртах, аминах, не растворяется в углеводородах.

С водой образует азеотропную смесь ($t_{\text{кип}} = 120,1^\circ\text{C}$, 71,5% Г.). Образует взрывоопасные смеси с воздухом и O_2 ; безводный гидразин способен к самовоспламенению при контакте с асбестом, углем, оксидами Cu, Fe, Hg и др. Легко разлагается в присутствии катализатора, а также при нагревании выше 300°C . Гидразин в водных растворах легко окисляется. Сильный восстановитель, например, выделяет благородные металлы из растворов их солей, с HNO_2 образует HN_3 . В техническом гидразине в качестве загрязняющих примесей содержатся вода, двуокись углерода, гексан, толуол, гидразин-угольная кислота, 1,2 – диметилгидразин и анилин.

Водные растворы гидразина обладают сильными основными свойствами. Образует 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 $(\text{N}_2\text{H}_6)\text{SO}_4$ ($t_{\text{пл}} = 254^\circ\text{C}$).

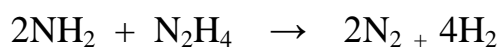
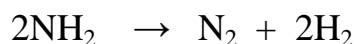
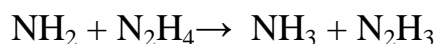
Водные растворы гидразина получают при взаимодействии NaOH , Cl_2 и NH_3 в воде, окислением NH_3 или мочевины гипохлоридом Na.

Гидразин и его соли и моногидрат используются для получения порообразователей, инсектицидов, для определения карбонильных групп в титриметрическом анализе; горючий компонент в ракетных топливах.

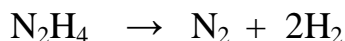
Введением азида гидразина можно понизить температуру кристаллизации гидразингидрата [167]. Температура плавления тройной эвтектик двойной смеси находится в области от -15 до -28°C , что дает возможность использовать азид гидразина для понижения температуры замерзания гидразина без ухудшения его свойств как ракетного топлива.

Применению гидразина в качестве ракетного топлива предшествовали исследования его разложения под действием различных факторов. Термическое разложение гидразина происходит при температуре 250-310⁰С.

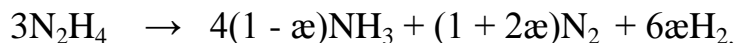
При этом механизмы термического разложения и разложения со взрывом включают реакции с участием свободных радикалов [97,160].



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



В этом случае образуется лишь небольшое количество аммиака. Если реакцию представить в общем виде [157].



где α - степень разложения, при термическом разложении величина ее составляет 0,06, а для фотохимического разложения колеблется в пределах 0,93 – 0,96 [97].

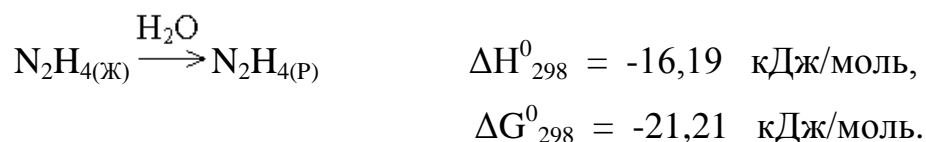
Растворы гидразина в воде называются гидразингидратом. Гидразингидрат ($\text{NH}_2\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) является 64%- ным раствором гидразина в воде. Это бесцветная подвижная жидкость, хорошо растворимая в воде и полярных растворителях и нерастворимая в неполярных органических растворителях. Основные характеристики и свойства гидразина и его растворов приведены в таблица 1.1.

Растворение гидразина в воде – процесс экзотермический. Энтальпия и энергия Гиббса образования гидразина в растворе отличаются от термодинамических функций жидкого гидразина и соответственно равны [65]:

$$\text{N}_2\text{H}_{4(\text{P})} \quad \Delta \text{H}_{298}^0 = 34,31 \text{ кДж /моль}, \quad \Delta \text{G}_{298}^0 = 128,03 \text{ кДж/моль},$$

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

Изменения энтальпии и энергии Гиббса при растворении жидкого гидразина в воде в стандартных условиях соответственно равны [65]:



Теплота смешения гидразина и воды в эквимольных количествах при 298 К равна 3,76 кДж/моль [83].

Таблица 1.1. Основные характеристики и свойства гидразина и гидразингидрата при температуре 298К

Свойства	Гидразин	Гидразингид- Рат
Молярная масса, кг/моль	0,032	0,050
Температура плавления, $T_{\text{пл}}$, К	238,65	211,45
Температура кипения, $T_{\text{кп}}$, К	386,65	391,85 (739,5мм рт.ст.)
Температура вспышки, $T_{\text{вс}}$, К	313,15	332,15
Температура самовоспламенения, $T_{\text{свп}}$, К	405,15	540,15
Температура критическая, $T_{\text{кр}}$, К	653,15	-
Давление насыщенных паров, Па	267	254
Давление критическое, МПа	14,5	-
Плотность, кг/м ³	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 ⁻¹ см ⁻¹	(2,3-2,6) · 10 ⁻⁶	-
Показатель преломления	1,469	1,424

В работе [152] были рассчитаны интегральные молярные теплоты смешения при температуре 368 К и коэффициенты активности γ - воды в гидразине; теплота смешения эквимольной смеси оказалась 4,02 кДж/моль.

Результаты расчета коэффициентов активности приведены на рисунке 1.1.

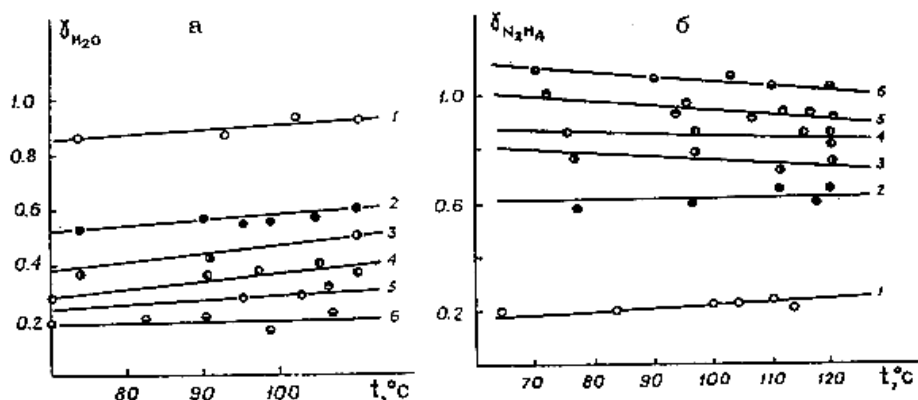


Рисунок 1.1. Коэффициенты активности воды (а) и гидразина (б) в растворах гидразин-вода при содержании гидразина (мол. доли) [152]:

1 - 0,20; 2 - 0,40; 3 - 0,50; 4 - 0,60; 5 - 0,70; 6 - 0,96.

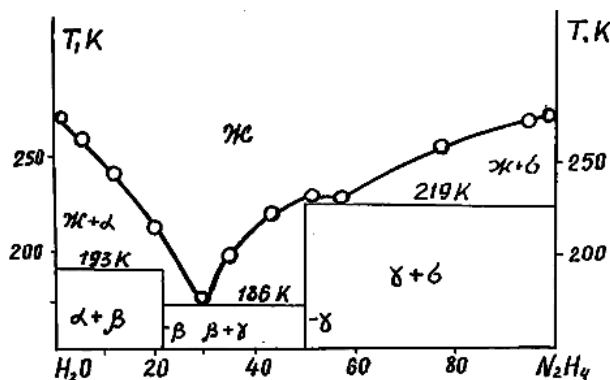


Рисунок 1.2. Диаграмма состояния системы гидразин-вода [166]: Ж – жидкая фаза; твердое соединение α – H_2O ; γ – $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; β – $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; σ – N_2H_4 .

Из диаграммы состояния (рисунок 1.2) следует, что гидразин с водой в твердом состоянии образует два соединения $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [166]. Соединение $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ существует при температуре 193K и ниже.

Из диаграммы состояния (рисунок 1.2) следует, что водные растворы, содержащие 20 – 60%(мол.) гидразина, могут храниться в жидком виде при достаточно низких температурах (293K и ниже).

Кривая зависимости температуры кипения от состава смеси проходит через максимум в области содержания гидразина (50–60%)(мол.) (рисунок 1.3).

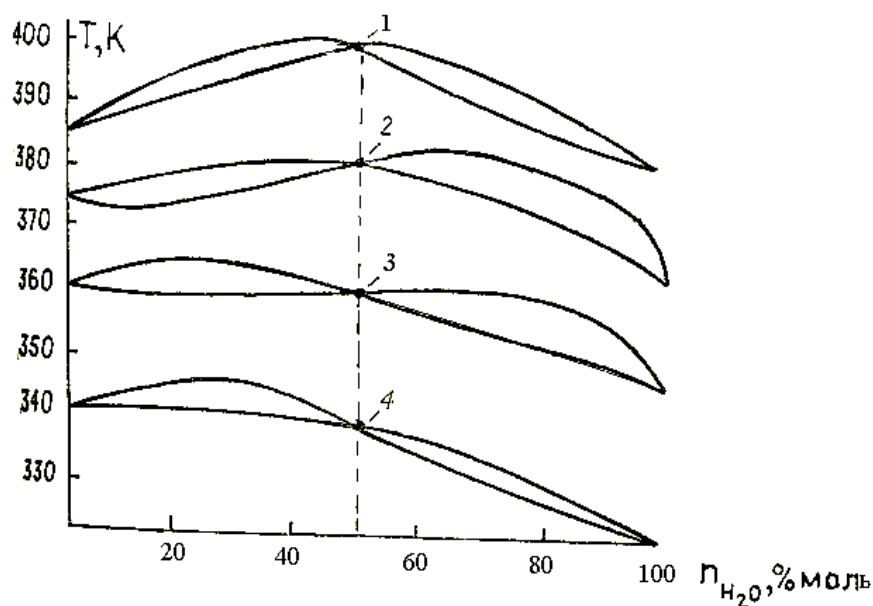
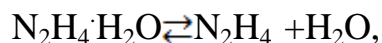


Рисунок 1.3. Диаграмма состояния жидкость-пар системы гидразин – вода [65]: Давление (в кПа): 1-100-102,5; 2-72,2; 3-36,4; 4-16

Гидразин и вода образуют азеотропную смесь, содержащую 68% (масс.)/55%(мол.)/ гидразина с температурой кипения 393,65 К (при $P = 102,5$ кПа) [163]. Несколько иной состав азеотропной смеси получен в работе [65] при пониженных давлениях 53%(мол.) 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).

Как видно из рисунка 1.3, в слабо концентрированных растворах равновесное содержание гидразина в паре значительно ниже, чем содержание его в растворе.

Как указано выше, в твердой фазе существует соединение $N_2H_4 \cdot H_2O$. Наличие этого соединения в жидком состоянии твердо еще не установлено. В жидкой фазе, по-видимому, устанавливается равновесие



которое с повышением температуры сдвигается вправо.

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

Гидразингидрат (диамид)- представляет собой прозрачную бесцветную жидкость с запахом аммиака. В твердом виде - кубические кристаллы. Является сильным восстановителем, восстанавливает даже благородные металлы из их солей. Гидразингидрат сильно ядовит, интенсивно окисляется кислородом воздуха до N_2 , NH_3 , H_2O . Гидразингидрат на воздухе поглощает углекислоту, с водой и спиртом смешивается в любых соотношениях; в эфире, хлороформе и бензоле не растворяется. Плотность 1,03 г/см³. Температура плавления - 1° С, температура кипения - 120° С, температура вспышки - 73° С, температура замерзания - минус 51° С.

Гидразингидрат получают окислением NH_3 или $CO(NH_2)_2$ гипохлоритом натрия ($NaOCl$) [62,139].

Физико-химические характеристики приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Физико-химические характеристики гидразингидрата

Наименование показателей	Норма
Внешний вид	Бесцветная жидкость
Массовая доля гидразингидрата $N_2H_4 \cdot H_2O$, %	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

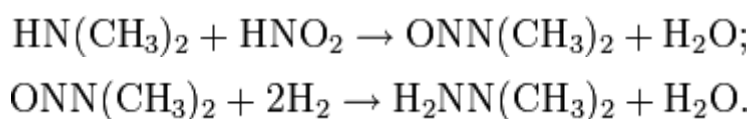
Гидразингидрат применяют для удаления кислорода при обработке воды; для защиты от коррозии водяных и паровых циркуляционных трубопроводов (а именно: парогенераторов, систем охлаждения, систем отопления), а также для консервации выведенного из эксплуатации оборудования.

Также гидразингидрат используют:

- как горючее в топливных элементах;
- для получения чистых металлов (Cu, Ni и др.) из их оксидов и солей;
- в производстве порообразователей (например, бензолсульфонилгидразида), инсектицидов, взрывчатых веществ (астролит), регуляторов роста растений (например, гидразида малеиновой кислоты), лекарственных средств (например, гидразида изоникотиновой кислоты);
- в качестве реактива (для обнаружения карбонильных групп, хлоритов и хлоратов);
- для получения промежуточных продуктов и красителей;
- в качестве добавки в стекломассу (для устранения тусклости стекол);
- для очистки промышленных газов от CO_2 и меркаптанов [63].

К недостаткам относятся:

- токсичность
- канцерогенность
- вероятность взрыва НДМГ (несимметричный диметил гидразингидрат) в присутствии окислителя; меньший удельный импульс, чем у кислородно-керосиновой пары; цена НДМГ заметно выше цены керосина, что существенно для больших ракет; НДМГ получают из диметиламина, являющегося крупнотоннажным продуктом органического синтеза, в две стадии через N-нитрозодиметиламин:



Гидразингидрат используется для каталитического разложения в газогенераторах с целью получения рабочего тела при температуре до 650°C (разлагается на азот, водород, аммиак и водяной пар), используемого теплоносителем вторичного контура турбины замкнутого типа (работающей по циклу Ренкина) [59].

Гидразин или его смесь с гидразингидратом, предназначенные для использования в качестве унитарного топлива, подвергаются мгновенному разложению при контакте с катализаторами, состоящими из рения, молибдена, железа, никеля, меди, серебра, золота, иридия или рутения, нанесенных на высокопористые носители окислов алюминия, тория и цинка [162].

Гидразингидрат (64% N_2H_4 + 36% H_2O) масс. %, используется в качестве топлива в энергоблоке “Океан” глубоководного аппарата, созданного совместно Финской фирмой, ГИПХ и Институтом океанологии по заказу АН РФ. Блок полностью прошел комплексные испытания при давлении до 60 МПа и глубине до 6 км [153].

Гидразин и его (гидразинзамещенные) смеси широко применяются в различных областях промышленности: в производстве спорофоров и полимеров для защиты от коррозии, в качестве топлива для реактивных двигателей и ракет, в электрохимических генераторах и др. [65,16].

1.2. Теплофизические свойства гидразингидрата и гидразинзамещенных водных растворов (Обзор)

До настоящего времени разными авторами в различные времена и разными методами были исследованы некоторые термодинамические и теплофизические свойства чистого гидразина и некоторых их водных растворов. [32-37, 41, 45, 98-123, 168-171]. В работе [59] авторами А.Л. Цыкало, В.К. Савенковым и др. исследованы термодинамические свойства чистого гидразина при атмосферном давлении и комнатной температуре (таблица 1.3).

Таблица 1.3. Литературные источники полученных результатов

№ п/п	Авторы	Год	Параметры и объект исследо- вания	Интервал пара- метров состояния	Ли- тера- тура
1	2	3	4	5	6
1.	Цыкало А.Л. Савенков В.К. и др.	1974	ρ, C_p , чистый гидра- зин	$T = 298 \text{ K}$ $P = 0,101 \text{ МПа}$	[41]
2.	Сафаров М.М. Маджидов Х. Картавченко А.В. Зарипова М.А.	1992	λ, C_p , водный рас- твор гидразина	$T = 298 \text{ K}$ $P = 0,101 \text{ МПа}$	[98]
3.	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1992	λ, C_p , водный рас- твор гидразина	$T = 298 - 385 \text{ K}$ $P = 0,101 - 49,1 \text{ МПа}$	[99]
4.	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1992	λ , гидразингидрат	$T = 298 - 385 \text{ K}$ $P = 0,101 - 49,1 \text{ МПа}$	[100]
5.	Сафаров М.М.	1993	$\lambda, C_p, \rho, \alpha, \nu$ водный	$T = 298 - 575 \text{ K}$	[101]
6.	Сафаров М.М. Картавченко А.В. Зарипова М.А.	1993	раствор гидразина ρ , водный раствор гидразина	$P = 0,101 - 98,1 \text{ МПа}$ $T = 298 \text{ K}$ $P = 0,101 \text{ МПа}$	[102]
7.	Сафаров М.М. Картавченко А. В.	1993	ρ , водный раствор гидразина	$T = 298 - 575 \text{ K}$ $P = 0,101 - 98,1 \text{ МПа}$	[103]
8.	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1993	C_p , водный раствор фенилгидразина	$T = 298 \text{ K}$ $P = 0,101 \text{ МПа}$	[104]
9.	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1993	λ, ρ , водный раствор гидразина	$T = 298 \text{ K}$ $P = 0,101 \text{ МПа}$	[105]

1	2	3	4	5	6
10.	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Нарзуллоев А. С.	1993	υ, водный раствор гидразина	T= 298 К P=0,101 МПа	[106]
11.	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Нарзуллоев А. С.	1993	ρ, водный раствор гидразина	T= 298 К P=0,101 МПа	[107]
12.	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1994	μ, водный раствор гидразина	T= 298 -575 К P=0,101-49,1 МПа	[108]
13.	Сафаров М.М. Картавченко А. В. Зарипова М.А.	1994	μ,ρ водный раст- вор гидразина и фенилгидразина	T= 298 К P=0,101 МПа	[109]
14.	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1995	λ,ρ,водный раст- вор гидразина	T= 298 -565 К P=0,101-49,1 МПа	[110]
15.	Сафаров М.М. Зарипова М.А., Файзуллоев З.	1995	μ,ρ водный раст- вор фенилгидра- зина	T= 298- 383 К P=0,101 МПа	[111]
16.	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1995	υ, водный раствор гидразина	T= 298- 383 К P=0,101 МПа	[112]
17.	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1995	υ. водный раствор фенилгидразина	T= 298 -565 К P=0,101-49,1 МПа	[113]
18.	Safarov M.M. Zaripova M.A. Rajabov F.S. Turgunboev M.	1995	λ,ρ,water solutions hydrazine	T= 298 -565 К P=0,101-49,1 МПа	[168]

1	2	3	4	5	6
19.	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Раджабов Ф.С. Тургунбоев М.	1995	ρ , водный раствор аэрозина	T= 298 -535 К P=0,101-49,1 МПа	[114]
20.	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1996	$\lambda, C_p, \rho, \alpha$ водный раствор гидразина	T= 298 -530 К P=0,101-98,1 МПа	[115]
21.	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1996	λ, ρ водный раст- вор фенилгидр- зина	T= 298 -533 К P=0,101-98,1 МПа	[116]
22.	Сафаров М.М., Зарипова М.А. Раджабов Ф.С.	1996	C_p , водный раст-вор аэрозина	T= 298 -473 К P=0,101-49,1 МПа	[117]
23.	Сафаров М.М., Зарипова М.А., Давлатова В.	1996	C_p , водный раст- вор диметилгид- разина	T= 298 -483 К P=0,101-49,1 МПа	[118]
24.	Safarov M.M., Zaripova M.A. Rajabov F.S. Turgunboev M.	1996	$\lambda, \rho, \alpha, C_p$, water so- lutions hydrazine	T= 298 -535 К P=0,101-98,1 МПа	[169]
25.	Сафаров М.М., Зарипова М.А., Тургунбоев М.	1997	λ , водный раствор аэрозина	T= 298 -426 К P=0,101-49,1 МПа	[119]
26.	Сафаров М.М., Зарипова М.А., Тургунбоев М. Раджабов Ф.С.	1997	ρ , водный раствор аэрозина	T= 298 -415 К P=0,101-98,1 МПа	[120]
27.	Сафаров М.М.,	1998	λ , водный раствор	T= 298 -425 К	[121]

1	2	3	4	5	6
	Зарипова М.А., Тургунбоев М.		диметилгидразина	P=0,101-49,1 МПа	
28.	Сафаров М.М., Зарипова М.А., Тургунбоев М.	2001	λ , гидразинзамешен ных водных раство- ров	T= 298 -335 К P=0,101 МПа	[122]
29.	Safarov M.M. Zaripova M.A. Tilloeva T.R. Zoirov H.A.	2008	λ , ρ , water solutions dimethyhydrazine	T= 298 -435 К P=0,101-49,1 МПа	[170]
30.	Сафаров М.М., Зарипова М.А., Нажмуддинов Ш. З. и др.	2009	ρ , водных раство- ров триметилгид- разина	T= 298 -435 К P=0,101-49,1 МПа	[123]
31.	Safarov M.M. Zaripova M.A. Tilloeva T.R. Zoirov H.A.	2009	λ , C_p , ρ , water solu- tion ethylhydrazine	T= 298-405 К P=0,101-49,1 МПа	[171]
32.	Зарипова М.А.	2008	ρ , гидразинзаме шенных водных растворов	T= 298-405 К P=0,101-98,1 МПа	[32]
33.	Зарипова М.А.	2008	Калорические свойства гидра- зинзамешенных водных растворов	T= 298-405 К P=0,101-49,1 МПа	[33]
34.	Зарипова М.А.	2011	λ , триметилгидра- зина	T= 298-473 К P=0,101-49,1 МПа	[34]
35	Зарипова М.А.	2011	λ , этилгидразина	T= 298-473 К P=0,101-49,1 МПа	[35]

1	2	3	4	5	6
36.	Зарипова М.А.	2011	Термодинамические свойства этил-гидразина	T= 298-473 К P=0,101-49,1 МПа	[36]
37.	Зарипова М.А.	2011	λ , водных растворов метилгидразина	T= 298-473 К P=0,101-49,1 МПа	[37]
38.	Зоиров Х.А. Сафаров М.М. Тагоев С.А. Зарипова М.А. Тошов А.Г.	2011	Влияние наноксидов на изменение термодинамических свойств гидразингидрата	T= 298-453 К P=0,101-0,141МПа	[45]

Как видно из таблицы 1.3. теплофизические, термодинамические свойства гидразина, фенилгидразина, диметилгидразина, этилгидразина и некоторых их водных растворов изучены профессором Сафаровым М.М. и его учениками. До настоящего времени не изучены теплофизические, термодинамические и диффузионные свойства гидразинзамещенных водных растворов при различных температурах и давлениях, и концентрации наноксидов. Теплопроводность, плотность, теплоемкость, температуропроводность гидразингидрата в зависимости от температуры и давления изучены авторами, приведенными в таблице 1.3. Но не изучены теплофизические, термодинамические свойства гидразингидрата с добавками наноструктурных оксидов металлов в зависимости от температуры и при небольших давлениях. Поэтому, мы перед собой поставили задачу изучить теплофизические, термодинамические и диффузионные свойства гидразингидрата при различных концентрациях окисей металлов.

Теплофизические свойства некоторых наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм) в зависимости от температуры приведены в таблицах 1.4-1.6.

Таблица 1.4. Теплофизические свойства окиси алюминия (Al_2O_3 d=50нм) в зависимости от температуры

T, К	ρ , кг/м ³	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	C, Дж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)	$a \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$
250	-	-	657	-	-
300	3970	7,82	775	40	13
350	3965	7,91	886	32	9,1
400	3961	8	959	28	7,4

Таблица 1.5. Теплофизические свойства окиси железа (Fe_2O_3 d=50нм) в зависимости от температуры

T, К	ρ , кг/м ³	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	C, Дж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)	$a \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$
250	5663	3,35	485	34	12,4
300	5660	4,14	497	29,5	10,5
350	5656	4,65	530	25,5	8,5
400	5652	5	551	21,2	6,8

Таблица 1.6. Теплофизические свойства окиси титана (TiO_2 d=50нм) в зависимости от температуры

T, К	ρ , кг/м ³	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	C _p , ж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$
250	-	7,92	510	15,4	6,7
300	4500	8,3	548	15,5	6,3
350	4496	8,5	582	15,7	6
400	4490	8,82	616	15,9	5,3

Основные характеристики оксидов металлов приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7. Основные характеристики оксидов металлов

Вещество	Молекуляр- ная масса μ , г/моль	Плотность ρ , кг/м ³ $T=293K$	Температура плавления $T_{пл}$, К	Теплота плавления $\Delta h_{пл}$, кДж/кг
Al_2O_3	101,96	3970	2327	1093
MgO	40,31	3580	3100	1910
TiO	63,90	4930	2030	737
TiO_2	79,9	4260	2185	851
Ti_2O_3	143,80	4480	2110	640
FeO	71,846	5870	1647	468
Fe_2O_3	159,69	5240	1838	-
Fe_3O_4	231,54	5180	1867	597
NiO	74,7	6800	2228	678
CuO	79,54	6450	1609	468
MnO_2	86,94	5026	-	-
BaO_2	169,34	4960	723	-

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ГИДРАЗИНГИДРАТ+НАНОСТРУКТУРНЫЕ ОКИСИ МЕТАЛЛОВ (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм и др.)

2.1. Экспериментальная установка для исследования температуропроводности исследуемых объектов методом лазерной вспышки в зависимости от давления при комнатной температуре (Патент РТ №ТJ 292 и №ТJ 230)

Опытная установка, собранная на кафедре «Теплотехника и теплотехнические оборудования» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими, позволяет измерять температуропроводность прозрачных твердых тел, жидкостей и растворов в зависимости от давления и индукции магнитного поля при комнатной температуре. Данная экспериментальная установка использована соискателями при выполнении диссертационной работы - Зариповым Дж.А. (объект исследования – система перекись водорода - вода с добавлением лантана, стронция, марганца), Джураевым Д.С. (объект исследования – трансформаторное масло с добавкой железа), Анакуловым М.М. (объект исследования – антифриз – вода - углеродные нанотрубки) и получен малый патент Республики Таджикистан №ТJ 292 и №ТJ230 (соавторы: Сафаров М.М., Джураев Д.С., Нажмуддинов Ш.З. и др.) [48, 49].

Метод основан на быстром локальном нагреве поверхности образца лазерным импульсом, при этом измеряется температура образца и поглощенная им энергия [6,30,31,73,48,49,61,124,129,136]. Перечень методов измерения температуропроводности приведен в [178,159]. Кроме того, для определения теплоемкости и теплопроводности гидразингидрата с некоторыми наноразмерными окисями металлов нами были использованы установки, разработанные профессором Платуновым Е.С. и его учениками [14,40,44,64,67,69,77,78,93, 94,130,150,156,164,165].

Применение установок, работающих методом лазерной вспышки, начиная с 80-х годов прошлого века, бурно развивается в мире, в том числе странах СНГ. Эти установки позволили измерять теплоемкость жидкостей при комнатной температуре. Наша установка позволяет измерять теплопроводность и температуропроводность прозрачных твердых тел, жидкостей и растворов в зависимости от давления и индукции магнитного поля при комнатной температуре.

Представленное устройство (рисунок 2.1) в основном состоит из лабораторного автотрансформатора (ЛАТР), тонометра, реостата, амперметра, катушки, лазерной установки типа ЛГН-109, микровольтнаноамперметра типа Ф136, термопары и измерительной ячейки [48,49,124].

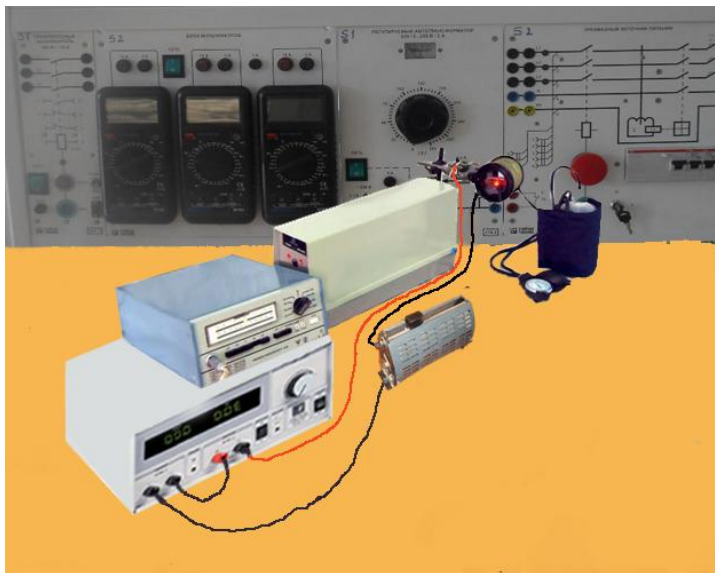
Тонометр (5) (система для создания внешнего давления): модель АТ-12; диаметр тонометра 5 см; со стандартной манжетой (50 x 14 см); с увеличенной манжетой (60 x 17 см); предел измерения от 0 до 300 мм. рт. ст.

Переносной транзисторный микровольтнаноамперметр типа Ф136 (4) предназначен для усиления и измерения малых постоянных токов и напряжений. Он может быть использован в качестве нуля индикатора в различных измерительных цепях. Отсчетное устройство двухшкальное, узкопрофильное со световым указателем. Длина шкалы 118 мм. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока.

Хромель-алюмелевые дифференциальные термопары (3) изготовлены из проволоки диаметром 0,39 мм.

Ячейка (2) изготовлена из полиэтиленового материала толщиной 0.27мм в форме призмы, размеры которой 30x5x15 мм.

Амперметр (6) Э8030-М1ТУ, класс точности 0.5%, предел измерения до 1А, номинальная частота -50 Гц.



***Рисунок 2.1.** Установка для исследования влияния магнитного поля на температуропроводность вещества методом лазерной вспышки в зависимости от давления при комнатной температуре*

Реостат (8) со скользящим контактом предназначен для плавного изменения сопротивления в электрической цепи и для получения от данного источника тока в пределах до 1 А.

Устройство работает следующим образом: Фронтальная поверхность малого образца формы призмы, т.е. ячейка (2) (рисунок 2.2), заполняется исследуемым объектом и соединяется с тонометром (5), после чего устанавливается внутри катушки (9) так, чтобы ячейка была на центре катушки и не касалась ее, и подвергается облучению. Катушка прикрепляется к штативу. Изменение температуры на тыльной стороне образца измеряется термопарой (3), спай которой прикреплен к ячейке, а концы подключены к микровольтнаноамперметру (4). Микровольтнаноамперметр установлен с помощью переключателя на 100 мкВ. Время фиксируется до снижения показания микровольтнаноамперметра (4). Максимальное время достижения температуры на тыльной поверхности τ фиксируется двухстрелочным секундомером типа С-11-1Б с точностью 0.1с. Лазерная установка ЛГН-109, микровольтнаноамперметр Ф136 и ЛАТР соединяются в сеть напряжением 220 В переменного тока.

Для решения задачи в наших условиях приведена схема ячейки (рисунок 2.2), которая состоит из двух тонких прозрачных стекол и промежуточного слоя исследуемого раствора между ними. Поверхность левой стороны ячейки нагревается мощным лазерным импульсом. Теплообмен с правой стороны ячейки с окружающей средой отсутствует. Температура в месте контакта исследуемого слоя и правого прозрачного стекла измеряется термопарой.

Решения данной задачи сводится к решению нестационарного уравнения теплопроводности (2.1) с граничными и временным условиями (2.2) – (2.3).

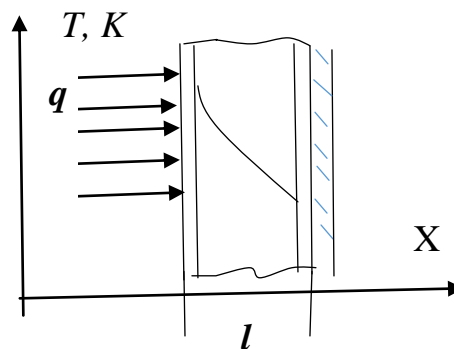


Рисунок 2.2. Схематическое представление задачи

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (2.1)$$

при $x=0$ задан тепловой поток

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.2)$$

при $x=l$ условие предельной тепловой изоляции;

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=l} = 0, \quad (2.3)$$

при $\tau=0$ - условие равномерной, постоянной толщины слоя, температура равняется T_0 .

Точность решения задачи обосновывается значением теплового потока в граничном условии (2). Согласно авторам метода [188] при реализации всех модификаций импульсных методов эта величина, как правило, принимается бесконечно большой, но однако в реальных экспериментах достижение таких

параметров теплового потока не представляется возможным. При реализации рассматриваемого метода обычно выбирают тепловой поток средней мощности. В этом случае для повышения точности метода стараются уменьшить толщину исследуемого образца. В наших условиях выбранная толщина слоя составила 0,005м.

Температуропроводность в этом случае определяется по формуле [61,129]:

$$a = \frac{1,37 \cdot l^2}{(\pi^2 \cdot \tau_{0.5})}, \quad (2.4)$$

где, l —толщина образца, $\tau_{0.5}$ - время достижения на тыльной поверхности температуры, равной половине ее максимального значения.

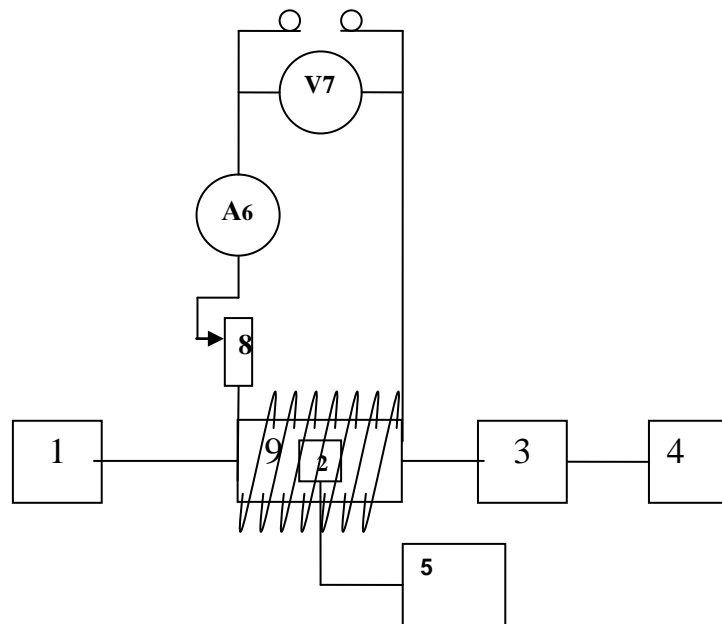


Рисунок 2.3. Схематическое изображение установки для исследования влияния магнитного поля на температуропроводность вещества методом лазерной вспышки в зависимости от давления при комнатной температуре: 1-лазерная установка ЛГН-109, 2-измерительная ячейка, 3-термопара, 4-микровольт-наноамперметр типа Ф136, 5-система для создания внешнего давления, 6-7- измерительные приборы, 8- реостат, 9- соленоид.

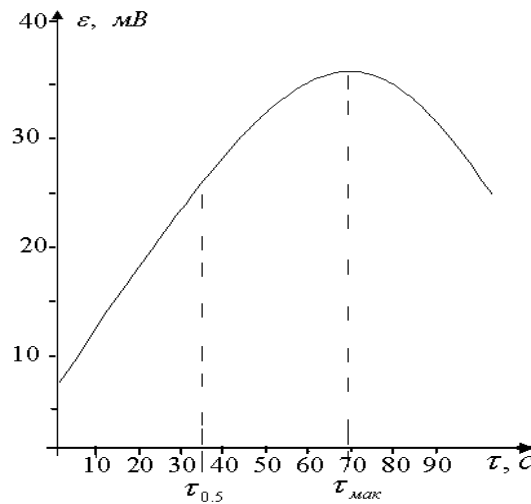


Рисунок 2.4. Зависимость перепада температуры от времени нагрева образца

Эксперимент проводится следующим образом. С помощью хромель-алюмелевой термопары измеряется температура образца на тыльной стороне и строится график зависимости $\varepsilon = f(\tau)$, который показан на рисунке 2.4.

2.2. Экспериментальная установка для измерения теплопроводности в зависимости от давления (Патент РТ №ТJ 316)

Экспериментальная установка собрана на кафедре «Теплотехника и теплотехнические оборудования» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими, позволяет измерять теплопроводность прозрачных твердых тел, жидкостей и растворов в зависимости от давления и индукции магнитного поля при комнатной температуре. Данная экспериментальная установка использована соискателями при выполнении диссертации - Зариповым Дж.А. (объект исследования – система перекись водорода - вода с добавлением лантана, стронция, марганца), Джураевым Д.С. (объект исследования – трансформаторное масло с добавкой железа), Анакуловым М.М. (объект исследования – антифриз – вода -углеродные нанотрубки) и получен малый патент Республики Таджикистан №ТJ316 (соавторы: Сафаров М.М., Джураев Д.С., Нажмуддинов Ш.З. и др.) [57].

Принцип работы, состав установки аналогичен с установкой, которая приведена выше (пункт 2.1).

Отличие установки в том, что при проведении эксперимента после нагрева испытуемого образца с помощью лазерной установки производится отключение лазерной установки и наблюдается самопроизвольное охлаждение образца. Время охлаждения образца фиксируется двухстрелочным секундомером типа С -11-1Б. По шкале зеркального микровольтнаноамперметра отмечается время прохождения светового зайчика между двумя определенными значениями шкалы микровольтнаноамперметра (рисунок 2.5).

Расчет теплопроводности производится по формуле:

$$\lambda = A \cdot C_p \cdot m, \quad (2.5)$$

где C_p - теплоемкость испытуемого образца; m - темп регулярного охлаждения; A - коэффициент формы, определяется следующим уравнением [8,10,30,31,57,66,151,158,161,163]:

$$A = \left[(\pi / 2\delta x)^2 + (\pi / 2\delta y)^2 + (\pi / 2\delta z)^2 \right]^{-1} \quad (2.6)$$

где δx - толщина стенки по оси (x); δy - толщина стенки по оси (y); δz - толщина стенки по оси (z).

Темп регулярного охлаждения определяется по формуле:

$$m = \frac{\ln \theta_1 - \ln \theta_2}{\tau_1 - \tau_2} = \frac{\ln N_1 - \ln N_2}{\tau_1 - \tau_2}, \quad (2.7)$$

где θ_1 и θ_2 —разность температур между теплообменивающимися поверхностями, вначале — τ_1 и в конце — τ_2 отсчета; N_1 и N_2 та же разность температур, выраженная числом делений шкалы микровольтнаноамперметра (рисунок 2.5).

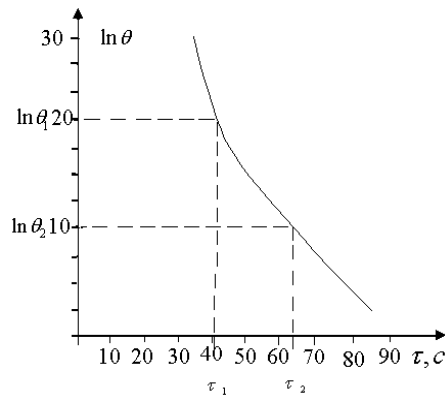


Рисунок 2.5. Зависимость перепада температуры от времени охлаждения в лазерной установке

Наиболее простым решением измерения теплофизических характеристик является метод лазерной вспышки, сущность которого состоит в поглощении в тонком слое фронтальной поверхности образца импульса лучистой энергии и в фиксировании времени и температуры тыльной стороны образца. Теплофизические характеристики образцов по измеренной информации в экспериментах могут быть рассчитаны по уравнениям (2.4) и (2.5).

Для проверки достоверности экспериментальных результатов были исследованы на разработанной экспериментальной установке теплофизические характеристики хорошо исследованных другими экспериментаторами таких жидкостей как толуол и дистиллированная вода. Результаты сопоставления представлены в таблице 2.1. Из таблицы видно что экспериментальная установка и метод расчета характеристик дают корректные результаты.

2.3. Устройство для определения электрофизических свойств магнитных жидкостей в зависимости от давления и магнитного поля (Патент РТ №ТJ372)

Экспериментальная установка собрана на кафедре «Теплотехника и теплотехнические оборудования», Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими, позволяет измерять электрофизические свойства жидкостей и растворов в зависимости от давления и индукции магнитного поля при комнатной температуре. Данная экспериментальная установка использована соискателя-

ми при выполнении диссертации - Джураевым Д.С. (объект исследования – трансформаторное масло с добавкой железа), Анакуловым М.М. (объект исследования – антифриз – вода - углеродные нанотрубки), Аминовым Ш.А. (объект исследования – вода – герметик), и получен малый патент Республики Таджикистан №ТJ 372 (соавторы: Сафаров М.М., Джураев Д.С., Нажмуддинов Ш.З. и др.) [125].

Данная установка относится к области измерительной техники и может быть использована для измерения электропроводности магнитных жидкостей при комнатной температуре, под влиянием магнитного поля. [29,30,124].

Наиболее близким по технической сущности, прототипом к предлагаемому устройству, является устройство для влияния магнитного поля на изменение температуропроводности магнитных жидкостей, состоящее из амперметра и инфракрасного детектора [30,31,9,47,66,89].

Заявленное устройство поясняется прилагаемой принципиальной схемой и состоит из двух электродов (1), прикрепленных снизу ячейки (2), размещенной в индукционной катушке (соленоиде) (3), подключенной также к тонометру (4); амперметру (5), реостату (6), лабораторному автотрансформатору (ЛАТР) (7) и резистору(8) (рисунок 2.6).

Устройство работает следующим образом: Ячейку (2) заполняют исследуемым объектом, сверху соединяют с тонометром (4), снизу с двумя электродами (1) и устанавливают в центре соленоида (3), исключая ее контакт с катушкой (3). Индукционную катушку прикрепляют к штативу. Подавая напряжение (3 - 8) Вольт лабораторным автотрансформатором (ЛАТР) (7), в индукционной катушке (3) создают магнитное поле и изменяют давление от 0,1 до 0,141 МПа. С помощью переменного резистора (8) контролируют силу тока от 0,4 до 0,97А по амперметру (5), переменный резистор (8) и амперметр (5) присоединяют последовательно к катушке (3). Подавая напряжение лабораторным автотрансформатором (ЛАТР) (7) с помощью амперметра (5) измеряется ток, возникший между двух электродов (1). Таким образом, с помощью устройства можно будет измерять электропроводность магнитных жидкостей под влиянием магнитного поля и изменения давления.

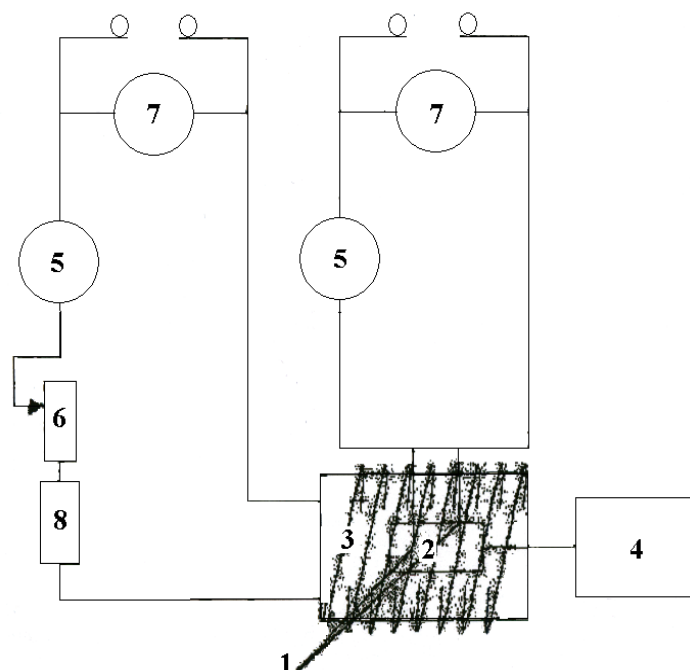


Рисунок 2.6. Блок схема экспериментальной установки для измерения электрофизических свойств электролитов при комнатной температуре

2.4. Устройство для определения электрофизических свойств электролитов в зависимости от давления (Патент РТ №ТJ 371)

Экспериментальная установка собрана на кафедре «Теплотехника и теплотехнические оборудования» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими, позволяет измерять электрофизические свойства жидкостей и растворов в зависимости от давления при комнатной температуре. Данная экспериментальная установка использована соискателем Анакуловым М.М. при выполнении диссертации (объект исследования – антифриз – вода - углеродные нанотрубки) и получено малый патент Республики Таджикистан №ТJ 371 (соавторы: Сафаров М.М., Давлатшоев С.К., Джураев Д.С. и др.) [126].

Изобретение относится к электрофизике и может быть использовано для измерения электропроводности и электросопротивления магнитных жидкостей при комнатной температуре в зависимости от давления.

Указанное устройство имеет следующие недостатки:

1. Вследствие применения трансформаторного датчика измерительное устройство имеет низкий уровень выходного параметра и соответственно большие погрешности при измерениях малых проводимостей (практически такие устройства используются для измерения удельных проводимостей более 0,1 См/м).

2. Используется линейная математическая модель функции преобразования измерительного устройства, поэтому погрешность нелинейности не корректируется, что также снижает точность измерений.

Недостатками прототипа является то, что он не позволяет производить измерения электропроводности магнитных жидкостей в зависимости от давления.

Целью изобретения является создание новой и более качественной конструкции с измеряемым током, протекающим через жидкость, и падением напряжения на объеме жидкости, дающей повышение точности измерений электропроводности и электросопротивления электролитов при комнатной температуре в зависимости от давления.

Заявленное устройство поясняется чертежом, на котором представлена принципиальная схема (рисунок 2.7). Устройство содержит измерительные каналы тока и напряжения, выходы которых прикреплены к соответствующим электродам (1) полиэтиленовой ячейки (2) с исследуемым образцом, тонометр (3) прикреплен сверху к ячейке (2) и предназначен для создания внешнего давления. Диаметр тонометра 5 см: со стандартной манжетой (50 x 14 см), с увеличенной манжетой (60 x 17 см), предел измерения от 0 до 300 мм. рт. ст., амперметр 4 Э8030-M1ТУ, класс точности 0,5%, пределы измерения до 1 А, номинальная частота 50 Гц, и автотрансформатор ЛАТР (5) являются однофазными. Номинальное первичное напряжение трансформаторов ЛАТР 220В. С пределами регулирования 0- 250В.

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

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

Устройство работает следующим образом: Полиэтиленовую ячейку (2) заполняют электролитом и исследуемым объектом и соединяют с тонометром (5) и электродами (1). Подавая напряжение лабораторным автотрансформатором (5) (ЛАТР) с помощью амперметра (4), измеряется ток, возникший между электродами (1), и с помощью тонометра (3) изменяют давление от (0,101 - 0,141) МПа.

Электропроводность образца определяется по следующей формуле:

$$\chi = \frac{S}{Rl} \cdot \quad (2.8)$$

где S -площадь плоского конденсатора, R -сопротивление и l -расстояние между пластинами.

Устройство для определения электрофизических свойств электролитов в зависимости от давления, содержащее измерительные каналы тока и напряжения, выходы которых прикреплены к соответствующим электродам, отличается тем, что дополнительно установлен тонометр, позволяющий измерить электропроводности и электросопротивления электролитов при комнатной температуре в зависимости от давления [2].



Рисунок 2.7. Устройство для определения электрофизических свойств электролитов в зависимости от давления.

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

Экспериментальная установка, собранная на кафедре «Теплотехника и теплотехнические оборудования» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими, позволяет измерять диэлектрическую проницаемость жидких диэлектриков и растворов в зависимости от температуры при атмосферном давлении. Данная экспериментальная установка использована соискателями Анакуловым М.М. при выполнении диссертации (объект исследования – антифриз – вода - углеродные нанотрубки), и получен малый патент Республики Таджикистан №ТJ 210 (соавторы: Сафаров М.М., Давлатшоев С.К., Зарипова М.А. и др.) [128].

Относительная диэлектрическая проницаемость является одной из основных характеристик диэлектриков и способы ее измерения хорошо известны. Большинство из этих способов основаны на изменении электрической емкости или активного сопротивления плоского воздушного конденсатора после помещения его в зазор исследуемого диэлектрика. Известен способ определения диэлектрической проницаемости жидких и плоских твердых диэлектриков [91], где применяют динамический конденсатор, образуемый подвижным электродом и вращающимся металлическим диском, на котором закреплен поляризованный пленочный электрет.

Этот способ имеет ряд недостатков и ограничений. Применение электрического привода для вращения электрета делает этот способ недостаточно технологичным и ограничивает частотный интервал измерений диэлектрической проницаемости. Сложность способа определяется необходимостью измерений толщины образца, расстояние между электродами и величины зазора между образцом и вращающимся электретом, а также необходимостью вычислений измеряемой величины. Точность измерений принципиально не может быть достаточно высокой, т.к. кроме известной роли краевых эффектов, проявляемых в случаях, когда величина зазора измерительного конденсатора сравнима с размерами обкладок конденсатора, возникают и другие источники ошибок, например

зависящие от степени неоднородности распределения заряда по поверхности электрета.

По другому способу определения диэлектрической проницаемости жидких и плоских твердых диэлектриков [92] применяется плоский воздушный конденсатор с регулируемым зазором, приложенный к электродам с переменным электрическим напряжением. Согласно этому способу устанавливают зазор воздушного конденсатора равного толщине образца, преобразуют ток конденсатора в напряжение, например с помощью операционного усилителя, регулируют это напряжение, добиваясь его значения, численно равного или кратного диэлектрической проницаемости воздуха. Затем, помещают образец вплотную между электродами конденсатора и определяют искомое значение по показаниям регистрирующего прибора, например вольтметра (рисунок 2.8).

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

Известен еще один способ измерения диэлектрической проницаемости [58]. При этом способе, изменяя величину зазора плоского измерительного конденсатора, к обкладкам которого приложено переменное напряжение, добиваются равенства токов конденсатора для случаев, когда исследуемый образец помещен в зазор конденсатора, как и в отсутствие последнего.

Недостаток способа в том, что при измерении диэлектрической проницаемости необходимы дополнительные операции измерений толщины образца и величины межэлектродного зазора измерительного конденсатора, а также вычислительные операции.

Другой недостаток приведенных способов заключается в том, что относительная диэлектрическая проницаемость жидких диэлектриков измеряется синхронно с температурой термостата, которая отличается от температуры исследуемой жидкости.

Приведенные способы не имеют схожих признаков с заявляемым.

Целью предполагаемого изобретения является разработка способа с меньшими действиями, затратами времени и более точными результатами измерений.

На чертеже показана принципиальная схема, позволяющая реализовать этот способ (рисунок 2.8). Измерительный плоский конденсатор образован измерительными электродами (А) и (Б), погруженными в исследуемую жидкость (2), находящуюся в электрохимической ячейке (1). Электроды соединены с измерителем емкости (3). В электрохимическую ячейку 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:

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

где ε - диэлектрическая проницаемость исследуемой жидкости;

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

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

Предлагаемый способ упрощает измерение относительной диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков и повышает его точность.

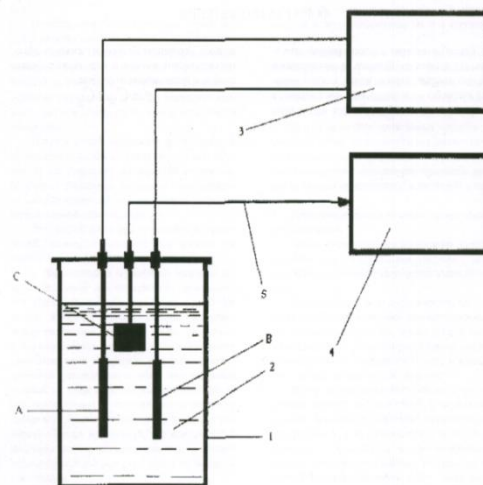


Рисунок 2.8. Способ измерения диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков; 1-Электрохимическая ячейка; 2-Исследуемая жидкость; 3-Измеритель емкости конденсатора; 4-Индикатор; 5-Провода; А и В – Электроды; С- Термометр

Сравнение литературных данных и результатов контрольных измерений по теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности и диэлектрической проницаемости для воды и толуола приведено в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Сравнение литературных данных и результатов контрольных измерений

Обозначение	Вода			Толуол		
	Лит.	Экспер.	Погреш.	Лит.	Экспер.	Погреш.
$\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	560	569	1,61	131,6	129	1,976
$C_p, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	4,182	4,19	0,19	1,245	1,253	0,643
$a \cdot 10^7, \text{м}^2/\text{с}$	1,42	1,46	2,74	0,882	0,895	1,453
ε	81	80,52	0,59	2,379	2,371	0,34

Из таблицы 2.2, видно, что сравнение литературных данных и результатов контрольных измерений образцов воды и толуола на установке по методу монотонного разогрева, разработанному профессором Е.С. Платуновым, погрешность по теплопроводности и теплоемкости составляет до 2%. По температуропроводности, измеряемой методом лазерной вспышки, погрешность составляет до 3% и по диэлектрической проницаемости, измеряемой методом плоского конденсатора, - до 1%.

2.6. Оценка погрешности измерения теплофизических свойств исследуемых веществ

Расчет погрешности экспериментальных данных по теплофизическим и электрофизическим свойствам проводили согласно методике, приведенной в работах [13,15,18-20, 23, 42, 68, 72, 81, 90, 95, 96, 131-133, 138, 140-143].

Среднее арифметическое значение (выборочное среднее) \bar{y} результатов наблюдений определяется по формуле:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (2.10)$$

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

По нижеследующим формулам определяется абсолютная S и относительная $S_{отн}$ величины выборочного среднего квадратичного отклонения результата одного наблюдения:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} ; \quad (2.11)$$

$$S_{отн} = \frac{S}{\bar{y}} \cdot 100\% . \quad (2.12)$$

Для расчета абсолютной $S_{\bar{y}}$ и относительной $S_{\bar{y}отн}$ для оценки величины среднеквадратичного отклонения результата серии наблюдений использовали формулы:

$$S_{\bar{y}} = \frac{S}{\sqrt{n}}; \quad (2.13)$$

$$S_{\bar{y}отн} = \frac{S_{\bar{y}}}{\bar{y}} \cdot 100\% . \quad (2.14)$$

Доверительная граница случайной погрешности результата измерений $\Delta_{сл}$ вычисляется по формуле:

$$\Delta_{сл} = S_{\bar{y}} \cdot t_{n-1, 1-\varepsilon/\alpha}, \quad (2.15)$$

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

Доверительная граница не исключенной систематической погрешности результата измерения θ определяется по формуле:

$$\theta = K \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2}, \quad (2.16)$$

где K – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью и при $\alpha=0,95$ равный 1,1; θ_j – граница j -й соответствующей не исключенной систематической погрешности.

Доверительную границу погрешности результатов измерения определяем по формуле:

$$\Delta = t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma}. \quad (2.17)$$

Среднее квадратичное отклонение суммы неисключенных систематических и случайных погрешностей S_{Σ} вычисляется по формуле:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\bar{y}}^2 + S_v^2}, \quad (2.18)$$

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

Коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной погрешностей t_{Σ} , вычисляется по формуле:

$$t_{\Sigma} = \frac{\theta + S_{\bar{y}} \cdot t_x}{S_v + S_{\bar{y}}}, \quad (2.19)$$

где t_x – коэффициент Стьюдента, зависящий от выбранной доверительной вероятности α и числа наблюдений.

Доверительная граница погрешности результата косвенных измерений величины, являющейся функцией $y = F(y_1, y_2, \dots, y_n)$ при $\alpha=0,95$ вычисляется по формуле:

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial y_1}\right)^2 (\Delta y_1)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y_2}\right)^2 (\Delta y_2)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial y_n}\right)^2 (\Delta y_n)^2}, \quad (2.20)$$

где $\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_n$ – доверительная граница погрешности результатов измерений величин y_1, y_2, \dots, y_n .

Расчет доверительной границы погрешности измерения в относительной форме производится по формуле:

$$\sigma = \frac{\Delta y}{y} \cdot 100\% . \quad (2.21)$$

Согласно уравнению (2.21) с учетом (2.10)–(2.21), доверительная граница погрешности результатов измерений теплопроводности по методу монотонного разогрева определяется из соотношения:

$$\Delta \lambda = \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda}{\partial h}\right)^2 (\Delta h)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial (\Delta T_o)}\right)^2 (\Delta T_o)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial S}\right)^2 (\Delta S)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial (\Delta T_t)}\right)^2 (\Delta T_t)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial K}\right)^2 (\Delta K)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \sigma}\right)^2 (\Delta \sigma)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial P_K}\right)^2 (\Delta P_K)^2} , \quad (2.22)$$

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

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

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

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

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

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

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

С помощью уравнений (2.22) и с учетом соотношений (2.10)– (2.21) вычислена доверительная граница погрешности измерений в относительной форме при $\alpha=0,95$.

Для расчета методической погрешности измерения температуры опыта использована методика, предложенная в [15, 23, 42, 141,143], а также учтена

инструментальная погрешность при измерении ЭДС термопары потенциометром. Необходимая информация для количественной оценки погрешности содержится в П.2.1 и П.2.2.

Расчеты показали, что доверительная граница погрешности теплопроводности при измерении по методу монотонного разогрева в относительной форме при $\alpha=0,95$ составляет 1,9 %, методическая погрешность 0,2%, инструментальная погрешность 1,1%. Общая относительная погрешность измерений составляет 3,2%.

Согласно уравнению (2.1), доверительная граница погрешности результатов измерений температуропроводности по методу лазерной вспышки, основанном на быстром локальном нагреве поверхности образца лазерным импульсом, определяется из соотношения:

$$\Delta a = \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial l}\right)^2 (\Delta l)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial \tau}\right)^2 (\Delta \tau)^2}, \quad (2.23)$$

где, $\frac{\partial a}{\partial l} = \frac{2,74 \cdot l}{\pi^2 \cdot \tau_{0,5}} = \frac{2,74 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{3,14^2 \cdot 44,5} = \frac{13,7 \cdot 10^{-3}}{438,75} = 0,03 \cdot 10^{-3},$

$$\frac{\partial a}{\partial \tau} = -\frac{1,37 \cdot l^2}{\pi^2 \cdot \tau_{0,5}^2} = -\frac{1,37 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2}{3,14^2 \cdot 44,5^2} = -\frac{34,25 \cdot 10^{-6}}{19524,5} = -0,00175 \cdot 10^{-6}$$

Необходимая информация для количественной оценки погрешности температуропроводности содержится в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Исходные данные для количественной оценки доверительной границы погрешности результатов измерений температуропроводности по методу лазерной вспышки

№п/п	Наименование	Величина
1.	Толщина измерительной ячейки, l , м	$5 \cdot 10^{-3}$
2.	Погрешность измерения толщины измерительной ячейки (штангенциркулем), Δl , м	$3 \cdot 10^{-5}$
3.	Половина времени достижения температуры на тыльной поверхности образца, $\tau_{0,5}$, сек	44,5

№п/п	Наименование	Величина
4.	Погрешность измерения времени достижения температуры на тыльной поверхности образца (секундомером), $\Delta\tau$, сек	0,1
5.	Доверительная граница погрешности измерений температуропроводности в относительной форме при $\alpha=0,95$, %	1,2
6.	Методическая погрешность, %	0,2
7.	Инструментальная погрешность, %	0,4
8.	Общая относительная погрешность измерения теплопроводности по методу монотонного разогрева, %	1,8

Согласно уравнению (2.4), доверительная граница погрешности результатов измерений электропроводности по методу плоского конденсатора из соотношения:

$$\Delta\chi = \sqrt{\left(\frac{\partial\chi}{\partial R}\right)^2 (\Delta R)^2 + \left(\frac{\partial\chi}{\partial l}\right)^2 (\Delta l)^2 + \left(\frac{\partial\chi}{\partial S}\right)^2 (\Delta S)^2}, \quad (2.24)$$

$$\text{где, } \frac{\partial\chi}{\partial R} = -\frac{l}{R^2 \cdot S} = \frac{27,75 \cdot 10^{-3}}{562,5^2 \cdot 1,128 \cdot 10^{-3}} = \frac{27,75 \cdot 10^{-3}}{356,91} = -0,077 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{\partial\chi}{\partial l} = \frac{l}{RS} = \frac{27,75 \cdot 10^{-3}}{562,5 \cdot 1,128 \cdot 10^{-3}} = \frac{27,75 \cdot 10^{-3}}{634,5 \cdot 10^{-3}} = 0,044$$

$$\frac{\partial\chi}{\partial S} = \frac{l}{R} \left(\frac{1}{S^2} \right) = \frac{27,75 \cdot 10^{-3}}{562,5} \left(\frac{1}{(1,128 \cdot 10^{-3})^2} \right) = \frac{27,75 \cdot 10^{-3}}{562,5} \left(\frac{1}{1,27 \cdot 10^{-6}} \right) = 0,042 \cdot 10^{-3} \cdot 0,787 \cdot 10^6 = 33$$

Вставляя значение уравнения 2.23, получим:

$$\Delta\chi = \sqrt{\left(\frac{\partial\chi}{\partial R}\right)^2 (\Delta R)^2 + \left(\frac{\partial\chi}{\partial l}\right)^2 (\Delta l)^2 + \left(\frac{\partial\chi}{\partial S}\right)^2 (\Delta S)^2} =$$

$$= \sqrt{(-0,077 \cdot 10^{-3})^2 (0,5)^2 + 0,044^2 (3 \cdot 10^{-5})^2 + 33^2 (3 \cdot 10^{-5})^2} =$$

$$= \sqrt{0,0015 \cdot 10^{-6} + 0,017 \cdot 10^{-10} + 0,98 \cdot 10^{-6}} = \sqrt{0,9815 \cdot 10^{-6}} = 0,99 \cdot 10^{-3}$$

Необходимая информация для количественной оценки погрешности электропроводности содержится в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Исходные данные для количественной оценки доверительной границы погрешности результатов измерений электропроводности по методу плоского конденсатора

№п/п	Наименование	Величина
1.	Расстояние между пластиной, l , м	$27,75 \cdot 10^{-3}$
2.	Площадь пластины конденсатора, S , m^2	$1,128 \cdot 10^{-3}$
3.	Погрешность измерения расстояний между пластиной и площади пластины конденсатора (штангенциркулем), Δl , м	$3 \cdot 10^{-5}$
4.	Электропроводность контрольного образца (дистиллированная вода), χ , $Cm \cdot m^{-1}$	0,0001
5.	Погрешность измерения электропроводности контрольного образца (дистиллированная вода) при комнатной температуре, %	1,1
6.	Доверительная граница погрешности измерений температуропроводности в относительной форме при $\alpha=0,95$, %	1,2
7.	Методическая погрешность, %	0,0013
8.	Инструментальные погрешности измерения электропроводности (вольтметр), %	0,5
9.	Инструментальные погрешности измерения электропроводности (миллиамперметр), %	0,5
10.	Общая относительная погрешность измерения теплопроводности по методу плоского конденсатора, %	2,1

ГЛАВА 3. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И ДИФ- FUЗИОННЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ ГИДРАЗИНГИДРАТ + НАНО- СТРУКТУРНЫЕ ОКСИДЫ МЕТАЛЛОВ (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$ и др.)

3.1. Теплоемкость, теплопроводность, плотность, температуропроводность и коэффициент молекулярной диффузии системы гидразингидрат + наноструктурные оксиды металлов в зависимости от температуры при атмосферном давлении.

На разработанной Е.С. Платуновым экспериментальной установке была измерена удельная теплоемкость гидразингидрата в зависимости от температуры $T=(298-348)\text{K}$, при $P=0,101\text{ МПа}$ и концентрации от 0,1% до 0,3% (с интервалом 0,05%) наноструктурных оксидов металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$ и др.), (таблица 3.1 и П.3.1-П.3.5) [4,5,46,47,51,54,55,71,84,137,172,176,182,184-187].

В таблице 3.1. и (П.3.1, П.3.2) приведены результаты обработки экспериментальных данных теплоемкости исследуемых образцов в зависимости от температуры и концентрации наноструктурных оксидов металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$ и др.).

Таблица 3.1. Экспериментальные значения теплоемкости (C_p , Дж/(кг·К)) исследуемых объектов в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной оксиды алюминия (Al_2O_3 $d=50\text{nm}$) при атмосферном давлении

n , %	T, 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

Характер изменения теплоемкости гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$ и др.) показан на рисунке 3.1, из которого видно, что с ростом температуры теплоемкость исследуемых объектов увеличивается по линейному закону, а в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$ и др.) уменьшается. Например: при увеличении концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$ и др.) от 0,1 %. до 0,3 %. при температуре 298К теплоемкость уменьшается на $\sim 8,5\%$, а при 323 К при концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$ и др.) 0,3 %. увеличивается на $\sim 14\%$.

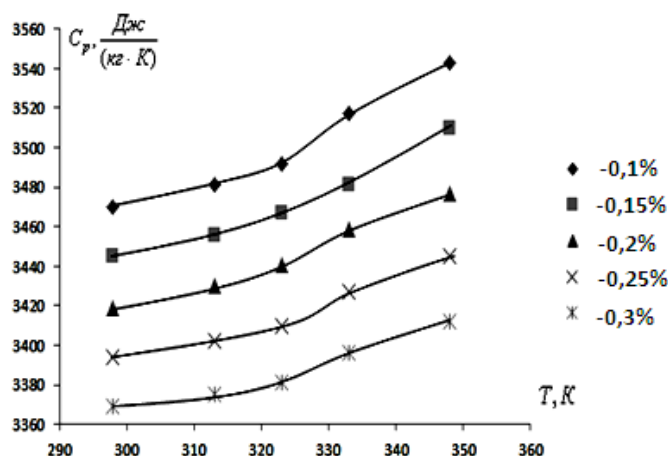


Рисунок 3.1. Зависимость теплоемкости исследуемых объектов от температуры и концентрации наноструктурной окиси железа (Fe_2O_3 $d=50\text{nm}$) при атмосферном давлении

Кроме того, экспериментально исследована теплопроводность гидразингидрата в зависимости от концентрации 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 %. наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) и температур в интервале 298–348К при атмосферном давлении [38, 39, 75, 76, 79, 144, 175, 179, 183, 186].

Полученные экспериментальные значения теплопроводности гидразингидрата в зависимости от концентрации 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 %. наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$ и др.) и температуры при атмосферном давлении приводятся в таблице 3.2. и П.3.6-П.3.10 [38, 39, 144, 175, 176, 179, 183, 186, 187].

Таблица 3.2. Экспериментальные значения теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси железа (Fe_2O_3 $d=50\text{нм}$) при атмосферном давлении

$n, \%$	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

Как видно из рисунка 3.2, с ростом температуры и концентрации наноструктурной окиси титана (TiO_2 $d=50\text{нм}$) теплопроводность системы увеличивается. Например: при увеличении концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.) от 0,1% до 0,3% при температуре 298К теплопроводность увеличивается на $\sim 15,2\%$, а при 323К при этой же концентрации увеличивается на $\sim 8,5\%$.

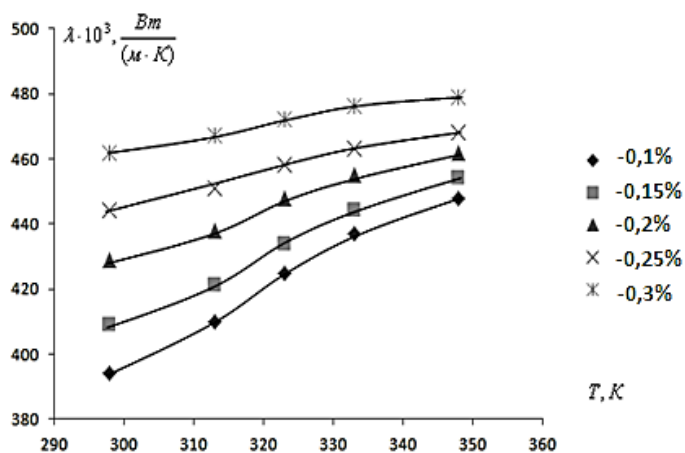


Рисунок 3.2. Теплопроводность исследуемых объектов в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси титана (TiO_2 $d=50\text{нм}$) при атмосферном давлении

Температуропроводность испытуемого образца в зависимости от температуры определяется следующим уравнением [39,50,52,145,176,183, 186, 187]:

$$a = \frac{\lambda}{C_p \cdot \rho}, \quad \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right] \quad (3.1)$$

где λ – теплопроводность испытуемого образца в зависимости от температуры по таблице 3.2. и (П.3.6-П.3.10); C_p – теплоемкость испытуемого образца в зависимости от температуры по таблице 3.1. и (П.3.1-П.3.5); ρ – плотность испытуемого образца в зависимости от температуры и концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм и др.). Данные приведены в таблице 3.3 и (П.3.11, П.3.12) [135,173,174,180,181,53,55, 56,176,177].

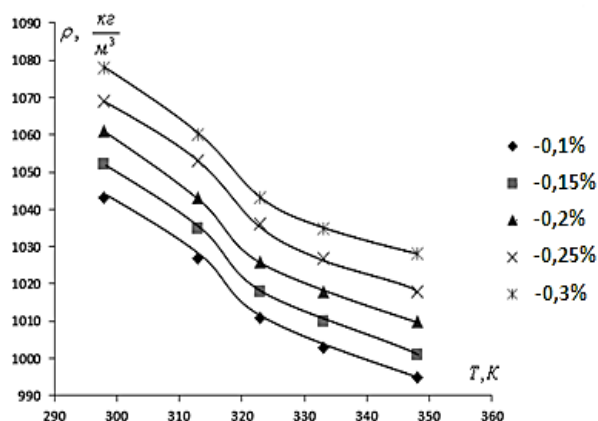


Рисунок 3.3. Зависимость плотности исследуемых объектов от температуры и концентрации наноструктурной окиси алюминия (Al_2O_3 d=50нм) при атмосферном давлении

Таблица 3.3. Плотность (ρ , кг/м³) образца в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси титана (TiO_2 d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	T, K				
	298	313	323	333	348
0,1	1036	1022	1006	997	990
0,15	1038	1027	1012	1003	995
0,2	1041	1033	1019	1010	1002
0,25	1043	1036	1026	1019	1012
0,3	1045	1040	1034	1026	1018

В таблице 3.4 и (П.3.13-П.3.17) приведены расчетные данные по температуропроводности исследуемых образцов в зависимости от температуры и концентрации наноструктурных окисей металлов. Из рисунка 3.4. видно, что при увеличении температуры и концентрации наноструктурных окисей металлов темпера-

туропроводность образцов увеличивается. Например: при увеличении концентрации нанодобавок исследуемого образца от 0,1% до 0,3% при температуре 298K температуропроводность увеличивается на ~16%, а при 348K при этой же плотности увеличивается на ~8,8%.

Расчет коэффициента молекулярной диффузии испытываемых образцов в зависимости от температуры и давления определяется по формуле:

$$D = \frac{\lambda \cdot \mu}{C_p \cdot \rho} \cdot \left[\frac{m^2}{c} \cdot \frac{кг}{мол} \right] \quad (3.2)$$

где λ – теплопроводность испытываемого образца в зависимости от температуры по таблице 3.2. и (П.3.6-П.3.10); C_p – теплоемкость испытываемого образца в зависимости от температуры по таблице 3.1. и (П.3.1-П.3.5); ρ – плотность испытываемого образца в зависимости от температуры и концентрации приведена в таблице 3.3 и (П.3.11, П.3.12); μ – молярная масса наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм и др.), кг/моль

Таблица 3.4. Температуропроводность ($\alpha \cdot 10^7, м^2 / с$) испытываемого образца в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси алюминия (Al_2O_3 d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	T, K				
	298	313	323	333	348
0,1	1,03	1,09	1,15	1,18	1,21
0,15	1,08	1,12	1,17	1,20	1,22
0,2	1,10	1,14	1,19	1,21	1,23
0,25	1,16	1,19	1,23	1,24	1,26
0,3	1,19	1,22	1,26	1,27	1,28

В таблице 3.5. и (П.3.18-П.3.22), приведены расчетные данные по коэффициенту молекулярной диффузии исследуемых образцов в зависимости от температуры и концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм и др.). Из рисунка 3.5 видно, что при увеличении температуры и концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм и др.) ко-

эффицент молекулярной диффузии образцов увеличивается. Например: при увеличении концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$ и др.) исследуемого образца от 0,1% на 0,3% при температуре 298K коэффициент молекулярной диффузии увеличивается до 15,4%, а при температуре 323K коэффициент молекулярной диффузии увеличивается до 8,8%.

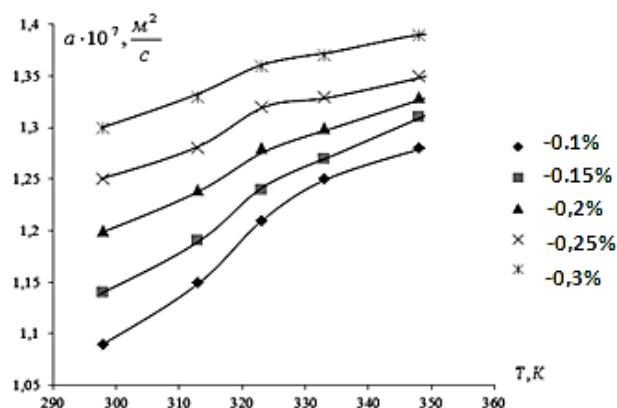


Рисунок 3.4. Зависимость температуропроводности исследуемых объектов от температуры и концентрации наноструктурной окиси титана (TiO_2 $d=50\text{nm}$) при атмосферном давлении

Таблица 3.5. Коэффициент молекулярной диффузии ($D \cdot 10^7, \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$) системы гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси алюминия (Al_2O_3 $d=50\text{nm}$) при атмосферном давлении

$n, \%$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	0,105	0,111	0,117	0,120	0,124
0,15	0,110	0,115	0,119	0,122	0,125
0,2	0,113	0,117	0,122	0,124	0,126
0,25	0,119	0,122	0,126	0,127	0,129
0,3	0,122	0,125	0,128	0,130	0,131

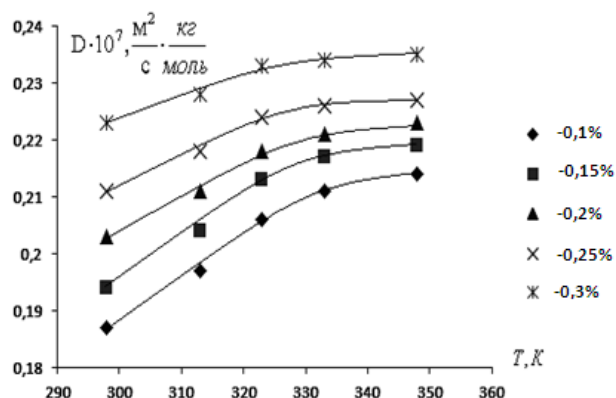


Рисунок 3.5. Зависимость коэффициента молекулярной диффузии исследуемых объектов от температуры и концентрации наноструктурной окиси железа (Fe_2O_3 $d=50\text{nm}$) при атмосферном давлении

Как видно из таблицы 3.5, увеличение температуры увеличивает коэффициент молекулярной диффузии исследуемых образцов.

Например: При увеличении температуры от 298K до 348K коэффициент молекулярной диффузии образца (0,1% наноструктурной окиси железа (Fe_2O_3 $d=50\text{nm}$) и гидразингидрат) увеличивается на 14,4 %, а для образца (0,3% наноструктурной окиси железа (Fe_2O_3 $d=50\text{nm}$) и гидразингидрат) при данном интервале температур это изменение доходит до 5,6%, т.е. чем больше концентрация наноструктурных окисей металлов, тем меньше коэффициент молекулярной диффузии.

3.2. Температуропроводность, теплопроводность, плотность, теплоемкость и коэффициент молекулярной диффузии системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2$ $d=50\text{nm}$ и др.) в зависимости от давления при комнатной температуре

Расчет температуропроводности исследуемых объектов методом лазерной вспышки в зависимости от давления при комнатной температуре производится по формуле 2.1.

Результаты расчетов температуропроводности в зависимости от давления приведены в таблице 3.6. и (П.3.23-П.3.27) [39,46,47,50,52,71, 145, 176, 186, 187].

Расчет теплопроводности в зависимости от давления производится по формуле 2.2.

Результаты расчетов теплопроводности в зависимости от давления приведены в таблице 3.7. и (П.3.28-П.3.32).

Расчет теплоемкости в зависимости от концентрации производится по следующей формуле:

$$C_p = \frac{\lambda}{a \cdot \rho} , \quad \left[\frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \right] \quad (3.3)$$

где a – температуропроводность испытуемого образца в зависимости от давления и концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.), (по таблице 3.6. и (П.3.23-П.3.27)); λ – теплопроводность испытуемого образца в зависимости от давления и концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.), (по таблице 3.7. и П.3.28-П.3.32), ρ – плотность испытуемого образца в зависимости от концентрации (по таблице 3.8).

Результаты расчетов теплоемкости испытуемого образца в зависимости от концентрации нанодобавок приведены в таблице 3.9 [26,51, 54,55,137,176,184-187].

Согласно таблицам 3.6, 3.7. можно заключить следующее: при увеличении давления (0,101 до 0,141)МПа температуропроводность системы гидразингидрат + 0,1% наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.) увеличивается до 16,6% и теплопроводность увеличивается до ~15,2%. Для системы гидразингидрат + 0,3% наноструктурные окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.) эти изменения составляют: температуропроводность 14% и теплопроводность ~12,6.

Таблица 3.6. Температуропроводность ($a \cdot 10^7, \text{м}^2/\text{с}$) испытуемой системы гидразингидрат + наноструктурная окись алюминия (Al_2O_3 d=50нм) в зависимости от давления

$n, \%$	Р, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	1,05	1,09	1,12	1,15	1,19	1,23	1,25
0,15	1,1	1,15	1,17	1,21	1,24	1,27	1,3
0,2	1,16	1,2	1,23	1,25	1,29	1,33	1,35
0,25	1,2	1,25	1,27	1,3	1,34	1,37	1,39
0,3	1,26	1,29	1,32	1,35	1,4	1,42	1,45

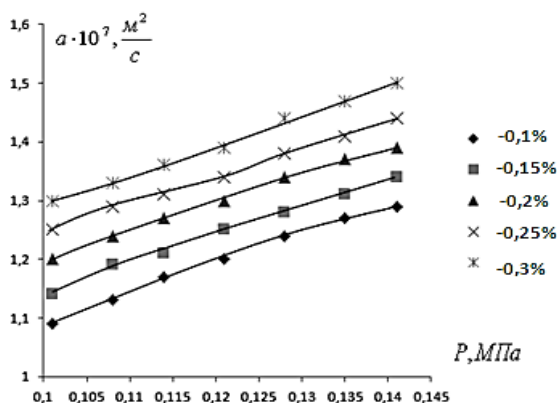


Рисунок 3.6. Зависимость температуропроводности исследуемых объектов от давления и концентрации окиси титана (TiO_2 d=50нм) при комнатной температуре

Таблица 3.7. Теплопроводность ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) системы гидразингидрат + окись железа (Fe_2O_3 d=50нм) в зависимости от давления

$n, \%$	Р, 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

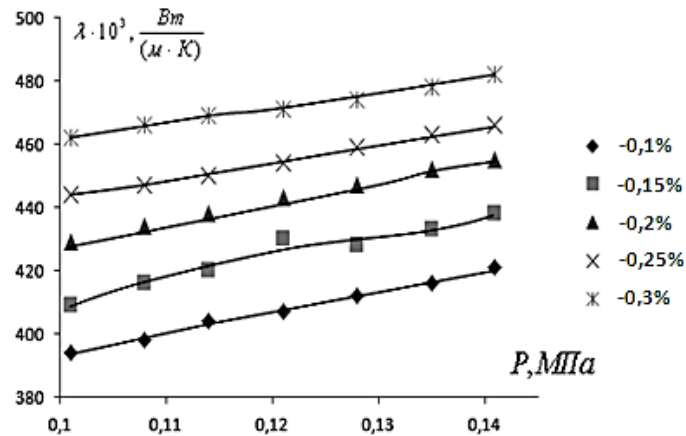


Рисунок 3.7. Зависимость теплопроводности гидразингидрата от давления и концентрации окиси титана (TiO_2 $d=50\text{нм}$) при комнатной температуре

Согласно таблицам 3.8-3.10, можно заключить следующее: при увеличении концентрации (0,1 до 0,3)% плотность системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.) увеличивается до ~2,47%, теплоемкость уменьшается ~4,03, коэффициент молекулярной диффузии увеличивается до ~16,17%.

Таблица 3.8. Плотность (ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$) гидразингидрата в зависимости от концентрации окиси металлов при комнатной температуре и атмосферном давлении

n , %	Обозначение объектов		
	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
0,1	1036	1036	1037
0,15	1038	1038	1040
0,2	1041	1040	1042
0,25	1043	1042	1045
0,3	1045	1044	1048

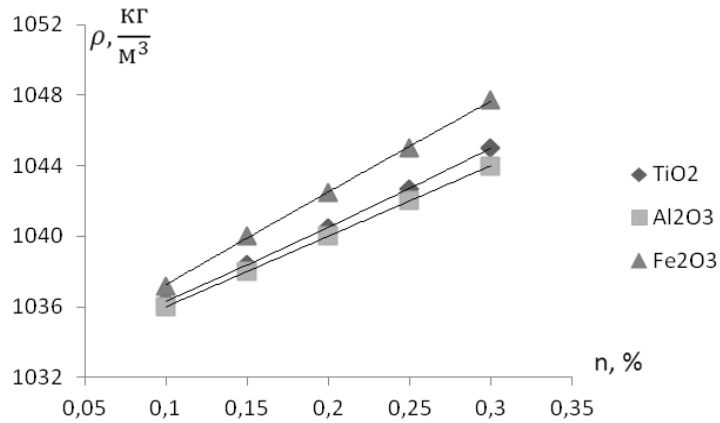


Рисунок 3.8. Зависимость плотности гидразингидрата от концентрации окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.); при $T_1=298\text{K}$, $P=101\text{МПа}$.

Таблица 3.9. Теплоемкость (C_p , Дж/(кг·К)) гидразингидрата в зависимости от концентрации окиси металлов при комнатной температуре и атмосферном давлении

n, %	Обозначение объектов		
	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
0,1	3475	3438	3486
0,15	3455	3430	3473
0,2	3436	3411	3459
0,25	3417	3400	3451
0,3	3401	3392	3426

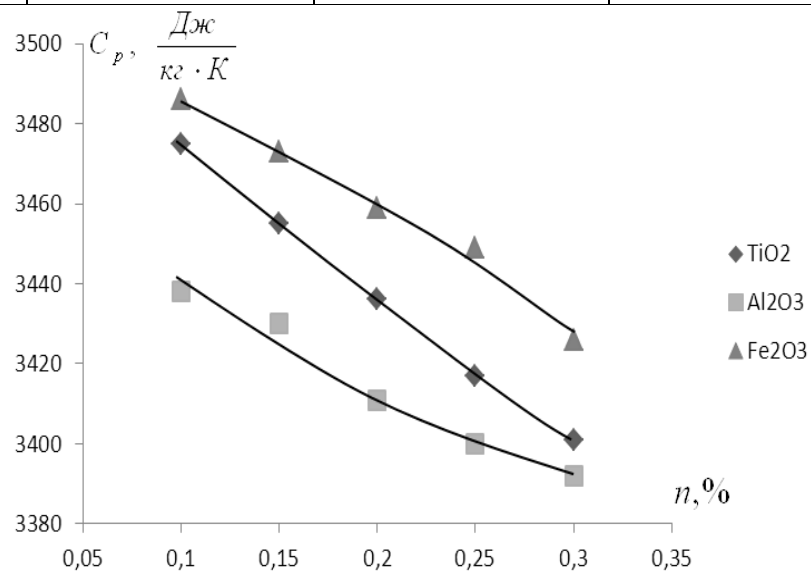


Рисунок 3.9. Зависимость теплоемкости гидразингидрата от концентрации окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.); при $T_1=298\text{K}$, $P=101\text{МПа}$.

Расчет коэффициента молекулярной диффузии исследуемых образцов в зависимости от концентрации производится по формуле (3.2).

Теплоемкость испытуемого образца в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм), (по таблице 3.9), где λ –теплопроводность испытуемого образца в зависимости от давления и концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм), (по таблице 3.7. и П.3.28-П.3.32), ρ –плотность испытуемого образца в зависимости от концентрации (по таблице 3.8) [80,135,173,174,180, 181,53,55,176,177].

Результаты расчетов коэффициента молекулярной диффузии испытуемого образца в зависимости от концентрации приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10. Коэффициент молекулярной диффузии ($D \cdot 10^7$, $\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$) гидразингидрата в зависимости от концентрации окисей металлов

n, %	Обозначение объектов		
	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
0,1	0,0872	0,107	0,187
0,15	0,0912	0,113	0,194
0,2	0,096	0,116	0,203
0,25	0,100	0,123	0,211
0,3	0,104	0,127	0,222

Характер изменения температуропроводности и теплопроводности исследуемых объектов в зависимости от давления при комнатной температуре показан на рисунках 3.6, 3.7. Характер изменения плотности, теплоемкости и коэффициента молекулярной диффузии исследуемых объектов в зависимости от концентрации при атмосферном давлении и комнатной температуре показан на рисунках 3.8 - 3.10, из которых видно, что с увеличением давления температуропроводность и теплопроводность исследуемых образцов увеличивается, с увеличением концен-

трации плотность, коэффициент молекулярной диффузии исследуемых образцов увеличивается, а теплоемкость уменьшается.

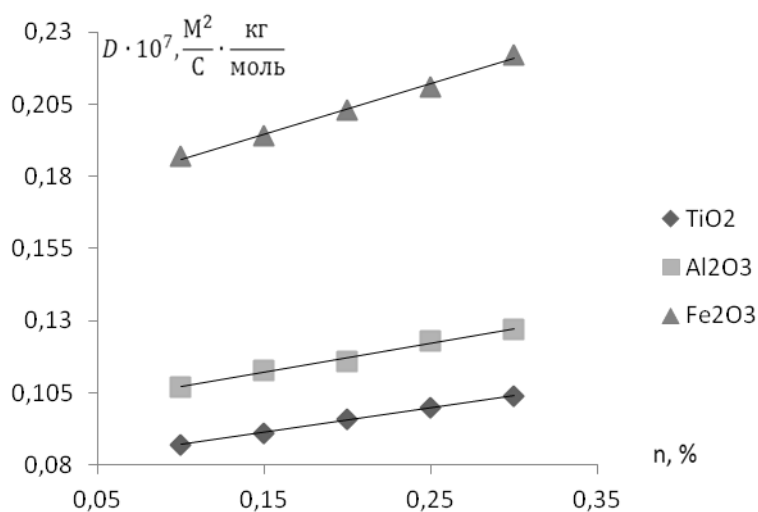


Рисунок 3.10. Зависимость коэффициента молекулярной диффузии гидразин-гидрата от концентрации окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.); при $T_1=298\text{K}$, $P=101\text{МПа}$.

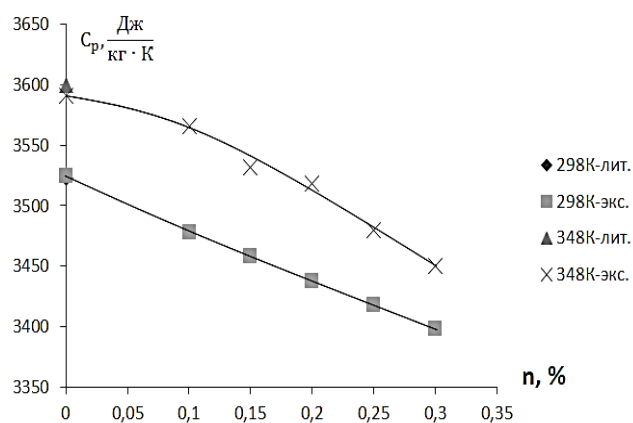


Рисунок 3.11. Теплоемкость гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурной окиси алюминия (Al_2O_3 $d=50\text{нм}$); при $T_1=298\text{K}$, $T_2=348\text{K}$.

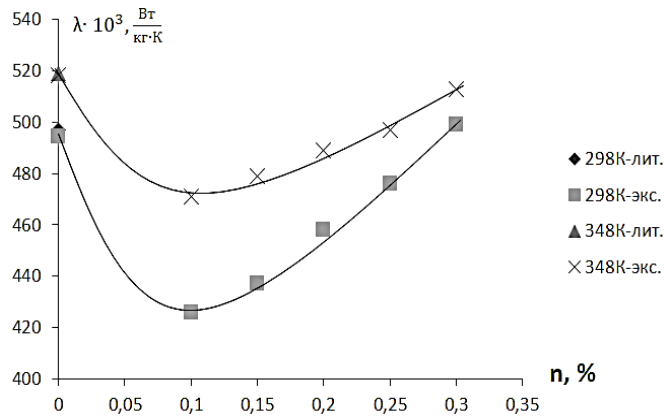


Рисунок 3.12. Теплопроводность гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурной окиси железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3, d=50\text{nm}$); при $T_1=298\text{K}$, $T_2=348\text{K}$.

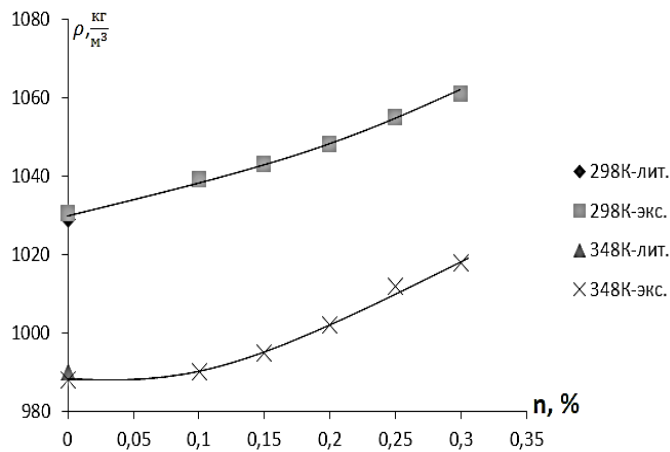


Рисунок 3.13. Плотность гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурной окиси титана ($\text{TiO}_2, d=50\text{nm}$); при $T_1=298\text{K}$, $T_2=348\text{K}$.

На рисунках 3.11-3.14 представлены экспериментальные и литературные данные по теплофизическим свойствам (теплоемкость, теплопроводность, плотность и температуропроводность) 100% - го гидразингидрата и с концентрациями наноструктурных окисей металлов до 0,3% при различных температурах ($T_1=298\text{K}$, $T_2=348\text{K}$) и атмосферном давлении.

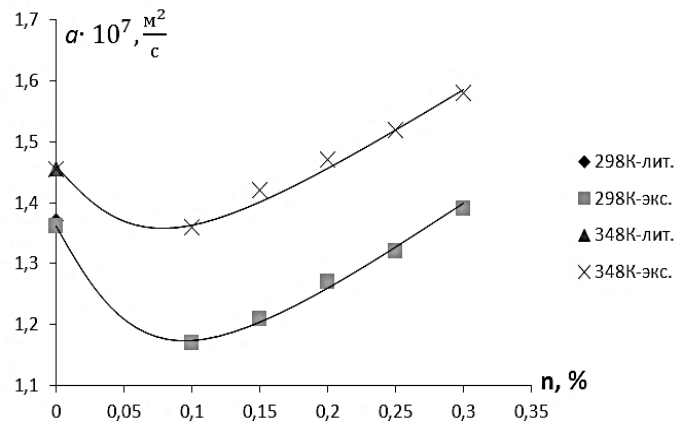


Рисунок 3.14. Температуропроводность гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурной окиси железа (Fe_2O_3 $d=50$ нм); при $T_1=298K$, $T_2=348K$.

Как видно из графиков (рисунки 3.11-3.14) концентрации наноструктурных окисей металлов в гидразингидрате, в начале уменьшает теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность систем (рисунки 3.11, 3.12, 3.14), а плотность в зависимости от концентрации увеличивается во всем интервале температур (рисунок 3.13).

Характер изменения теплопроводности и температуропроводности одинаков. Теплопроводность и температуропроводность гидразингидрата при концентрации наноструктурных окисей металлов до 0,1%, уменьшаются, а затем увеличиваются. Имеет аномальный спад теплопроводность и температуропроводность системы при $n=0,1\%$.

3.3. Термодинамические свойства исследуемых объектов при различных температурах

Для расчета термодинамических свойств исследуемых объектов при атмосферном давлении можно рассмотреть два подхода [1,7,21,22,43,60,70,82,85,134,136]. В первом методе - традиционном, измеряется плотность при различных температурах и давлениях, несколько превышающих атмосферное давление. По

полученному на базе этих данных уравнению состояния определяют термодинамические свойства объектов.

Во втором [85] – определение термодинамических свойств базируется на экспериментальном исследовании плотности ρ , изобарной теплоемкости C_p и скорости звука ω только при атмосферном давлении.

На основе экспериментальных данных по теплоемкости исследуемых объектов нами рассчитаны термодинамические свойства по следующим формулам [11,24, 38,39,51,55,154,181,185,186]:

-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

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

Вычисленные значения некоторых термодинамических свойств исследуемых растворов по формулам (3.4) – (3.8) приводятся в таблице 3.11. и П.3.46., П.3.47.

Таблица 3.11. Термодинамические свойства системы гидразингидрат + различная концентрация наноструктурной окиси алюминия (Al_2O_3 $d=50\text{nm}$) в зависимости от температуры при атмосферном давлении

Т, К	ΔH , кДж/кг	ΔU , кДж/кг	ΔS , Дж/кг·К	$\Delta \varphi$, Дж/кг	ΔF , Дж/кг
при $\rho = 1036 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,1\%$					
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 $\rho = 1038 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,15\%$					
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 $\rho = 1040 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,2\%$					
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 $\rho = 1042 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,25\%$					
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 $\rho = 1044 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,3\%$					
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 3.11. и (П.3.34., П.3.35), с ростом температуры величина энтальпии, внутренней энергии и энтропии увеличиваются. Значения удельных энергий Гиббса и Гельмгольца имеют отрицательные знаки.

Согласно вышеприведенной таблице 3.11. и П.3.34., П.3.35. видно, что в зависимости от плотности и концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм) термодинамические характеристики системы изменяются.

3.4. Расчет среднего времени жизни изобарических флуктуаций плотности

$\left(\tau \cdot 10^7, \frac{c}{\text{м}^2}\right)$ растворов системы гидразингидрат + наноструктурные окиси

металлов

Изобарические флуктуации плотности. Гросс обнаружил, что кроме компонентов, предсказанных Бриллюэном и Мандельштамом, в спектре рассеянного излучения имеется несмещение - (центральная) компонента. Ее максимум соответствует частоте возбуждающего излучения (рисунок 3.14 по [154]). Чтобы объяснить этот экспериментальный факт, Л. Д. Ландау и Г. Плачек ввели представление об изобарических флуктуациях [154].

Таким образом, средний квадрат флуктуаций плотности складывается из среднего квадрата адиабатических изобарических флуктуаций плотности $\langle (\Delta\rho)^2 \rangle_p$, можно показать [146], что

$$\langle (\Delta\rho)^2 \rangle_p = \left(\frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_p^2 \cdot \langle (\Delta S)^2 \rangle = \frac{T \cdot \alpha^2 \cdot \rho}{C_p \cdot \nu}, \quad (3.9)$$

где $\alpha = \frac{1}{V} \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$ - термический коэффициент расширения жидкости; C_p - теплоемкость жидкости при постоянном давлении.

В отличие от адиабатических, изобарические флуктуации плотности с течением времени не перемещаются. Они в основном вызваны локальными изменениями температуры (температурными волнами, возникающими при появлении флуктуаций плотности) [28].

Среднее время жизни изобарических флуктуаций плотности определяется коэффициентом температуропроводности a (таблица 3.12., 3.13 и П.3.43., П.3.46-П.3.48):

$$\tau \cong \frac{1}{a} = \frac{\rho \cdot C_p}{\lambda}, \quad \left[\frac{с}{м^2} \right] \quad (3.10)$$

где λ - коэффициент теплопроводности. Минимальные средние времена жизни адиабатических и изобарических флуктуаций плотности, при которых термодинамическая теория флуктуации еще пригодна, можно оценить с помощью неравенства (3.12).

$$\tau \gg \frac{h}{k_B \cdot T} = \frac{1,05 \cdot 10^{-34}}{1,38 \cdot 10^{-22} \cdot T} \cong \frac{10^{-11}}{T}, \quad с. \quad (3.11)$$

Рассмотрим в качестве примера флуктуации плотности в жидком бензоле при 300К. Полагая, что адиабатические флуктуации плотности перемещаются со скоростью звука, для бензола равной $1,3 \cdot 10^5$ м/с, получим, что время τ пребывания адиабатической флуктуации плотности в области v на порядок превышает 10^{-13} с, если радиус области v не меньше 1 нм. [154].

Таблица 3.12. Вычисленные значения $(\tau \cdot 10^{-7} = \frac{1}{a}, \frac{с}{м^2})$ системы гидразингидрат + наноструктурная окись алюминия (Al_2O_3 d=50нм) в зависимости от температуры при различных концентрациях

$n, \%$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	0,971	0,917	0,869	0,847	0,826
0,15	0,926	0,893	0,855	0,833	0,820
0,2	0,909	0,877	0,840	0,826	0,813
0,25	0,862	0,840	0,813	0,806	0,794
0,3	0,840	0,820	0,794	0,787	0,781

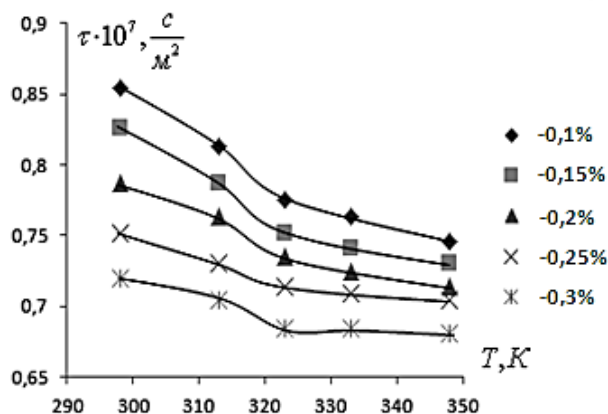


Рисунок 3.15. Зависимость $(\tau, \frac{c}{M^2})$ системы гидразингидрат + наноструктурная окись железа ($Fe_2O_3 d=50nm$) от температуры

Таблица 3.13. Вычисленные значения $(\tau \cdot 10^{-7} = \frac{1}{a}, \frac{c}{M^2})$ системы гидразингидрат + наноструктурная окись железа ($Fe_2O_3 d=50nm$) в зависимости от давления при различных концентрациях

$n, \%$	P, MPa						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	0,855	0,833	0,806	0,787	0,763	0,746	0,735
0,15	0,826	0,787	0,781	0,752	0,741	0,724	0,704
0,2	0,787	0,763	0,741	0,730	0,709	0,694	0,680
0,25	0,757	0,730	0,719	0,709	0,690	0,671	0,658
0,3	0,719	0,704	0,689	0,676	0,658	0,645	0,633

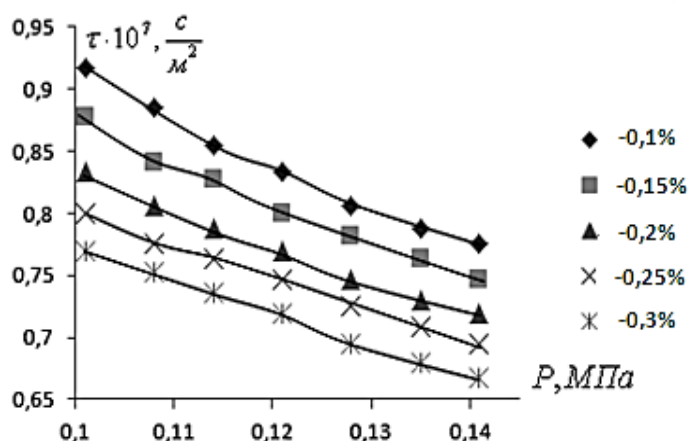


Рисунок 3.16. Зависимость $(\tau, \frac{c}{M^2})$ системы гидразингидрат + наноструктурная окись титана ($TiO_2 d=50nm$) от давления

Таблица 3.14. Вычисленные значения среднего времени жизни ($\langle \tau \rangle \cdot 10^7, c$) изобарической флуктуации плотности системы гидразингидрат + наноструктурная окись титана (TiO_2 $d=50nm$)

$n, \%$	T, K				
	298	313	323	333	348
0,1	0,720	0,683	0,649	0,628	0,613
0,15	0,688	0,660	0,633	0,618	0,599
0,2	0,654	0,633	0,613	0,604	0,590
0,25	0,628	0,613	0,595	0,590	0,581
0,3	0,604	0,590	0,577	0,573	0,565

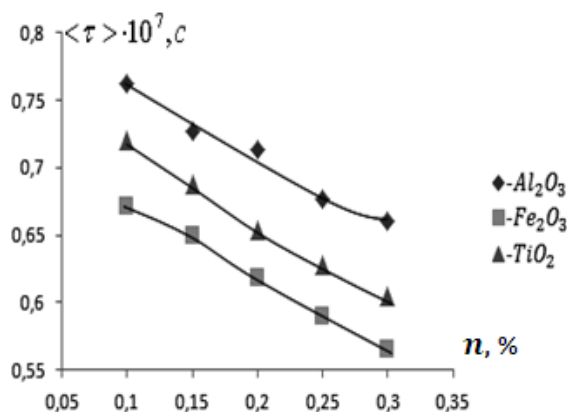


Рисунок 3.17. Среднее время жизни $\langle \tau \rangle, c$ изобарических флуктуаций плотности системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2 $d=50nm$) при $T=298K$

Как видно из таблицы 3.14. и П.3.39-П.3.43, среднее время жизни ($\langle \tau \rangle, c$) изобарической флуктуации плотности системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов с ростом температуры и концентрации наноразмерных окисей уменьшается.

Например, для гидразингидрата, содержащего TiO_2 $d=50nm$ (0,1 до 0,3%), среднее время жизни изобарической флуктуации плотности при температуре 298K уменьшается на 16,1%, а при температуре 348K это изменение доходит до 7,8%. Для образца, содержащего 0,2%, TiO_2 изменение температуры уменьшает среднее время жизни изобарической флуктуации плотности до 9,8 %.

Результаты экспериментального определения диэлектрической проницаемости и электропроводности гидразингидрата и его компонентов приведены в таблице 3.15.

Таблица 3.15. Экспериментальные данные по диэлектрической проницаемости и электропроводности гидразингидрата и его компонентов

обозначение	H_2O	N_2H_4	$N_2H_4 + H_2O$
ε	80,52	52,23	31,7
$\chi, см \cdot м^{-1}$	$1,03 \cdot 10^{-4}$	$2,47 \cdot 10^{-6}$	$2,294 \cdot 10^{-6}$

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ, ОБРАБОТКА И ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ. ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ ОКИСЕЙ МЕТАЛЛОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ДИФфуЗИОННЫХ СВОЙСТВ ГИДРАЗИНГИДРАТА

4.1. Анализ экспериментальных данных по теплофизическим, термодинамическим свойствам

Смеси гидразинзамещенных водных растворов имеют весьма широкое распространение в природе и используются во многих технологических процессах и энергообменных устройствах. Они применяются в качестве рабочего тела, топлива, окислителей, восстановителей, защитных, охлаждающих и нагревающих сред, растворителей, вытеснителей, дубителей и других функциональных веществ и материалов.

В растворе молекулы многих веществ могут образовывать с молекулами растворителя молекулярные образования – ассоциаты. Поэтому растворы можно отнести к молекулярно-дисперсным системам [154,189].

Ячеечная теория [27,147-149], в которой основным является представление о свободном объеме, предполагает, что каждой частице жидкостей соответствует определенные узлы решетки; число частиц и число ячеек, где движутся частицы, неизменно. Можно сказать, что ячейечная теория рассматривает строение жидкости с позиции строения твердого тела.

Дырочная теория Френкеля [148] допускает, что в ячейках имеются вакантные места или «дырки». В этом случае степень упорядоченности структуры меньше, чем в ячейечной теории, что больше соответствует реальности.

Дырочная теория хорошо объясняет кинетические свойства жидкости, так как учитывает неоднородность мгновенной структуры, и ее можно считать более предпочтительной среди модельных теорий [74].

Растворы, подчиняющиеся закону Рауля при всех составах, называют идеальными [12].

При добавлении окисей металлов в гидразингидрат увеличивается плотность и вязкость исследуемых систем.

Результаты экспериментального исследования теплопроводности системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.) показали, что с ростом температуры теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность увеличиваются. С повышением плотности, возрастанием давления, температуропроводность увеличивается.

Под влиянием внешнего давления молекулы растворов приближаются друг к другу, что облегчает переход от одного изотермического слоя к другому, поэтому с повышением давлений температуропроводность и теплопроводность растворов увеличивается.

С увеличением температуры расстояние между молекулами раствора растет и переход тепла от одного изотермического слоя к другому ухудшается. Теплопроводность и температуропроводность исследуемых объектов с увеличением температуры за счет увеличения энергии микроэлементов возрастает.

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

Для обработки и обобщения экспериментальных данных по теплоемкости исследуемых объектов в зависимости от температуры и атмосферного давления нами использовано следующее соотношение [51,54,55,137,176,184-187]:

$$\frac{C_p}{C_p^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.1)$$

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

Соотношение (4.1) хорошо выполняется для исследуемых систем гидразин-гидрата + наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$), т.е. экспериментальные данные по удельной теплоемкости хорошо укладываются вдоль общей кривой (рисунок 4.1), которая описывается уравнением:

$$C_p = \left[47,63 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 81,93 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right) + 1,353 \right] \cdot C_p^*, \left[\frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \right] \quad (4.2)$$

где T – температура, при которой проводится расчет, K ; T_1 – температура, равная 323K , являющаяся постоянной.

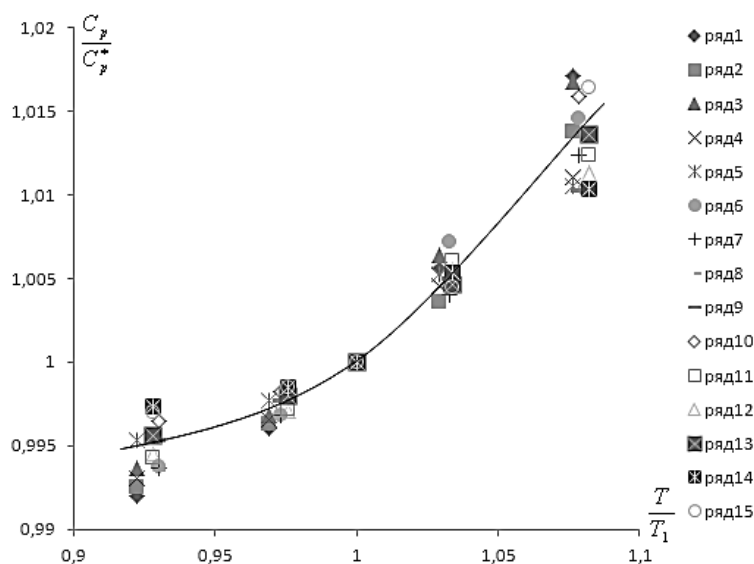


Рисунок 4.1. Зависимость относительной теплоемкости C_p/C_p^* от относительной температуры T/T_1 ; ряд1-0,1%, ряд2-0,15%, ряд3-0,2%, ряд4-0,25%, ряд5-0,3% (Al_2O_3 $d=50\text{nm}$), ряд6-0,1%, ряд7-0,15%, ряд8-0,2%, ряд9-0,25%, ряд10-0,3% (Fe_2O_3 $d=50\text{nm}$), ряд11-0,1%, ряд12-0,15%, ряд13-0,2%, ряд14-0,25%, ряд15-0,3% (TiO_2 $d=50\text{nm}$).

Значение C_p^* является функцией концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$).

$$\frac{C_p^*}{C_p^{**}} = f\left(\frac{n}{n_1}\right), \quad (4.3)$$

Прямая линия, изображенная на рисунке 4.2, описывается уравнением:

$$C_p^* = \left[-32 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 1032 \cdot 10^{-3} \right] \cdot C_p^{**}, \quad \left[\frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \right] \quad (4.4)$$

где n – концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.), C_p^{**} – теплоемкость системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$) в зависимости от молярной массы при $T_1=323\text{К}$ и $n_1=0,2\%$

Значение теплоемкости гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$ и др.) при $T_1=323\text{К}$ приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Экспериментальное значение теплоемкости (C_p , $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$) системы гидразингидрат в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$) при $T_1=323\text{К}$

μ , $\text{кг}/\text{моль}$	n , %				
	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

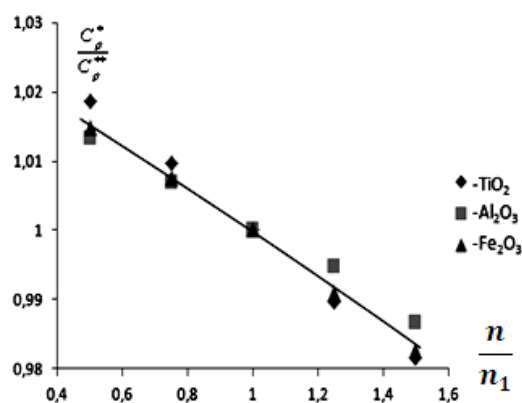


Рисунок 4.2. Зависимость относительной теплоемкости системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$) от относительной концентрации при $T_1=323\text{К}$ и $n_1=0,2\%$

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

$$C_p^{**} = f(\mu) \quad (4.5)$$

Кривая линия, изображенная на рисунке 4.3, описывается уравнением:

$$C_p^{**} = -27,963 \cdot 10^3 \cdot \mu^2 + 6,999 \cdot 10^3 \cdot \mu + 3037,07, \quad \left[\frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \right] \quad (4.6)$$

где μ – молярная масса образцов, $\text{кг}/\text{моль}$

Значение теплоемкости системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) в зависимости от молярной массы при $T_1=323\text{K}$ приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Экспериментальное значение теплоемкости (C_p , $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$) системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 и др. $d=50\text{nm}$) в зависимости от молярной массы при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$

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

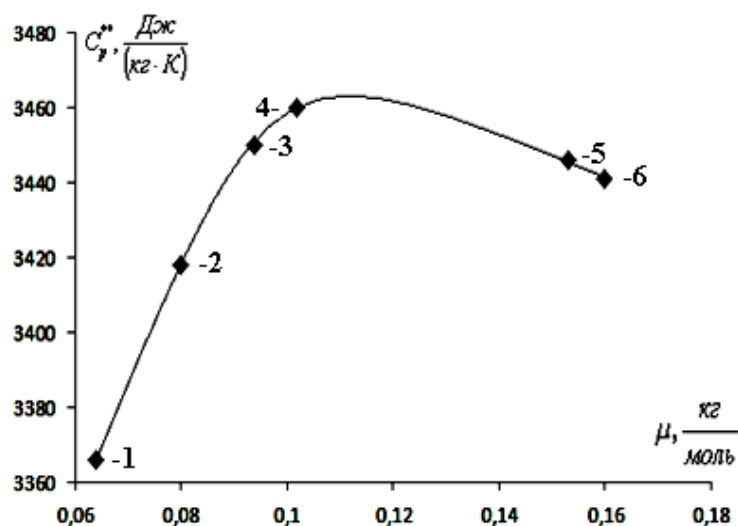


Рисунок 4.3. Зависимость теплоемкости системы гидразингидрат + наноструктурные окиси от молярной массы, при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$ (1- NaO_2 ; 2- TiO_2 ; 3- KO_2 ; 4- Al_2O_3 ; 5- BaO ; 6- Fe_2O_3 $d=50\text{nm}$)

Из уравнения (4.2) с учетом (4.4) и (4.6) для расчета удельной теплоемкости системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) в зависимости от температуры и молярной массы при атмосферном давлении получим:

$$C_p = \left[47,63 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 81,93 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right) + 1,353 \right] \times \left[-32 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 1032 \cdot 10^{-3} \right] \times \\ \times (-27,963 \cdot 10^3 \cdot \mu^2 + 6,999 \cdot 10^3 \cdot \mu + 3037,07), \left[\frac{Дж}{(кг \cdot K)} \right] \quad (4.7)$$

С помощью уравнения (4.7) можно рассчитать с погрешностью до 4% (П.4.1-П.4.3.) удельную теплоемкость неисследованных растворов в зависимости от температуры при атмосферном давлении. Для этого необходимо знать только массовое значение концентрации или молярной массы.

Для обобщения экспериментальных данных по теплопроводности системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) в зависимости от температуры при атмосферном давлении использован закон соответственных состояний в виде следующей функциональной зависимости [3,38, 39, 175, 176,179,183,186,187].

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right). \quad (4.8)$$

где λ – теплопроводность испытуемого образца в зависимости от температуры; λ_1 – теплопроводность испытуемого образца при T_1 ; T – температура, при которой проводятся испытания; $T_1=323\text{K}$.

Проверка выражения (4.8) для исследованных нами образцов показала, что оно качественно и количественно описывает температурную зависимость коэффициента теплопроводности этих образцов.

Выполнимость зависимости (4.8) для исследуемых образцов показана на рисунке 4.4, откуда видно, что все экспериментальные точки хорошо укладываются на одной кривой линии. Эта кривая линия описывается уравнением:

$$\lambda = \left[-2,6 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 5,71 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right) - 2,12 \right] \cdot \lambda_1, \quad \left[\frac{Bm}{(m \cdot K)} \right] \quad (4.9)$$

где T – температура опыта, К; $T_1 = 323$ К.

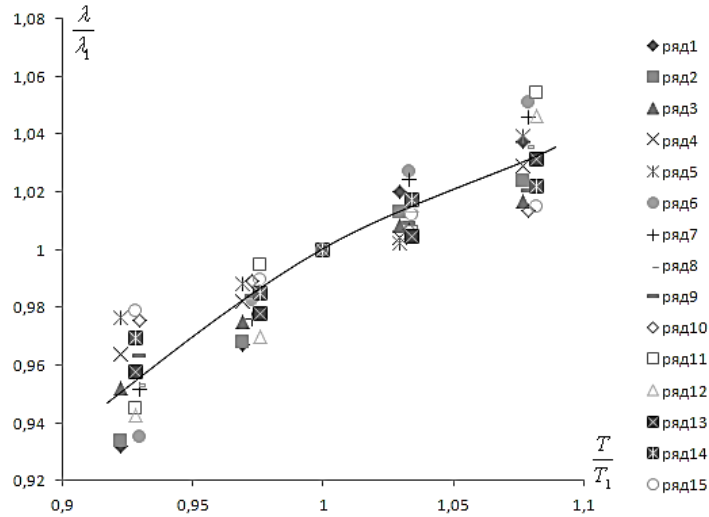


Рисунок 4.4. Зависимость относительной теплопроводности λ / λ_1 от относительной температуры T/T_1 ; ряд1-0,1%, ряд2-0,15%, ряд3-0,2%, ряд4-0,25%, ряд5-0,3% (Al_2O_3 $d=50$ нм), ряд6-0,1%, ряд7-0,15%, ряд8-0,2%, ряд9-0,25%, ряд10-0,3% (Fe_2O_3 $d=50$ нм), ряд11-0,1%, ряд12-0,15%, ряд13-0,2%, ряд14-0,25%, ряд15-0,3% (TiO_2 $d=50$ нм).

Уравнение (4.9), в основном, с погрешностью 3% , описывает температурную зависимость теплопроводности исследуемых образцов в интервале температур (298–348)К.

С помощью уравнения (4.9) можно вычислить теплопроводность исследуемых растворов в зависимости от температуры, если будет известна λ_1 .

Значение λ_1 является функцией концентрации наноструктурных оксидов металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50$ нм) при $T=325$ К:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_1^*} = f\left(\frac{n}{n_1}\right), \quad (4.10)$$

Как видно из рисунка 4.5, с ростом концентрации наноструктурных окисей (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) λ_1 теплопроводность уменьшается по линейному закону.

Эта прямая описывается уравнением:

$$\lambda_1 = \left[11,5 \cdot 10^{-2} \left(\frac{n}{n_1} \right) + 88,75 \cdot 10^{-2} \right] \cdot \lambda_1^*, \quad \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})} \quad (4.11)$$

где n – концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$), %

Таблица 4.3. Экспериментальные значения теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов при $T_1=323\text{K}$

$\mu, \text{кг}/\text{моль}$	$n, \%$				
	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

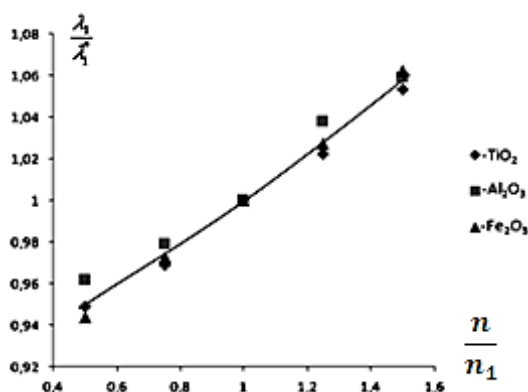


Рисунок 4.5. Зависимость относительной теплопроводности от относительной концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$

Значение теплопроводности гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) при $T_1=323\text{K}$ приведены в таблице 4.3.

Значение λ_1^* является функцией молярной массы образца

$$\lambda_1^* = f(\mu). \quad (4.12)$$

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

Значение теплопроводности системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) в зависимости от молярной массы при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$ приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Экспериментальные значения теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов в зависимости от молярной массы при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$

μ , кг/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

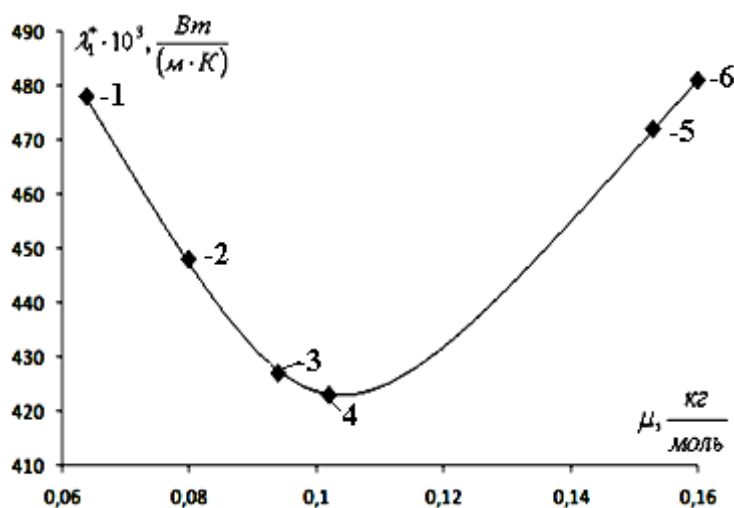


Рисунок 4.6. Зависимость теплопроводности системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов от молярной массы при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$ (Обозначение как 4.3)

Эти кривые описываются уравнением:

$$\lambda_1^* = 26,7 \cdot \mu^2 - 5,996 \cdot \mu + 0,757, \left[\frac{Bm}{(m \cdot K)} \right] \quad (4.13)$$

где μ – молярная масса образцов, кг/моль

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

$$\lambda = \left[-2,6 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 5,71 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right) - 2,12 \right] \times \left(11,5 \cdot 10^{-2} \left(\frac{n}{n_1} \right) + 88,75 \cdot 10^{-2} \right) \times \\ \times (26,7 \cdot \mu^2 - 5,996 \cdot \mu + 0,757), \left[\frac{Bm}{(m \cdot K)} \right] \quad (4.14)$$

С помощью уравнений (4.14) можно вычислить теплопроводность экспериментально неисследованных систем гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов в зависимости от температуры с погрешностью до 3,5% (П. 4.4-П.4.6). Для такого вычисления необходимо располагать только значением концентрации окисей металлов и их молярной массы.

Для обработки и обобщения экспериментальных данных температуропроводности исследуемых объектов в зависимости от температуры при атмосферном давлении использовали нижеследующие формулы [39, 50, 52, 145, 176, 183, 186, 187]:

$$\frac{a}{a_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.15)$$

где a – температуропроводность испытуемого образца в зависимости от температуры; a_1 – температуропроводность испытуемого образца при T_1 ; T – температура опыта; $T_1=323K$.

Выполнимость зависимости (4.15) для системы гидразингидрат + некоторые наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $TiO_2d=50nm$) показана на рисунке 4.7, из которого видно, что экспериментальные точки хорошо укладываются вдоль общей кривой.

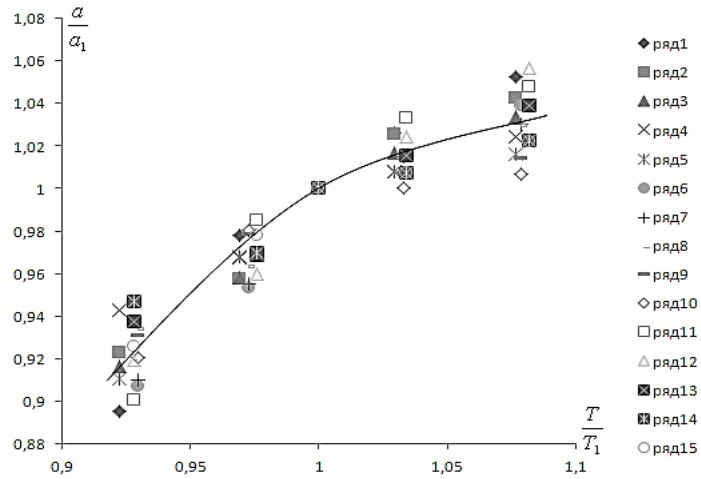


Рисунок 4.7. Зависимость относительной температуропроводности a/a_1 от относительной температуры T/T_1 ; ряд1-0,1%, ряд2-0,15%, ряд3-0,2%, ряд4-0,25%, ряд5-0,3%(Al_2O_3 $d=50\text{нм}$), ряд6-0,1%, ряд7-0,15%, ряд8-0,2%, ряд9-0,25%, ряд10-0,3% (Fe_2O_3 $d=50\text{нм}$), ряд11-0,1%, ряд12-0,15%, ряд13-0,2%, ряд14-0,25%, ряд15-0,3% (TiO_2 $d=50\text{нм}$).

Уравнение этой кривой имеет вид:

$$a = \left[-3,456 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 7,559 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right) - 3,103 \right] \cdot a_1, \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right] \quad (4.16)$$

С помощью уравнения (4.16) можно вычислить температуропроводность исследуемых растворов в зависимости от температуры, если будет известна a_1 .

Значение a_1 является функцией концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2):

$$\frac{a_1}{a_1^*} = f\left(\frac{n}{n_1}\right). \quad (4.17)$$

Значение температуропроводности гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$) при $T_1=323\text{К}$ приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5. Экспериментальное значение температуропроводности ($a_p \cdot 10^7, \text{ м}^2/\text{с}$) гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2 d=50\text{нм}$) при $T_1=323\text{К}$

$\mu, \text{ кг / моль}$	$n, \%$				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
0,080	1,21	1,24	1,28	1,32	1,36
0,102	1,15	1,17	1,19	1,23	1,26
0,160	1,29	1,33	1,36	1,40	1,46

Как видно из рисунка 4.8, с ростом концентрации наноструктурных окисей металлов ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2 d=50\text{нм}$) температуропроводность увеличивается.

Эта кривая описывается уравнением:

$$a_1 = \left[11,5 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 88,75 \cdot 10^{-2} \right] \cdot a_1^*, \quad \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right] \quad (4.18)$$

где n – масса наноструктурных окисей металлов ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2 d=50\text{нм}$), %

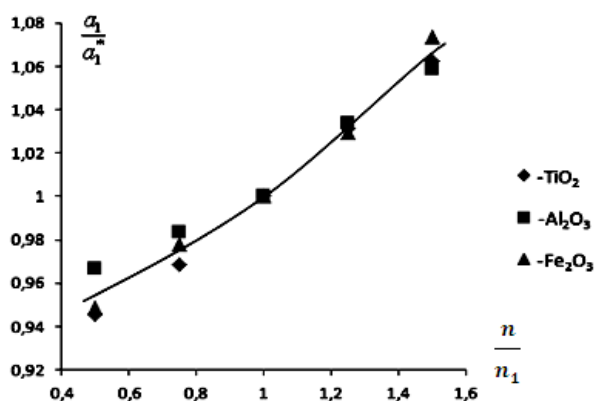


Рисунок 4.8. Зависимость относительной температуропроводности системы гидразингидрат + наноструктурные окисы металлов ($\text{TiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3 d=50\text{нм}$) от относительной концентрации при $T_1=323\text{К}$ и $n_1=0,2\%$

Значение a_1^* является функцией молярной массы образцов

$$a_1^* = f(\mu) . \quad (4.19)$$

Как видно из рисунка 4.8, с ростом концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) температуропроводность увеличивается.

Эта кривая описывается уравнением:

$$a_1^* = 8,8 \cdot 10^{-6} \cdot \mu^2 - 2,01 \cdot 10^{-6} \cdot \mu + 2,323 \cdot 10^{-7}, \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right] \quad (4.20)$$

где μ – молярная масса образца, $\text{кг} / \text{моль}$

Таблица 4.6. Значение температуропроводности ($a \cdot 10^7, \text{м}^2 / \text{с}$) системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 и др. $d=50\text{nm}$) от молярной массы при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$

μ , кг/моль	0,062	0,080	0,094	0,102	0,153	0,160
$a_1^* \cdot 10^7, \text{м}^2 / \text{с}$	1,40	1,28	1,21	1,19	1,31	1,36

Значение температуропроводности системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) в зависимости от молярной массы при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$ приведены в таблице 4.6.

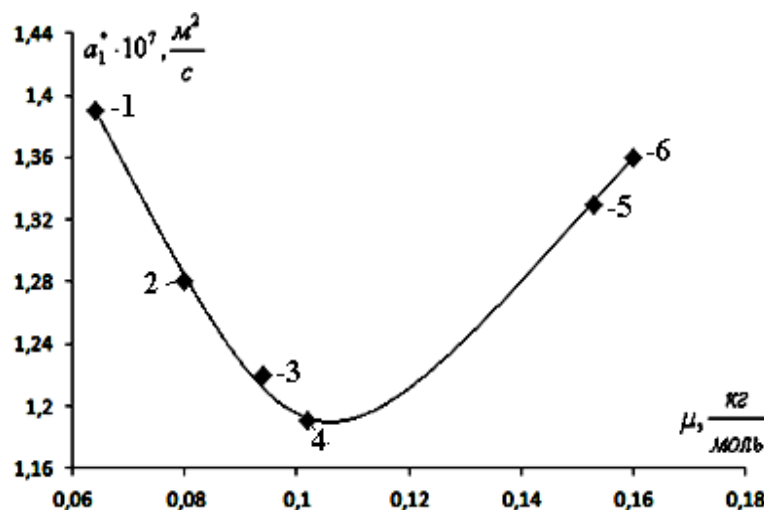


Рисунок 4.9. Зависимость температуропроводности системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов от молярной массы при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$ (Обозначение как 4.3)

Подставляя уравнения (4.20) и (4.18) в (4.16) получим:

$$a = \left[-3,456 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 7,559 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right) - 3,103 \right] \times \left[11,5 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 88,75 \cdot 10^{-2} \right] \times \\ \times \left(8,8 \cdot 10^{-6} \cdot \mu^2 - 2,01 \cdot 10^{-6} \cdot \mu + 2,323 \cdot 10^{-7} \right), \quad \left[\frac{M^2}{c} \right] \quad (4.21)$$

По уравнениям (4.21) зная значение концентрации наноструктурных компонентов и молярной массы, можно вычислить температуропроводность неисследованных объектов в зависимости от температуры с погрешностью до 4,5% (П.4.7-П.4.9).

Для обработки и обобщения расчетно-экспериментальных данных коэффициента молекулярной диффузии исследуемых объектов в зависимости от температуры при атмосферном давлении использовали нижеследующие формулы:

$$\frac{D_v}{D_v^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.22)$$

где D_v – коэффициент молекулярной диффузии испытуемого образца в зависимости от температуры; D_v^* – коэффициент молекулярной диффузии испытуемого образца при T_1 ; T – температура опыта; $T_1=323K$.

Выполнимость зависимости (4.22) для системы гидразингидрат + некоторые наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50nm$) показана на рисунке 4.10, из которого видно, что экспериментальные точки хорошо укладываются вдоль общей кривой.

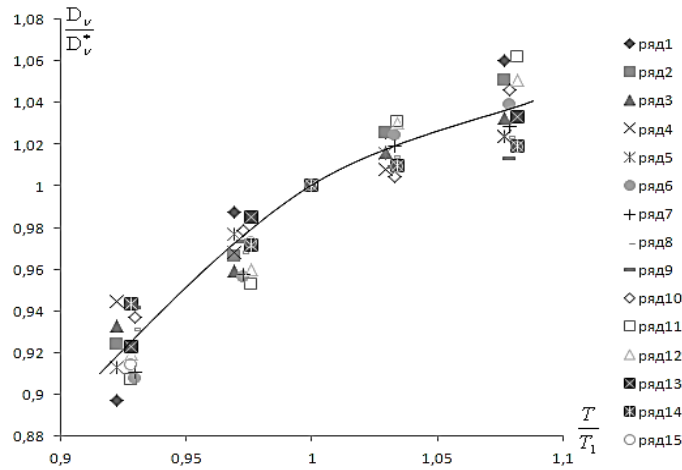


Рисунок 4.10. Зависимость относительного коэффициента молекулярной диффузии D_v/D_v^* от относительной температуры T/T_1 ; ряд1-0,1%, ряд2-0,15%, ряд3-0,2%, ряд4-0,25%, ряд5-0,3%(Al_2O_3 $d=50$ нм), ряд6-0,1%, ряд7-0,15%, ряд8-0,2%, ряд9-0,25%, ряд10-0,3% (Fe_2O_3 $d=50$ нм), ряд11-0,1%, ряд12-0,15%, ряд13-0,2%, ряд14-0,25%, ряд15-0,3% (TiO_2 $d=50$ нм).

Уравнение этой кривой имеет вид:

$$D_v = \left[-2,994 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 6,8 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right) - 2,81 \right] \cdot D_v^*, \left[\frac{M^2}{c} \cdot \frac{K\Gamma}{\text{моль}} \right] \quad (4.23)$$

С помощью уравнения (4.23) можно вычислить коэффициент молекулярной диффузии исследуемых растворов в зависимости от температуры, если будет известна D_v^* .

Значение D_v^* является функцией концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50$ нм):

$$\frac{D_v^*}{D_v^{**}} = f\left(\frac{n}{n_1}\right), \quad (4.24)$$

Как видно из рисунка 4.11, с ростом концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50$ нм) коэффициент молекулярной диффузии увеличивается.

Значение коэффициента молекулярной диффузии гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) при $T_1=323\text{K}$ приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7. Экспериментальное значение коэффициента молекулярной диффузии ($D_v \cdot 10^7, (\text{м}^2 \cdot \text{кг})/(\text{с} \cdot \text{моль})$) гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) при $T_1=323\text{K}$

$\mu, \text{кг} / \text{моль}$	$n, \%$				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
0,080	0,096	0,099	0,104	0,105	0,107
0,102	0,117	0,119	0,122	0,126	0,1287
0,160	0,206	0,213	0,218	0,224	0,233

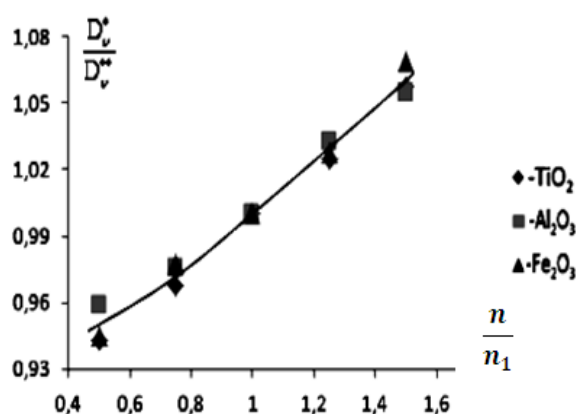


Рисунок 4.11. Зависимость относительного коэффициента молекулярной диффузии системы гидразингидрат + наноструктурные окисы металлов (TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 $d=50\text{nm}$) от относительной концентрации при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$

Эта кривая описывается уравнением:

$$D_v^* = \left[24 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right)^2 + 7 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 905,4 \cdot 10^{-3} \right] \cdot D_v^{**}, \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \right] \quad (4.25)$$

где n – концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$), %

Значение D_1^{**} является функцией молярной массы образцов

$$D_1^{**} = f(\mu), \quad (4.26)$$

Как видно из рисунка 4.8, с ростом концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) коэффициент молекулярной диффузии увеличивается.

Эта кривая описывается уравнением:

$$D_v^{**} = 1,064 \cdot 10^{-6} \cdot \mu^2 - 1,086 \cdot 10^{-7} \cdot \mu + 1,23 \cdot 10^{-8}, \quad \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \right] \quad (4.27)$$

где μ – молярная масса образца, $\text{кг} / \text{моль}$

Таблица 4.8. Значение зависимости коэффициента молекулярной диффузии ($D_v \cdot 10^7, (\text{м}^2 \cdot \text{кг}) / (\text{с} \cdot \text{моль})$) системы гидразингидрат + наноструктурные окисы металлов (TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 и др. $d=50\text{nm}$) от молярной массы при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$

μ , кг/моль	0,062	0,080	0,094	0,102	0,153	0,160
$D_v^{**} \cdot 10^7, (\text{м}^2 \cdot \text{кг}) / (\text{с} \cdot \text{моль})$	0,13	0,104	0,113	0,122	0,201	0,218

Значение коэффициента молекулярной диффузии системы гидразингидрат + наноструктурные окисы металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2) в зависимости от молярной массы при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$ приведены в таблице 4.8.

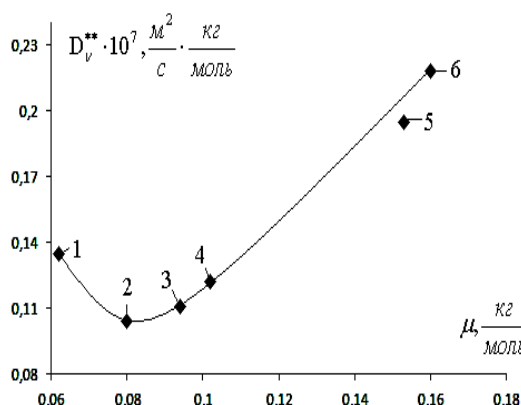


Рисунок 4.12. Зависимость коэффициента молекулярной диффузии системы гидразингидрат + наноструктурные окисы металлов от молярной массы при $T_1=323\text{K}$ и $n_1=0,2\%$ (Обозначение как 4.3)

Подставляя уравнение (4.23) и (4.25) в (4.27) получим:

$$D_v = \left[-2,994 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 6,8 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right) - 2,81 \right] \times \\ \times \left[24 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right)^2 + 7 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 905,4 \cdot 10^{-3} \right] \times \\ \times (1,064 \cdot 10^{-6} \cdot \mu^2 - 1,086 \cdot 10^{-7} \cdot \mu + 1,23 \cdot 10^{-8}), \left[\frac{M^2}{c} \cdot \frac{кг}{моль} \right] \quad (4.28)$$

По уравнениям (4.28), зная значение концентрации или молярный массы, можно вычислить коэффициент молекулярной диффузии не исследованных объектов в зависимости от температуры с погрешностью до 4,5% (П.10-П. 4.12).

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

Для обобщения экспериментальных данных по температуропроводности системы гидразингидрат + некоторые наноструктурные окиси металлов в зависимости от давления использован закон соответственных состояний в виде следующей функциональной зависимости [39,50, 145,183, 187]:

$$\frac{a_p}{a_{p_1}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right), \quad (4.29)$$

где a_p – температуропроводность испытуемого образца в зависимости от давления; a_{p_1} – температуропроводность испытуемого образца при P_1 ; P – давление, при котором проводятся испытания; $P_1=0,121$ МПа.

Соотношение (4.29) хорошо выполняется для системы гидразингидрат + некоторые наноструктурные окиси металлов, т.е. экспериментальные данные по температуропроводности хорошо укладываются вдоль общей прямой (рисунок 4.13), которая описывается уравнением:

$$a_p = \left[50 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{P}{P_1} \right) + 51,025 \cdot 10^{-2} \right] \cdot a_{p_1}, \quad \left[\frac{M^2}{c} \right] \quad (4.30)$$

Значение a_{p_1} является функцией концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм).

$$\frac{a_p}{a_{p_1}^*} = f\left(\frac{n}{n_1}\right), \quad (4.31)$$

Прямая линия, изображенная на рисунке 4.14, описывается уравнением:

$$a_{p_1} = \left[0,158 \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 0,841 \right] \cdot a_{p_1}^*, \quad \left[\frac{M^2}{c} \right] \quad (4.32)$$

где n – концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм),%

Значение температуропроводности гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм) при $P_1=0,121$ МПа приведены в таблице 4.9.

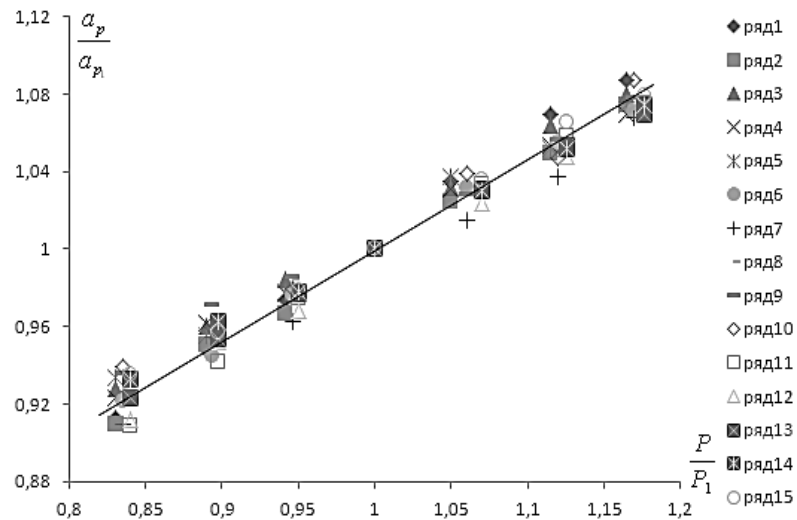


Рисунок 4.13. Зависимость относительной температуропроводности a_p / a_{p_1} от относительного давления P / P_1 : ряд1-0,1%, ряд2-0,15%, ряд3-0,2%, ряд4-0,25%, ряд5-0,3% (Al_2O_3 d=50нм), ряд6-0,1%, ряд7-0,15%, ряд8-0,2%, ряд9-0,25%, ряд10-0,3% (Fe_2O_3 d=50нм), ряд11-0,1%, ряд12-0,15%, ряд13-0,2%, ряд14-0,25%, ряд15-0,3% (TiO_2 d=50нм).

Таблица 4.9. Значение зависимости температуропроводности ($a_p \cdot 10^7, \text{ м}^2/\text{с}$) гидразингидрата от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм) при $P_1=0,121\text{МПа}$

$\mu, \text{ кг/моль}$	$n, \%$				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
0,080	1,20	1,25	1,30	1,34	1,39
0,102	1,15	1,21	1,25	1,3	1,35
0,160	1,27	1,33	1,37	1,41	1,48

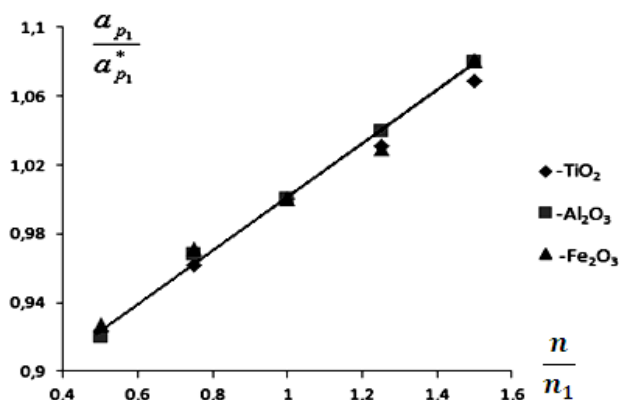


Рисунок 4.14. Зависимость относительной температуропроводности системы гидразингидрат + наноструктурные окисы металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм) от относительной концентрации

Значение a_{p1}^* является функцией молярной массы образцов

$$a_{p1}^* = f(\mu)$$

где μ – молярная масса образца, кг/моль

Значение температуропроводности гидразингидрата от молярной массы при $P_1=0,121\text{МПа}$ и $n_1=0,2\%$ приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10. Значение зависимости температуропроводности ($a_p \cdot 10^7, \text{ м}^2/\text{с}$) гидразингидрата от молярной массы при $P_1=0,121\text{МПа}$ и $n_1=0,2\%$

$\mu, \text{ кг/моль}$	0,062	0,08	0,094	0,102	0,153	0,16
$a_{p1}^* \cdot 10^7, \text{ м}^2/\text{с}$	1,34	1,30	1,25	1,25	1,32	1,37

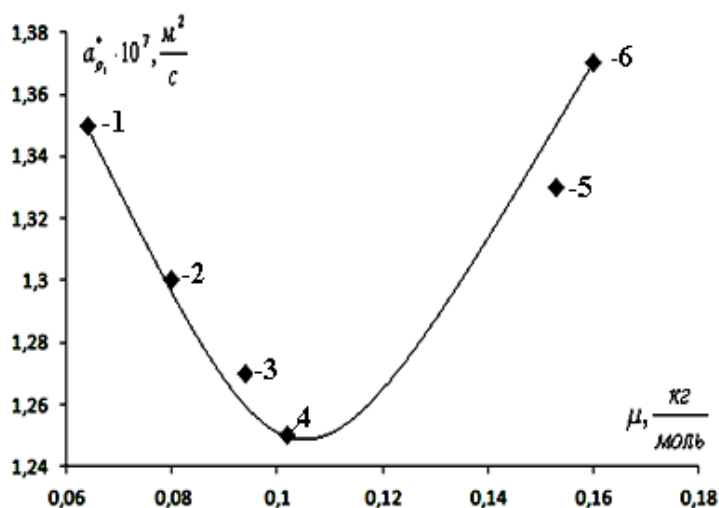


Рисунок 4.15. Зависимость $a_{p_1}^* = f(\mu)$ (Обозначение как 4.3)

Кривая линия, изображенная на рисунке 4.15, описывается уравнением:

$$a_{p_1}^* = 4,4 \cdot 10^{-6} \cdot \mu^2 - 9,6 \cdot 10^{-7} \mu + 1,76 \cdot 10^{-7}, \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right] \quad (4.33)$$

Из уравнения (4.30) с учетом (4.32) и (4.33) для расчета температуропроводности системы гидразингидрат + наноструктурные окисы металлов (TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 $d=50\text{nm}$) в зависимости от давления получим:

$$a_p = \left[50 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{P}{P_1} \right) + 51,025 \cdot 10^{-2} \right] \cdot \left[0,147 \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 0,841 \right] \times \\ \times \left(4,4 \cdot 10^{-6} \cdot \mu^2 - 9,6 \cdot 10^{-7} \mu + 1,76 \cdot 10^{-7} \right), \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right] \quad (4.34)$$

С помощью уравнений (4.34) можно вычислить с погрешностью до 4% (П.4.19-П.4.21) температуропроводность неисследованных объектов в зависимости от давления при комнатной температуре, для чего необходимо знать только значения концентрации и молярной массы неисследованных объектов.

С целью получения расчетного уравнения по теплопроводности гидразингидрата в зависимости от давления, концентрации окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) и молярной массы нами обработаны экспериментальные данные в виде следующей функциональной зависимости [25,38, 39, 175, 176, 179, 186,187]:

$$\frac{\lambda_p}{\lambda_{p_1}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right), \quad (4.35)$$

где λ_p – теплопроводность испытуемого образца в зависимости от давления;
 λ_{p_1} – теплопроводность испытуемого образца при P_1 ; P – давление, при котором проводятся испытания; $P_1 = 0,121$ МПа.

Соотношение (4.35) хорошо выполняется для растворов, т.е., экспериментальные данные по теплопроводности хорошо укладываются вдоль общей прямой (рисунок 4.16), которая описывается уравнением:

$$\lambda_p = \left[471,2 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{P}{P_1} \right) + 529,04 \cdot 10^{-3} \right] \cdot \lambda_{p_1}, \quad \left[\frac{Вт}{(м \cdot К)} \right] \quad (4.36)$$

где P – давление, при котором проводятся испытания; $P_1 = 0,121$ МПа.

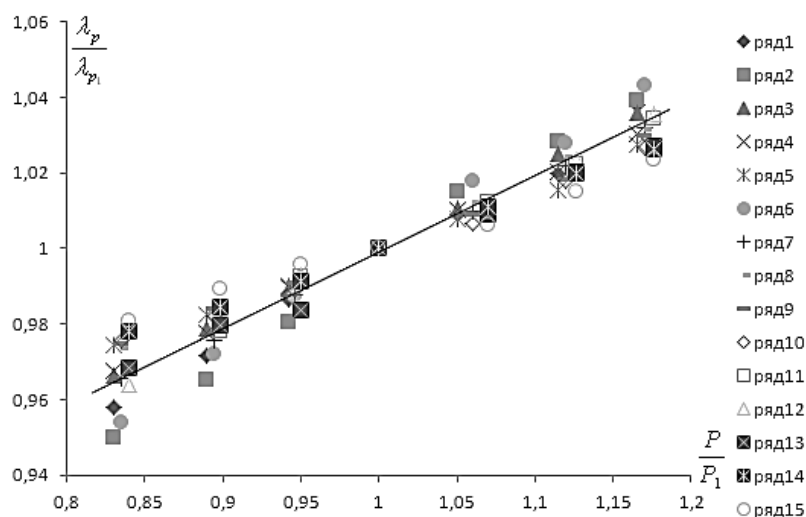


Рисунок 4.16. График зависимости относительной теплопроводности $\lambda_p / \lambda_{p_1}$ от относительного давления P / P_1 : ряд1-0,1%, ряд2-0,15%, ряд3-0,2%, ряд4-0,25%, ряд5-0,3% (Al_2O_3 $d=50$ нм), ряд6-0,1%, ряд7-0,15%, ряд8-0,2%, ряд9-0,25%, ряд10-0,3% (Fe_2O_3 $d=50$ нм), ряд11-0,1%, ряд12-0,15%, ряд13-0,2%, ряд14-0,25%, ряд15-0,3% (TiO_2 $d=50$ нм).

Значение λ_{p_1} является функцией концентрации некоторых наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2):

$$\frac{\lambda_{p_1}}{\lambda_{p_1}^*} = f\left(\frac{n}{n_1}\right). \quad (4.37)$$

Значения зависимости теплопроводности гидразингидрата от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2) при $P_1=0,121\text{МПа}$ приведены в таблице 4.11.

Кривая линия, изображенная на рисунке 4.17, описывается уравнением:

$$\lambda_{p_1} = \left[14,85 \cdot 10^{-3} \left(\frac{n}{n_1} \right)^2 + 105 \cdot 10^{-3} \left(\frac{n}{n_1} \right) + 881 \cdot 10^{-3} \right] \cdot \lambda_{p_1}^*, \left[\frac{Bm}{(m \cdot K)} \right] \quad (4.38)$$

где n - концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$), %

Таблица 4.11. Зависимость теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, Bm/(m \cdot K)$) гидразингидрата от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{нм}$) при $P_1=0,121\text{МПа}$

$\mu, \text{ кг/моль}$	$n, \%$				
	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

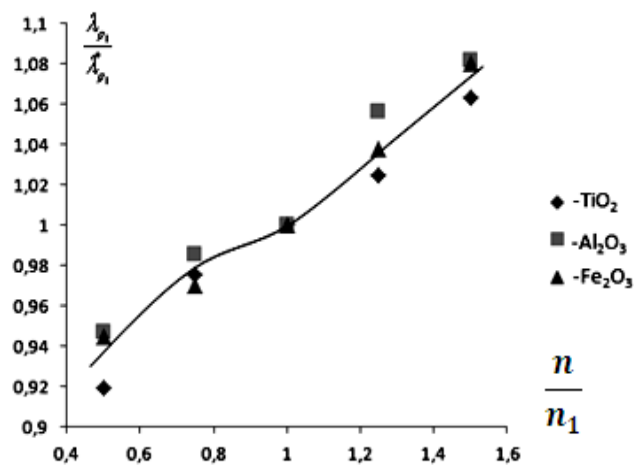


Рисунок 4.17. Зависимость $\frac{\lambda_{p_1}}{\lambda_{p_1}^*} = f\left(\frac{n}{n_1}\right)$

Значение $\lambda_{p_1}^*$ является функцией молярной массы образца:

$$\lambda_{p_1}^* = f(\mu). \quad (4.39)$$

Значения зависимости теплопроводности системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) от молярной массы при $P_1=0,121$ МПа и $n_1=0,2\%$ приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12. Зависимость теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) от молярной массы при $P_1=0,121$ МПа и $n_1=0,2\%$

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

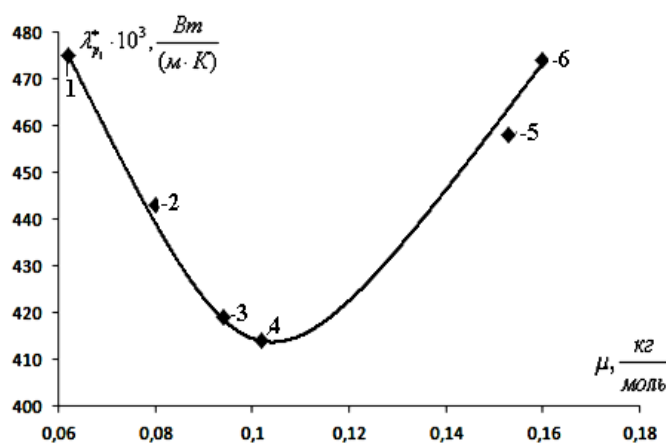


Рисунок 4.18. Зависимость $\lambda_1 = f(\mu)$ (Обозначение как 4.3)

Кривая линия, изображенная на рисунке 4.18, описывается уравнением:

$$\lambda_{p_1}^* = 26,056 \cdot \mu^2 - 5,811 \cdot \mu + 735,8 \cdot 10^{-3}, \quad \left[\frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})} \right] \quad (4.40)$$

где μ – молярная масса образца, кг/моль

Из уравнения (4.36) с учетом (4.38) и (4.40), для расчета теплопроводности системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) в зависимости от давления получим:

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

$$\times \left[14,85 \cdot 10^{-3} \left(\frac{n}{n_1} \right)^2 + 105 \cdot 10^{-3} \left(\frac{n}{n_1} \right) + 881 \cdot 10^{-3} \right] \times$$

$$\times (26,056 \cdot \mu^2 - 5,811 \cdot \mu + 735,8 \cdot 10^{-3}), \left[\frac{Bm}{(M \cdot K)} \right] \quad (4.41)$$

С помощью уравнения (4.41) можно вычислить, с погрешностью до 3,2% (П.4.16-П.4.18.), теплопроводность неисследованных жидкостей в зависимости от давления при комнатной температуре, для чего необходимо знать только концентрации объектов и молярную массу неисследованных жидкостей.

Для обобщения экспериментальных данных по теплоемкости гидразин-гидрата в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50nm) и молярной массы использован закон соответственных состояний в виде следующей функциональной зависимости [25,51,55,137, 184,186,187]:

$$\frac{C}{C_{p_1}} = f\left(\frac{n}{n_1}\right), \quad (4.42)$$

где C – теплоемкость испытуемого образца в зависимости от концентрации; C_{p_1} – теплоемкость испытуемого образца при n_1 ; n – концентрация, при которой проводятся испытания; $n_1=0,2\%$.

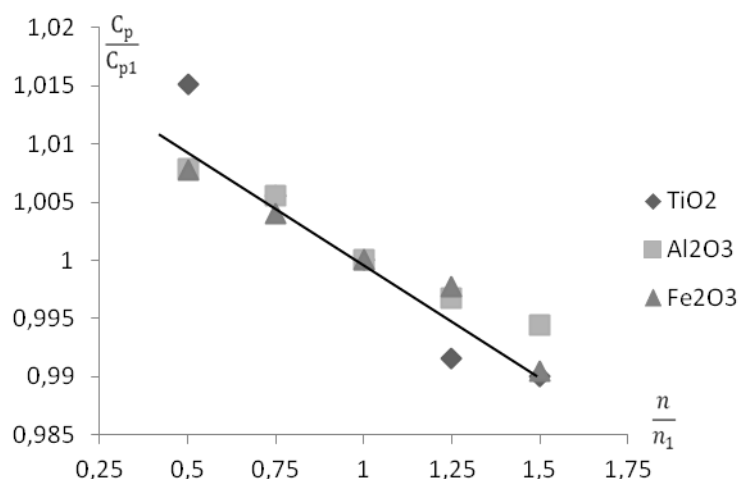


Рисунок 4.19. Зависимость относительной теплоемкости C/C_{p_1} от относительной концентрации n/n_1

Соотношение (4.42) хорошо выполняется для растворов, т.е. экспериментальные данные по теплоемкости хорошо укладываются вдоль общей прямой рисунка 4.19, и описывается уравнением:

$$C = \left[-0,0392 \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 1,0385 \right] \cdot C_{p_1}, \quad \left[\frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \right] \quad (4.43)$$

где n – концентрация, при которой проводятся испытания; C_{p_1} – теплоемкость при $n_1=0,2\%$.

Значение C_{p_1} является функцией молярной массы образца

$$C_{p_1} = f(\mu), \quad (4.44)$$

Значения зависимости теплоемкости системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) от молярной массы при $n_1=0,2\%$ приведены в таблице 4.13.

Таблица 4.13. Зависимость теплоемкости (C_p , $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$) системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) от молярной массы при $n_1=0,2\%$

$\mu, \text{кг} / \text{моль}$	0,062	0,08	0,094	0,102	0,153	0,16
$C_{p_1}, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	3473,7	3435,8	3417,3	3411	3444,5	3459

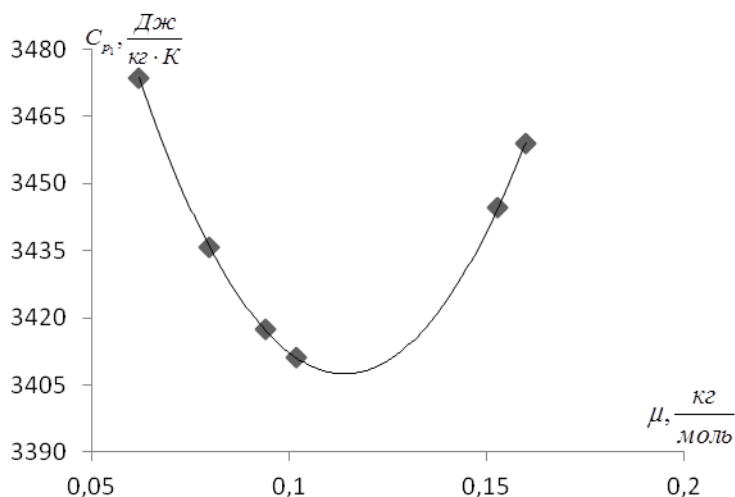


Рисунок 4.20. Зависимость $C_{p1} = f(\mu)$ (Обозначение как 4.3)

Кривая линия, изображенная на рисунке 4.20, описывается уравнением:

$$C_{p1} = 24437 \cdot \mu^2 - 5574,9 \cdot \mu + 3725,4, \left[\frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \right] \quad (4.45)$$

где μ – молярная масса образца, кг/моль

Из уравнения (4.43) с учетом (4.45) для расчета теплоемкости системы гидразингидрат + наноструктурные окисы металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм) в зависимости от концентрации получим:

$$C = \left[-0,0392 \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 1,0385 \right] \times (24437 \cdot \mu^2 - 5574,9 \cdot \mu + 3725,4), \left[\frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \right] \quad (4.46)$$

С помощью уравнения (4.46) можно вычислить, с погрешностью до 3%, теплоемкость неисследованных жидкостей в зависимости от концентрации при комнатной температуре, для чего необходимо знать только их молярную массу оксидов.

Для обобщения экспериментальных данных по коэффициенту молекулярной диффузии гидразингидрата в зависимости от концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм) и молярной массы использован закон соответственных состояний в виде следующей функциональной зависимости:

$$\frac{D_v}{D_v^*} = f\left(\frac{n}{n_1}\right), \quad (4.47)$$

где D_v – коэффициент молекулярной диффузии испытуемого образца в зависимости от концентрации; D_v^* – коэффициент молекулярной диффузии испытуемого образца при n_1 ; n – концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$), при которых проводятся испытания; $n_1=0,2\%$.

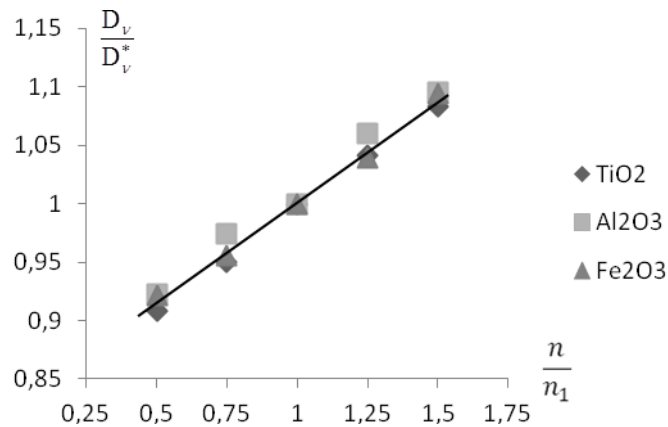


Рисунок 4.21. Зависимость относительного коэффициента молекулярной диффузии D_v/D_v^* от относительной концентрации n/n_1

Соотношение (4.47) хорошо выполняется для системы гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов, т.е. экспериментальные данные по коэффициенту молекулярной диффузии хорошо укладываются вдоль общей прямой (рисунок 4.21), которая описывается уравнением:

$$D_v = \left[0,47 \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 0,531 \right] \cdot D_v^*, \left[\frac{M^2}{c} \cdot \frac{K_2}{\text{моль}} \right] \quad (4.48)$$

где n – концентрации наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$), %

Значение D_v^* является функцией молярной массы образцов

$$D_v^* = f(\mu) \quad (4.49)$$

где μ – молярная масса образца, кг/моль

Значения коэффициента молекулярной диффузии гидразингидрата от молярной массы при $n_1=0,2\%$ приведены в таблице 4.14.

Таблица 4.14. Зависимость коэффициента молекулярной диффузии ($D_v \cdot 10^7, (м^2 \cdot кг)/(с \cdot моль)$) гидразингидрата+ наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50нм) от молярной массы при $n_1=0,2\%$

μ , кг/моль	0,062	0,08	0,094	0,102	0,153	0,16
$D_v^* \cdot 10^7, (м^2 \cdot кг)/(с \cdot моль)$	0,067	0,096	0,111	0,116	0,192	0,203

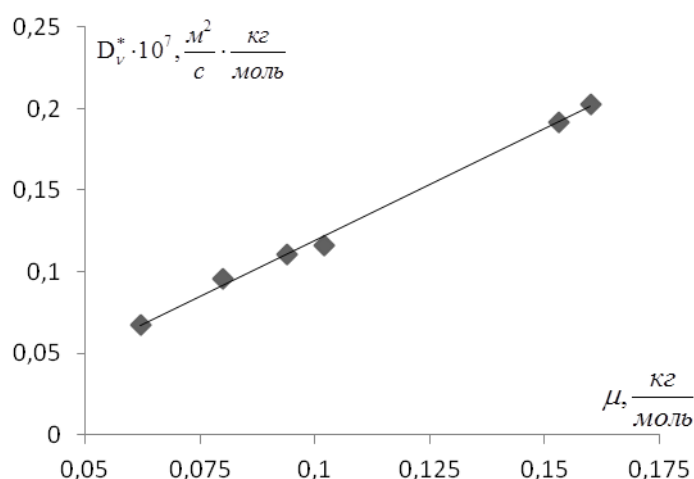


Рисунок 4.22. Зависимость $D_v^* = f(\mu)$ (Обозначение как 4.3)

Прямая линия, изображенная на рисунке 4.22, описывается уравнением:

$$D_v^* = 1,1767 \cdot \mu - 0,0179, \left[\frac{м^2}{с} \cdot \frac{кг}{моль} \right] \quad (4.50)$$

Из уравнения (4.48) с учетом (4.50) для расчета коэффициента молекулярной диффузии системы гидразингидрат + наноструктурные окисы металлов (TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 d=50нм) в зависимости от концентрации получим:

$$D_v = \left[0,47 \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 0,531 \right] \times (1,1767 \cdot \mu - 0,0179) , \left[\frac{M^2}{c} \cdot \frac{K_2}{\text{моль}} \right] \quad (4.51)$$

С помощью уравнения (4.51) можно вычислить, с погрешностью до 4%, коэффициент молекулярной диффузии неисследованных объектов в зависимости от концентрации при комнатной температуре, для чего необходимо знать только значения молярной массы неисследованных объектов.

4.4. Влияние температуры, давления на изменения теплофизических и диффузионных свойств системы гидразингидрат + некоторые наноструктурные окиси металлов

С целью получения расчетного уравнения по теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности и коэффициента молекулярной диффузии гидразингидрата в зависимости от температуры и давления нами обработаны экспериментальные данные в виде следующих функциональных зависимостей [3,38,39,175,176,179,183,186,187]; [51,54,55,137,176,184-187]; [39,50,52,145,176,183,186,187]:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.52) \quad \frac{\lambda_p}{\lambda_{p_1}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right), \quad (4.53)$$

$$\frac{C_p}{C_p^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.54) \quad \frac{a}{a_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.55)$$

$$\frac{a_p}{a_{p_1}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right), \quad (4.56) \quad \frac{D_v}{D_v^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right). \quad (4.57)$$

где λ , λ_p , a , a_p , - теплопроводность и температуропроводность испытуемого образца в зависимости от температуры, давления, C_p , D_v , - теплоемкость и молекулярная диффузия испытуемого образца в зависимости от температуры; λ_1 , a_1 , λ_{p_1} , a_{p_1} - теплопроводность и температуропроводность испытуемого образца при

T_1, P_1, C_p^*, D_v^* - теплоемкость и молекулярная диффузия испытуемого образца при T_1 , и T, P – температура, давление при которых проводятся испытания; $T_1 = 323\text{K}$; $P_1 = 0,121\text{МПа}$.

Из уравнений (4.52)– (4.57) получим:

$$\frac{\lambda_{T,P}}{\lambda^*} = f\left[\left(\frac{T}{T_1}\right) \cdot \left(\frac{P}{P_1}\right)\right], \quad (4.58) \quad \frac{C_p}{C_p^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.59)$$

$$\frac{a_{T,P}}{a^*} = f\left[\left(\frac{T}{T_1}\right) \cdot \left(\frac{P}{P_1}\right)\right], \quad (4.60) \quad \frac{D_v}{D_v^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right). \quad (4.61)$$

На основании экспериментальных данных по теплопроводности и температуропроводности гидразингидрата в зависимости от температуры, давления были выведены следующие формулы:

$$\lambda_{T,P} = \left[\left[-2,6 \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 5,71 \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right) - 2,12 \right] \cdot \left[471,2 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{P}{P_1}\right) + 529,04 \cdot 10^{-3} \right] \right] \cdot \lambda^* \quad (4.62)$$

$$a_{T,P} = \left[\left[-3,456 \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 7,559 \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right) - 3,103 \right] \cdot \left[49,1 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{P}{P_1}\right) + 51,01 \cdot 10^{-2} \right] \right] \cdot a^* \quad (4.63)$$

Значения λ^* , a^* - являются функцией концентрации наноструктурных оксидов металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2):

$$\lambda^* = f(n), \quad a^* = f(n),$$

Далее, для обобщения λ^* , a^* -использованы следующие зависимости:

$$\frac{\lambda^*}{\lambda_1^*} = f\left(\frac{n}{n_1}\right), \quad (4.64)$$

$$\frac{a^*}{a_1^*} = f\left(\frac{n}{n_1}\right). \quad (4.65)$$

Выполнимость выражений (4.64, 4.65) показана на рисунках 4.23, 4.24.

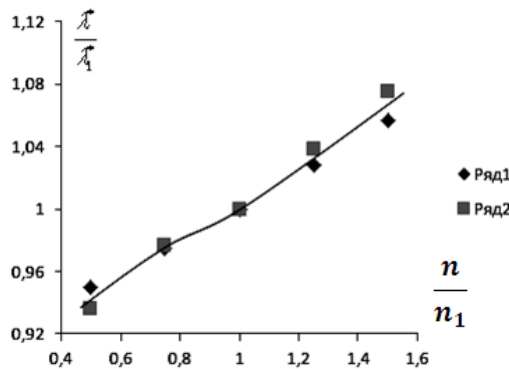


Рисунок 4.23. Зависимость относительной λ^* / λ_1^* от относительной n / n_1 : ряд1 - ($\lambda_{T1} / \lambda_{T1}^*$) значение относительной теплопроводности при $T=323\text{ K}$; ряд2 - ($\lambda_{P1} / \lambda_{P1}^*$) при $P=0,121\text{ МПа}$

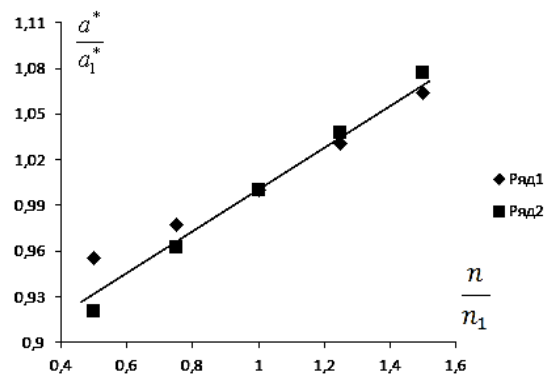


Рисунок 4.24. Зависимость относительной a^* / a_1^* от относительной n / n_1 : ряд1 - (a_T^* / a_{T1}^*) значение относительной температуропроводности при $T_1=323\text{ K}$; ряд2 - (a_{P1}^* / a_{P1}^*) при $P_1=0,121\text{ МПа}$

Как видно из рисунков 4.23, 4.24., экспериментальные данные хорошо укладываются вдоль общей прямой. Исходя из этого, зависимости, приведенные в 4.59, 4.60. описываются следующими выражениями:

$$\lambda^* = \left[14,9 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right)^2 - 87,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 898,6 \cdot 10^{-3} \right] \cdot \lambda_1^* \quad (4.66)$$

$$a^* = \left[133 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 868,5 \cdot 10^{-3} \right] \cdot a_1^* \quad (4.67)$$

Выражения (4.62, 4.63) с учетом (4.66, 4.67) принимают вид:

$$\begin{aligned} \lambda_{T,P} = & \left[\left[-2,6 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 5,71 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right) - 2,12 \right] \cdot \left[471,2 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{P}{P_1} \right) + 529,04 \cdot 10^{-3} \right] \right] \times \\ & \times \left(14,9 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right)^2 - 87,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 898,6 \cdot 10 \right) \cdot \lambda_1^* \end{aligned} \quad (4.68)$$

$$\begin{aligned} a_{T,P} = & \left[\left[-3,456 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 7,559 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right) - 3,103 \right] \cdot \left[49,1 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{P}{P_1} \right) + 51,01 \cdot 10^{-2} \right] \right] \times \\ & \times \left(133 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right) + 868,5 \cdot 10^{-3} \right) \cdot a_1^* \end{aligned} \quad (4.69)$$

где λ_1^*, a_1^* - являются функцией молярной массы наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50nm) при $T_1=323$ К, $P_1=0,121$ МПа, $n_1 = 0,2$ % .

С помощью уравнений (4.68), (4.69) можно вычислить теплопроводность и температуропроводности неисследованных систем гидразингидрата + наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 d=50nm) в зависимости от температуры, давления, для чего необходимо знать только концентрации добавляемого объекта и молярную массу испытуемого образца.

ВЫВОДЫ

1. Исследован комплекс теплофизических (теплопроводность, плотность, теплоемкость и температуропроводность), термодинамических (энтропии, энтальпии, энергии Гиббса и Гельмгольца) свойств и молекулярная диффузия, среднее “время жизни” изобарических флуктуаций плотности системы (гидразингидрат+некоторые наноструктурные окиси металлов), позволяющих прогнозировать теплофизические, термодинамические и диффузионные свойства системы на основе их молекулярных структур.
2. Собрана экспериментальная установка для измерения температуропроводности и теплопроводности исследуемых систем (гидразингидрат +наноструктурные окиси металлов) в зависимости от давления методом лазерной вспышки, а для измерения электрофизических свойств – методом плоского конденсатора.
3. Впервые получены экспериментальные данные по теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности, плотности, энтропии, энтальпии, энергии Гиббса и Гельмгольца и коэффициента молекулярной диффузии системы (гидразингидрат + наноструктурные окиси металлов Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 $d=50\text{nm}$) при температуре ($T=298\text{--}348\text{K}$), давлении ($P = 0,101\text{--}0,141\text{МПа}$).
4. Установлено, что теплопроводность, температуропроводность исследуемых систем при заданной температуре с ростом давления увеличиваются. Температуропроводность, коэффициент молекулярной диффузии и теплоемкость с увеличением температуры увеличиваются, плотность наоборот уменьшается, а при концентрации оксидов металлов увеличивается.
5. На основе экспериментальных данных по температуропроводности исследуемых систем нами впервые рассчитаны среднее “время жизни” изобарических флуктуаций плотности и термодинамических флуктуаций. Установленно, что с ростом температуры, давления и концентрации наночастиц среднее “время жизни” изобарических флуктуаций плотности и термодинамических флуктуаций уменьшаются. Показано, что среднее “время жизни” изобарических флуктуаций плотности и термодинамических флуктуаций

гидразингидрата, который содержит наноструктурную окись алюминия, имеет самое высокое значение во всем интервале температур.

6. При обработке экспериментальных данных на основе закона термодинамического подобия по теплофизическим, термодинамическим и диффузионным свойствам исследуемых объектов при различных параметрах состояния (давления, температура и концентрации оксидов металлов) получен ряд эмпирических уравнений: [(теплопроводность-(4.14); (4.41); (4.79)), (теплоемкость-(4.7); (4.46)), (температуропроводность- (4.21); (4.34); (4.81)), (диффузия (4.28); (4.51))].

7. Установлено, что при увеличении температуры от 298К до 348К коэффициент молекулярной диффузии образца (гидразингидрат + 0,1% наноструктурная окись железа (Fe_2O_3 d=50нм)) увеличивается на 14,4 %, а для образца (гидразингидрат + 0,3% наноструктурная окись железа (Fe_2O_3 d=50нм)) в данном интервале температур это изменение доходит до 5,6% , т.е. чем больше количество наноструктурных окисей металлов, тем меньше коэффициент молекулярной диффузии.

8. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований приняты к использованию и внедрены в различных промышленных предприятиях Республики Таджикистан, а также используются в учебном процессе Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими в городе Душанбе. По результатам разработок получено 6 Малых патентов Республики Таджикистан.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Абдуллаев Ф.Г.** Плотность фторбензола в жидкой фазе /Ф.Г. Абдуллаев, Т.С. Ахунов, Ю.А. Джабиев //Изв. вузов. Нефть и газ. –1989. –№4. с.47–50.
2. Авторское свидетельство СССР №949464, кл. G01 N27/02 опубликовано 07.08.82, бюллетень №29.
3. **Аминов Ш.А.** Влияние герметики 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 //Материалы 7-я Международная теплофизическая школа «Теплофизические исследования и измерения в энергосбережении, при контроле, управлении и улучшении качества продукции, процессов и услуг» Ч.1, Тамбов, 20-25 сентябрь -2010. -с.100-101.
4. **Аминов Ш.А.** Интенсификация теплоотдачи в теплоэнергетических установках (турбинах) /Ш.А. Аминов, М.А. Зарипова, И.Ш. Тауров, Х.А. Зоиров, Т.Р. Тиллоева // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Физика конденсированных сред» (28-29 апреля 2009), Душанбе-2010. -с.51-54.
5. **Арсланов Дж.Э.** Теплопроводность полупроводниковых соединений $A^I B^{III} C_2^{VI}$: Тезисы докладов /Дж.Э. Арсланов, С.А. Гасанов //9-я Теплофизическая конференция СНГ. Махачкала, 24-28 июня, -1992. -238 с.
6. **Башарин А.Ю.** Методика экспериментального исследования оптических характеристик тугоплавких металлов при сверхвысоких температурах //А.Ю. Башарин, А.В. Кириллин, М.А. Шейиллин //ТВТ.-1984.–Т.22. №1.–с.131–137.
7. **Байрамов Н.М.** Плотность бромалькилов и эфиров органических кислот в жидкой и паровой фазах /Н.М. Байрамов //Дисс... к.т.н. –Баку, -1983. –186 с.
8. **Бегункова А.Ф.** Прибор для быстрых испытаний теплопроводности изоляционных материалов /А.Ф. Бегункова //Заводская лаборатория –1952. –Т.XV111. – №10.-с. 1260–1262.
9. **Бибик Е.Е.** Оптические эффекты при агрегировании частиц в электрическом и магнитном полях /Е.Е. Бибик, И.С. Лавров, И.Н. Меркушев //Коллоидный журнал. – 1966. – Т. 28. –№ 5. -с.631–634.

- 10. Бибик Е.Е.** Коллоидная жидкость /Е.Е. Бибик //Коллоидный журнал. –1970. –Т. 32. –№ 2. –307с.
- 11.Бобоева А.Х.** Метод определения теплогидродинамических характеристик пластинчатого теплообменника с холодным теплоносителем /А.Х. Бобоева, М.М. Сафаров, Дж.А. Зарипов, Ш.А. Аминов, Х.А. Зоиров //Материалы Республиканской научно-практической конференции. «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии», Душанбе-2009. -с.28-33.
- 12.Варгафтик Н.Б.** Теплопроводность жидкостей /Н.Б. Варгафтик //Изв. ВТИ. – 1949. – № 8. – с.6–11.
- 13. Власов Д.В.** Оценка погрешности измерения высокоградиентных температурных полей термопарой с неточечным спаем: Тезисы докладов /Д.В. Власов, Д.А. Казенин, Н.А. Колесникова //Вторая международная теплофизическая школа. 25-30 сентября -1995. Тамбов.– с.248.
- 14. Волькенштейн В.С.** Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов / В.С. Волькенштейн //–Л.: Энергия, -1971. –145 с.
- 15.Геращенко Ю.А.** Температурные измерения: Справочник /Ю.А. Геращенко, А.Н. Гордов, Р.И. Лах, Н.Я. Ярышев //–Киев: Наукова думка, -1984. –495 с.
- 16.Греков А.П.** Физическая химия гидразина. /А.П. Греков, В.Я. Веселов.//Киев: Наукова думка, -1979. –264 с.
- 17. Груздев В.А.** Автоматизированный C, λ -калориметр: Тезисы докладов /В.А. Груздев, Ю.А. Веслогузов, Ю.А.Коваленко, С.Г. Комаров //9 Теплофизическая конференция СНГ. Махачкала, 24-28 июня, -1992. –с.225.
- 18. Гордов А.Н.** Статистические методы обработки результатов теплофизического эксперимента /А.Н. Гордов, В.Г. Парфенов, А.Ю. Потягайло, А.В. Шарков //Учеб. пособие. ЛИТМО. –Л., -1981. –72 с.
- 19.ГОСТ 8.207-76 ГСИ.** Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. //–М.: Изд-во стандартов, -1976. –9 с

- 20.** ГОСТ 8.381-80 (Ст СЭВ 403-76) ГСИ. Эталоны. Государственная система обеспечения единства измерений. Способы выражения погрешностей. //—М.: Изд-во стандартов, -1980. —9 с.
- 21.** Гусейнов К.Д. Исследование термодинамических свойств ряда кислородосодержащих органических веществ в широком интервале параметров состояния /К. Амал Дадашогли Гусейнов //Дис. д-ра.т.н.- Баку, -1979. —392 с.
- 22.** Гусейнов С.О. Результаты комплексного исследования теплофизических важных органических соединений (нитрилы, олефины и толуидины) в жидком состоянии /Собир Ойдиногли Гусейнов //Автореф. Дисс. д.т.н. —М, -1990.—37 с.
- 23.** Деденко Л.Г. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента /Л.Г. Деденко, В.В. Керженцев //—М.: Изд-во стандартов, -1977.-36 с.
- 24.** Джураев Д.С. Расчетно-экспериментальное исследование термодинамических свойств наножидкостей в зависимости от температуры и давления /Д.С.Джураев, М.М.Сафаров, М.А.Зарипова, Х.А.Зоиров //Материалы Республиканской научно-практической конференции «Состояние и будущее энергетики Таджикистана». Душанбе —2009. -с.136—138.
- 25.** Джураев Д.С. Уравнения типа Тейта для расчета теплопроводности коллоидных жидкостей /Д.С. Джураев //Известия вузов. Бишкек—2010.— №4. -с.9—11.
- 26.** Джураев Д.С. Расчет теплоемкости коллоидных жидкостей в зависимости от давления при комнатной температуре /Д.С. Джураев //Известия вузов. Бишкек—2010.—№4. -с.3—5.
- 27.** Диканский Ю.И. Дифракционное рассеяние света структурированными жидкостями в сдвиговом течении /Ю.И. Диканский, Е.А. Ачкасова, Н.Г. Полихрониди //Коллоидный журнал, —1995.—Т.57.—№ 1.—с.113—116.
- 28.** Дутчак Я.И. Укр. Физ. журн., 5., -1960. -94с.
- 29.** Ерин К.В. Рассеяние света в магнитных коллоидах при одновременном воздействии электрического и магнитного полей /К.В.Ерин, В.В. Падалка //Вестник Ставропольского государственного университета. -2005. №43. -с. 93-99.

- 30. Ерин К.В.** Экспериментальное исследование изменения прозрачности разбавленной коллоидной жидкости /К.В. Ерин //Журнал технической физики. -2006. Т.76, вып. 9. -с.94-97.
- 31. Ерин К.В.** Электро и магнитооптические эффекты в коллоидных растворах жидких диэлектриках и их применение для исследования при электродных процессах /К.В. Ерин //Автореф. Дис. д.т.н. –Ставрополь, -2010. –37с.
- 32. Зарипова М.А.** Уравнение состояния гидразинзамещенных водных растворов /М.А. Зарипова //Вестник Таджикского технического университета, -2008. -№2. -с.9-15.
- 33.Зарипова М.А.** Прогнозирование калорических свойств некоторых гидразинзамещенных жидкостей и углеводородов /М.А. Зарипова // Вестник Таджикского технического университета, -2008.-№3. -с.12-21.
- 34. Зарипова М.А.** Экспериментальное исследование теплопроводности водных растворов триметилгидразина в зависимости от температуры и давления /М.А. Зарипова. //Измерительная техника -2011.
- 35. Зарипова М.А.** Экспериментальное исследование коэффициента теплопроводности водных растворов этилгидразина при высоких параметрах состояния /М.А. Зарипова // Вестник ТГНУ-2011.-с. 25-29 12(76)ISSN 2074-1847
- 36. Зарипова М.А.** Методы расчета термодинамических свойств гидразингидрата при высоких параметрах состояния /М.А. Зарипова //Вестник педагогического университета, №2(38). Душанбе, -2011.-с.7-12.
- 37. Зарипова М.А.** Теплопроводность водных растворов метилгидразина в зависимости от температуры и давления /М.А. Зарипова //Вестник Таджикского технического университета, 1(13), -2011.-с.12-18.
- 38. Зарипова М.А.** Применение критерия Нуссельта для обработки экспериментальных данных по теплопроводности теплоносителей /М.А. Зарипова, Х.А. Зоиров, М.М. Сафаров, Э.Ш. Тауров, Т.Р. Тиллоева //Сб. трудов международной конференции «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах» Махачкала, 7-10 сентября -2009. -с.64-69.

- 39. Зарипова М.А.** Применение критерия Нуссельта для обработки экспериментальных данных и определение коэффициента теплоотдачи /М.А.Зарипова, Т.Р. Тиллоева, Х.А. Зоиров и др. //Материалы республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии», Душанбе, -2009. -с.39-41.
- 40. Загеров А.Р.** Измерение теплопроводности жидкостей в потоках методом импульсно нагреваемой проволоки: Тезисы докладов /А.Р. Загеров, А.А. Тарзиманов, Р.А. Шарафутдинов. //Вторая международная теплофизическая школа. Тамбов. 25-30 сентября, -1995. –с.226.
- 41. Захаров А.Г.** Транспортная космическая система /А.Г. Захаров, Ю.К. Казаров //–М.: ВИНТИ, -1976.–248 с. – (Итоги науки и техники: Сер. Ракетостроение. Т.7).
- 42.Зайдель А.Н.** Ошибки измерений физических величин /А.Н. Зайдель //-Л.: Наука, -1974. –146 с.
- 43. Земин В.С.** Экспериментальное исследование плотности предельных спиртов при различных температурах и давлениях /В.С. Земин //Дис. к.т.н.– М., -1980. – 175 с.
- 44. Зиновьев В.Е.** Теплофизические свойства металлов при высоких температурах /В.Е. Зиновьев //Справочник. –М.: Металлургия, -1989. –384 с.
- 45. 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 //Материалы Республиканской конференции «Координационная химия и ее значение в развитии народного хозяйства» с международным участием, посвященная памяти профессора Юсупова З.Н., ТНУ 26, 27 декабря -2011. -с.100-106.
- 46.Зоиров Х.А.** Влияние некоторых окисей металлов на изменение температуропроводности и молекулярной диффузии гидразингидрата /Х.А. Зоиров, М.А. Зарипова, М.М. Сафаров //Вестник Таджикского технического университета, -2014.

47. Зоиров Х.А. Теплопроводность, теплоемкость системы гидразингидрата + некоторых окисей металлов в зависимости от давления /Х.А. Зоиров, М.А. Зарипова, М.М. Сафаров //Вестник Таджикского национального университета (научный журнал), -2012. -с.108-114. 1/1(77), ISSN 2074-1847.

48.Зоиров Х.А. Устройство для определения температуропроводности при комнатной температуре и атмосферном давлении путем лазерной вспышки /Д.С. Джураев, М.М. Сафаров, Х.А. Зоиров, Ш.З. Нажмуддинов и др. //№ TJ 230. -2009. МПК (2006) G01N. 21/00.

49.Зоиров Х.А. Устройство для определения температуропроводности магнитных жидкостей /Д.С. Джураев, М.М. Сафаров, Х.А. Зоиров, Ш.З. Нажмуддинов и др. //№ TJ 292. -2010. МПК (2006) G01 N 27/00; 17/74.

50.Зоиров Х.А. Влияние нано пористых никелевых катализаторов на изменение температуропроводности гидразингидрата в зависимости от давления и вектора индукции магнитного поля /Х.А. Зоиров, С.А. Тагоев, А.Ф. Тошов, М.А. Зарипова //Сб. трудов 10 Международной семинар «Магнитные фазовые переходы» Махачкала, 23 ноября -2010. -с.143-146.

51. Зоиров Х.А. Влияние наноматериалов на изменение удельной изобарной теплоемкости теплоносителей /Х.А. Зоиров, М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, С.А. Тагоев и др. //Сборник статей 9-я Международная научно-техническая конференция. Материалы и технологии 21 века. Пенза-март -2011. -с.127-130.

52. Зоиров Х.А. Влияние нанопористого, наноразмерного оксида титана на изменение температуропроводности гидразингидрата при комнатной температуре в зависимости от давления /Х.А. Зоиров, С.А. Тагоев, М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.Ф. Тошов //Вестник Таджикского национального университета (научный журнал), -2011. №1(65), -с.69-72.

53.Зоиров Х.А. Влияние графитных нанотрубок на изменение плотности гидразингидрата /Х.А. Зоиров, М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, М.М. Анакулов, Ш.М. Назиров //ТНУ -2011.-с.178-179.

- 54.Зоиров Х.А.** Влияние наномикropошкoв на изменение теплоемкости воды и продуктов пива /М.Ф. Курбонов, М.М. Сафаров, Х.А. Зоиров и др.//ТНУ- 2011(6). -с.179-180.
- 55. Зоиров Х.А.** Взаимосвязь между калорическими и термодинамическими свойствами воды и некоторых органических растворов /Ш.А. Аминов, М.М. Сафаров, Х.А. Зоиров и др. //Материалы республиканской научно-практической конференции «Перспективы энергетики Таджикистана», 23 декабря -2011. -с.16-19.
- 56. 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 научно-практической конференции «Перспективы энергетики Таджикистана» 23 декабря -2011. -с.10-12.
- 57.Зоиров Х.А.** Способ определения теплопроводности магнитных жидкостей методом лазерной вспышки /Х.А. Зоиров, Д.С. Джураев, М.М. Сафаров, Ш.З. Нажмуддинов и др. //№ TJ 316. -2010. МПК (2006) G01. N 21/00.
- 58.Казарновский Д.М.** Испытание электронных материалов /Д.М. Казарновский, Б.М. Тареев //М.-Л.: Госэнергоиздат, -1963.
- 59.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. –28 с.
- 60. Кирилин В.А.** Исследования термодинамических свойств веществ /В.А. Кирилин, А.Е. Шейндлин //– Л.: Госэнергоиздат, -1963. –560 с.
- 61.Клименко А.В.** Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент /А.В. Клименко, В.М. Зорина //Под. общ. ред. Издательство МЭИ. Москва, -2001. -с.560.

- 62. Козло А.Д.** Разработка и внедрение в народное хозяйство системы нормативно-справочных данных о термодинамических свойствах технически важных газов, жидкостей и смесей /А.Д. Козлов //Автореф. дисс. д-ра тех. наук. –М., 48 с.
- 63. 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.7-10.
- 64. Кондратьев Г.М.** Регулярный тепловой режим /Г.М. Кондратьев //М.: ГИТЛ, 1954. –408 с.
- 65. Корови Н.В.** Гидразин / Н.В. Коровин //– М.: Химия, 1980. –272 с.
- 66. Кржижановский Р.Е.** Теплопроводность и электропроводность металлов и сплавов /Р.Е. Кржижановский //– М.: Металлургия, 1967. –285 с.
- 67. 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.
- 68. Кудряшова Ж.Ф.** Рекомендации по методам обработки результатов наблюдений при прямых измерениях /Ж.Ф. Кудряшова, С.Г. Рабинович, К.А. Резник // Тр. метрологических институтов СССР. –1972. –Вып. 134(194). 5–90с.
- 69. 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.
- 70. Мамедов А.М.** Таблицы термодинамических свойств газов и жидкостей /А.М.Мамедов, Т.С. Ахундов //– Вып. 5. Углеводороды ароматического ряда. ГО-СТВНИЦ ГСССД АН СССР. –М.: Изд-во стандартов,-1978. – 140 с.
- 71. Маджидов Х.** Исследование температуропроводности окиси алюминия, содержащей различные количества металла, в газовых средах и вакууме /Х. Маджидов, М.М. Сафаров //Теплофизика высоких температур.-1983–№ 4—Т.21. -с. 693-696.
- 72. Мен А.А.** Лучистокондуктивный теплообмен в среде с селективными оптическими свойствами /А.А. Мен, О.А. Сергеев //ТВТ. –1971. –Т.9. –Вып.3. –370с.

- 73.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-й Теплофизической конференции СНГ. Махачкала, -1992. –с.22-23.
- 74.Михайлов И.Г.** Основы молекулярной акустики /И.Г. Михайлов, В.А. Соловьев, Ю.П. Сырников //–М.: Наука, -1964. –514 с.
- 75.Мустафаев Р.А.** Теплофизические свойства углеводородов при высоких параметрах состояния /Р.А. Мустафаев. //–М., -1980. –296 с.
- 76. Мустафаев Р.А.** Экспериментальное исследование P - λ - T зависимости динонилового эфира янтарной кислоты в широком интервале параметров состояния /Р.А. Мустафаев, Д.К. Ганиев, Р.С. Рагимов //Тезисы докладов. 9 Теплофизическая конференция СНГ. Махачкала, 24-28 июня, -1992. –с.68.
- 77. Мустафаев Р.А.** Метод монотонного нагрева для исследования теплопроводности жидкостей, паров и газов при высоких температурах и давлениях: Сб. по теплофизическим свойствам жидкосте /Р.А. Мустафаев //–М.: Наука, -1973. –с. 112–117.
- 78.Мустафаев Р.А.** Теплофизические свойства капроатов при высоких параметрах состояния /Р.А. Мустафаев, Н.М. Байрамов, М.А. Гусейнов //Тезисы докладов. 9-я Теплофизическая конференция СНГ. Махачкала, 24-28 июня, -1992. –с.119.
- 79. Мустафаев Р.А.** Экспериментальное исследование и методика расчета теплопроводности органических жидкостей в диапазоне температур 300-600К и давлений 0,1-98,0 МПа: Теплофизические свойства веществ /Р.А.Мустафаев, Б.Г. Гараджаев, Р.С. Рагимов //Труды V111 Всесоюзной конференции. Часть 1. Новосибирск. -1989. –с.175-180.
- 80. Нажмудинов Ш.З.** Применение метода адиабатического сжимаемости в области максимальной плотности растворителя /Ш.З. Нажмудинов, М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Х.А. Зоиров //Материалы Республиканской научно-практической конференции. «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии», Душанбе-2009. -с.41-42.

- 81.Нуриддинов З.** Теплофизические свойства фталовой кислоты в зависимости от температуры и давления /Зиедулло Нуриддинов //Дис. канд. техн. наук. Душанбе, -1991.–185с.
- 82.Нуриддинов З.** Теплофизические свойства фталатов в зависимости от температуры и давления /Зиедулло Нуриддинов //Автореф. Дисс... к.т.н. –Баку, -1991. – 20 с.
- 83.Одрит Л.** Химия гидразина /Л. Одрит, Б. Огг // Пер. с англ. Е.А.Яковлевой. – М.: ИЛ, -1954. – 238 с.
- 84.Омаров А.М.** Теплопроводность и термоэдс твердых растворов $La_2S_3-Gd_2S_3$ /А.М. Омаров, Г.М. Гасанбеков //Тезисы докладов. 9-я Теплофизическая конференция СНГ. Махачкала, 24-28 июня, -1992. –с.198.
- 85.Охотин В.С.** Таблица РСД. Висмут: Термодинамические свойства при атмосферном давлении от температуры плавления до нормальной температуры плавления, до нормальной температуры кипения /В.С. Охотин, Л.А. Разумейченко, А.А. Александров и др. //Всесоюзный научно-исследовательский центр по материалам и веществам. Госстандарт. –М., -1986. –№352. –24 с.
- 86.Падалка В.В.** Двухлучепреломление коллоидных жидкостей /В.В. Падалка, К.В. Ерин. //Вестник Ставропольского государственного университета. -1999. №18. -с. 86-92.
- 87.Падалка В.В.** Изучение кинетики электрического двойного лучепреломления в коллоидной жидкости /В.В. Падалка, К.В. Ерин. //Коллоидный журнал. -2001. Т. 63, № 3. -с.389-393.
- 88.Падалка В. В.** Исследование коллоидной жидкости методом рассеяния света /В.В. Падалка, К.В. Ерин //Вестник Ставропольского государственного университета. -2002. №31. -с. 23-25.
- 89.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.

- 90.Парфенов В.Г.** Регрессионный и корреляционный анализ. Обработка результатов наблюдений при измерениях /В.Г. Парфенов //Учеб. пособие. ЛИТМО. –Л., -1983. –78 с.
- 91.Патент РФ №2234075,** МПК G01 N22/00.
- 92.Патент РФ №2303787,** МПК G01 N27/26.
- 93.Платунов Е.С.** Теплофизические измерения в монотонном режиме /Е.С. Платунов //–Л.: Энергия, -1973. –142 с.
- 94.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. Ленинград. Отд., -1986. –256с.
- 95.Рабинович С.Г.** Методика вычисления погрешности результатов измерения /С.Г. Рабинович //Метрология. –1970. –№1.–с.3–12.
- 96.Раджабов Ф.С.** Теплопроводность и плотность водных растворов аэрозина при различных температурах и давлениях /Фахриддин Сайфуддинович Раджабов //Дис. канд. техн. наук. -Душанбе, -2002. –149с.
- 97.Сарнер С.** Химия ракетных топлив. /С. Сарнер //– М.: Мир, -1969. – 488 с.
- 98.Сафаров М.М.** Теплопроводность и плотности водных растворов гидразина (Статья) / М.М. Сафаров, Х. Маджидов, А.В. Картавченко, М.А. Зарипова //Сб. Научных работ. Вып. N1. -1992. Курган-Тюбе, -с.39-41
- 99.Сафаров М.М.** Теплопроводность и плотность водных растворов гидразина при высоких параметрах состояния (Тезис) / М.М. Сафаров, М.А. Зарипова //Тез. докл. Респ. науч. – техн. конф. по ТСВ., 1992, Баку. с.48.
- 100.Сафаров М.М.** Экспериментальное исследование теплопроводности гидразингидрат при высоких параметрах состояния (Статья) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова //Измерительная техника, №4,-1993. -М., -с.48-49.
- 101. Сафаров М.М.** Теплофизические свойства простых эфиров и водных растворов гидразина в зависимости от температуры и давления (Диссертация) /Махмадали Махмадиевич Сафаров //Диссертация...д.т.н. Минск, -1993.- 450 с.

- 102.Сафаров М.М.** Температурная и концентрационная зависимости плотности водных растворов гидразина (Статья) /М.М. Сафаров, А.В. Картавченко, М.А. Зарипова //ТВТ, Т.31, №1, -1993. -М., -с.301-312.
- 103.Сафаров М.М.** Р-р-Т зависимости водных растворов гидразина (Статья) /М.М. Сафаров, А.В. Картавченко //Журнал Физ. химия, -1993, -М., Т.67, №4. -с.710-712.
- 104.Сафаров М.М.** Теплємкость водных растворов фенилгидразин (Тезис) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова //Тез. науч. прак. конф. 28-30 октября -1993. Душанбе, -с.70.
- 105.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. Душанбе, -с.74.
- 106.Сафаров М.М.**Динамическая вязкость гидразингидрата при высоких параметрах состояния (Тезис) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.С. Нарзуллоев //Тез. науч. прак. конф. 28-30 октября -1993. Душанбе, -с.58.
- 107.Сафаров М.М.** Плотность водных растворов гидразина в зависимости от температуры (Тезис) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, А.С. Нарзуллоев //Тр. Преподавателей и сотрудников ДГПИ. им. К. Джураева, -1993. Душанбе, -с.64.
- 108.Сафаров М.М.** Динамическая вязкость водных растворовгидразина при высоких параметрах состояния (Статья) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова //Измерительная техника, N 9, -1994. -М., -с.43-45.
- 109.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, №2, -1995, Минск, -с.287-290.
- 110.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, №3, -1995. Минск, -с.453-456.

- 111.Сафаров М.М.** Вязкость водных растворов фенилгидразина в зависимости от температуры (Статья) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, З. Файзуллоев // ИФЖ, Т.68, №2, -1995. Минск, -с.287-290.
- 112.Сафаров М.М.** Акустические свойства гидразингидрата при различных температурах и давлениях (Статья) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова. //Сб.ТУТ. Вып.1, -1995. Душанбе, -с.35-38.
- 113.Сафаров М.М.** Акустические свойства водных растворов гидразина и фенилгидразина в широком спектре параметров состояния (Статья) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова. //11-Международная теплофизическая школа.-1995. Тамбов, -с.186-190.
- 114.Сафаров М.М.** Плотность системы аэрозина и воды при различных температурах и давлениях (Тезис) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Ф.С. Раджабов, М.Т. Тургунбоев //Респ. науч. техн. конф. ТГУ, -1995. Душанбе, -с.83.
- 115.Сафаров М.М.** Теплофизические свойства водных растворов гидразина (Статья) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова //Метрология, N4, -1996. -М., -с.31-35.
- 116.Сафаров М.М.** Взаимосвязь теплопроводности и плотности водных растворов фенилгидразина (Статья) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова //ТВТ, Т.34, №2, -1996. М., -с.327-330.
- 117.Сафаров М.М.** Теплоемкость водных растворов аэрозина в зависимости от температуры и давления (Статья) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Ф.С. Раджабов //Измерительная техника М. N5, -1996. -с.46-48.
- 117.Сафаров М.М.** Теплоемкости водных растворов диметилгидразина в зависимости от температуры и давления (Статья) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, В. Давлатова //ИФЖ. Т.69, №3, Деп.1405-Б96, -1996. -М., -8с.
- 119.Сафаров М.М.** Теплопроводность водных растворов аэрозина при высоких параметрах состояния (Статья) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, М.Т. Тургунбоев. //Сб. ТУТ. Вып. 3, Душанбе, -1997. -с.31-35.
- 120.Сафаров М.М.** Плотность водных растворов аэрозина в широком интервале температур и давлений (Статья) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, М.Т. Тургунбоев, Ф.С. Раджабов //ИФЖ. Т.70, №5, Деп. 816- Б97, -1997. -М., -7 с.

121.Сафаров М.М. Теплопроводность водных растворов диметилгидразина в широком интервале температур и давлений (Статья) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, М.Т. Тургунбоев //ИФЖ. Т.71, №3. -1998. Минск., -с.375-383.

122.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.10-летию независим. РТ. - 2001, -с.34-35.

123. Сафаров М.М. Р-р- Т-х –свойства растворов вода-триметилгидразина и этиленгликоля (Тезис) /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Ш. З. Нажмуддинов, Х.А. Зоиров и др. //Материалы Республиканской научно-практической конференции. «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии», Душанбе-2009. -с.28-29.

124.Сафаров М.М. Устройства 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 Республики Таджикистан. МПК (2006) G 01 N 27/00; 27/74, № TJ 229, -9с.

125.Сафаров М.М. Устройство для определения электрофизических свойств магнитных жидкостей в зависимости от давления и магнитного поля /М.М. Сафаров, Д.С. Джураев, М.А. Зарипова, Х.А. Зоиров и др. //Патент № TJ 372, -2010.-7с.

126.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 и др. //Патент № TJ 371, -2010.-7с.

127.Сафаров М.М. Устройства для кондуктометрических измерений /М.М. Сафаров, С.К. Давлатшоев, М.С. Махмадиев, Д.И. Бобошеров //Патент Республики Таджикистан. МПК (2006)⁸, С 21D 1/70; Н 05В 6.08, №0700102, от 4.04. -2007г., -5с. №TJ 80.

128. Сафаров М.М. Способ измерения диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков /М.М. Сафаров, С.К. Давлатшоев, Х.А. Зоиров, М.С. Махмадиев, и др. //Патент Республики Таджикистан. МПК (2006)G 01 № 27/06; 27/22, № TJ 210. -5с.

129.Сафаров М.М. Устройства для определения влияния влажности на температуропроводность зернистых материалов /М.М. Сафаров, С.К. Давлатшоев, М.А. Зарипова, Х.А. Зоиров, Ш.З. Нажмудинов и др. //МПК (2006) G 01 № 25/ 20 № TJ228, -8с

130.Сафаров М.М. Теплофизические свойства оксида алюминия с металлическими наполнителями в различных газовых средах /Махмадали Махмадиевич Сафаров //Автореферат на соиск. уч. ст. к.т.н.-Л.: -1986. -24с.

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

132.Сафаров М.М. Теплофизические свойства пористой гранулированной окиси алюминия, содержащей различное количество металла в зависимости от температуры в различных газовых средах /Махмадали Махмадиевич Сафаров //Дис. канд. техн. наук. –Душанбе, -1986. –186 с.

133.Сафаров М.М. Теплофизические свойства простых эфиров и водных растворов гидразина в зависимости от температуры и давления /Махмадали Махмадиевич Сафаров // Дис. д-ра техн. наук. –Душанбе, -1993. –495 с.

134.Сафаров М.М. Плотность простых эфиров. Вопросы физико-химических свойств веществ /М.М. Сафаров //Межвуз. Сб. –Вып.1. –Душанбе, -1993. – с. 124 – 128.

135.Сафаров М.М. Вязкость и плотность алкилзамешенных водных растворов в зависимости от температуры и давления /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Т.Р. Тиллоева, Х.А. Зоиров. //Тезисы докладов 2 Международной конференции молодых ученых, Иваново, -2007. -с.63.

136.Сафаров М.М. Расчет коэффициента ассоциации молекул жидкостей /М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Х.А. Зоиров, М.Ф. Курбонов //Республиканской научной конференции «Проблемы современной координационной химии», посвященной 60-ю члена-корреспондента АН РТ, доктора химических наук, профессора Аминджонова А.А. 13-14 января, -2011. -с.53-54.

- 137.Сафаров М.М.** Назначение, компоненты, структуры, исследование и прогнозирование теплофизических свойств наноструктурных композиционных материалов и их растворов /М.М. Сафаров, Х.А. Зоиров, А.Ф. Тошов и др. //Вестник Таджикского национального университета (научный журнал), -2011. №1 (65), -с.63-68.
- 138.Сергеев О.А.** Метрологические основы теплофизических измерений /О.А. Сергеев //—М.: Изд-во стандартов, -1972. —156с.
- 139.Сичев В.В.** Государственная служба стандартных справочных данных в 1976-1980 г.г. /В.В. Сичев, А.Д. Козлов //Информ. бюл. ГСССД.-М., Вып. 2. -с.4-5.
- 140.Стальнов П.И.** Метод повышения точности физико-химических измерений: Тезисы докладов /П.И.Стальнов //Вторая международная теплофизическая школа. 25-30 сентября -1995. Тамбов. —с.238.
- 141.Соловьев В.А.** Элементарные методы обработки результатов /В.А. Соловьев, В.Е. Яхонтова //—Л.: Изд-во ЛГУ, -1977. —86 с.
- 142.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. —Душанбе, -2002. —165 с.
- 143.Тейлор Дж.** Введение в теорию ошибок /Дж. Тейлор //Пер. с англ. канд. физ.-мат. наук Л.Г. Деденко. — М.: Мир, -1985. —272 с.
- 144. Тиллоева Т.Р.** Вторичные энергетические ресурсы и их применение /Т.Р. Тиллоева, Х.А. Зоиров, М.А. Зарипова, М.М. Сафаров //Вестник Таджикского технического университета -2009, 1(5), -с.28-33.
- 145.Тиллоева Т.Р.** Температуропроводность наносеребрянного раствора с концентрацией и размером наночастиц серебра (0.05нм) в зависимости от давления при комнатной температуре /Т.Р. Тиллоева, С.А. Тагоев, М.М. Сафаров, Х.А. Зоиров //Сб. трудов Международной конференции «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах» Махачкала, 21-23 ноября -2010. -с.276-280.

- 146. Фатеева Н.С.** Письма в ЖЭТФ /Н.С. Фатеева, Л.Ф. Верещагин //13, -1971. - 157с.
- 147. Фишер И.З.** Современное состояние теории жидкостей /И.З. Фишер //Уравнение состояния газов и жидкостей. Сб. –М.: Наука, -1975. – с.102 .
- 148. Френкель Я.И.** Кинетическая теория жидкостей /Я.И. Френкель //–Л.: Наука, -1975. –692с.
- 149. Френкель Я.И.** Собрание научных трудов /Я. И. Френкель //–Т.11. –М. –Л.: Изд-во АН СССР, -1958. –600 с.
- 150. Фукс Л.Т.** Метод комплексного определения теплофизических свойств /Л.Т. Фукс, В.Н. Шмандина //Известия Вузов. Энергетика.–1970.–№2.–с.124–126.
- 151. Харламов А.Г.** Измерение теплопроводности твердых тел /А.Г. Харламов //–М.: Атомиздат, -1971. –153 с.
- 152. Цыкало А.Л.** Термодинамические свойства гидразина /А.Л. Цыкало, В.К. Савенков и др. // – Рук. деп. в ВИНТИ № 536. -74с.
- 153. Чудновский А.Ф.** Теплофизические характеристики дисперсных материалов /А.Ф. Чудновский //– М.: Физматгиз, -1962. – 456 с.
- 154. Шахпаронов М.И.** Введение в современную теорию растворов /М.И. Шахпаронов //–М.: Высшая школа, -1976. –296 с.
- 155. Шашков А.Г.** Методы определения теплопроводности и температуропроводности /А.Г. Шашков, Г.М. Волохов, Т.Н. Абраменко //–М.: Энергия, -1973. –335 с
- 156. 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.
- 157. Штехер М.С.** Топлива и рабочие тела ракетных двигателей /М.С. Штехер //М.: Машиностроение, -1976. – 302 с.
- 158. Юренева В.Н.** Теплотехнический справочни Т.2. Под общей ред. /В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева //–М. -1976. –876 с.

- 159. Bungardt W.** Über den Zusammenhang zwischen der thermischen und elektrischen Leifähigkeit bei Aluminium and Magnesium Legierungen /W. Bungardt, R. Kallenbach //«Metall». –1950. – N15/16. –p. 317–321.
- 160.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, N 2. –p.638 – 642.
- 161.Chin-Yih Hong.** Parameter dependence of two-dimensional ordered structures in magnetic fluid thin films subjected to perpendicular fields /Chin-Yih Hong, C.H. Ho, H.E. Horng, C. Chen, S.Y. Yang, Y.P.Chieu, H.C. Yang //Magneto hydrodynamics. – 1999. –V. 35. –№ 4. –p. 364–371.
- 162.Guth E.D.** Пат. 3732694 (CIIA). Method for catalytic decomposition of mono-propellant hydrazine /E.D. Guth, J.L. Blumenthal. //– Опыбл. 15.05.73.
- 163. Kirk-Olmer.** Encyclopedie of Chemical Technology /Kirk-Olmer //1 ed., V.7. – 1951. –P.570; 2 ed., V.11. – 1966. – p.164. New York, London, Sydney, Toronto, Interscience Publishers.
- 164. Kubikar L.** Review of several dynamic methods of measuring thermophysical parameters proceeding, Thermal conductivity 24, Thermal-expansion 12, Edited by Peter /L. Kubikar, V. Bohak, S. Gaal, E. Daniela //Apostolescu. –1997. –p. 135-149.
- 165.Kubikar L.** Thermal analysis. Pulse method of measuring basic thermophysical parameters, in Comprehensive analytical chemistry /L. Kubikar, E. Part, G. Svehla //1990 vol. XII ed Amsterdam, Oxford, New-York, Tokyo ELSEVIER. –p. 350.
- 166. 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.
- 167. Pannetier G.** Diagrammes de Solidification et masses volumiques de melanges azoture d'hydrazinium hydrazines divorcement hydrates /G. Pannetier, F. Margineanu. //Bull. Soc. Chem. France. – 1972. – N 10. – p.3725 – 3728.
- 168. Safarov M.M.** Heat conductivity of organic liquids containing Oxygen and Water Muxtures of Hydrazine in Wide State /M.M. Safarov, M.A. Zaripova, F.S. Rajabov,

M.T. Turgunboev //(Abstract) 23 –Thermal Conductivity, 29 oct. -1 November. -1995, USA, Oak Ridg, -p.126.

169. Safarov M.M. Thermophysical Feature of Water Mixtures Mixed up With Hydrazine under various Temperature and Pressures /M.M. Safarov, M.A. Zaripova, F.S. Rajabov, M.T. Turgunboev //(Report) 14th European Conference on Thermophysical properties, Proceedings, September 16-19, -1996. Lyon, France, -p.1141-1146.

170. Safarov M.M. Density, Viscosity of Water Hydrazine hydrate 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.

171. Safarov M.M. Thermal conductivity and thermodynamic properties of water, ethylhydrazine solutions /M.M. Safarov, M.A. Zaripova, T.R. Tilloeva, H.A. Zoirov. //(Abstracts) Proceedings of the Thirtieth International thermal conductivity conference, -2009. Pittsburg, Pennsylvania, USA, -p.841-847. (edited by Daniela S, Caal and Peter S, Gaal).

172. Safarov M.M. Thermal conductivity and acoustic. Properties of hydrazine of different temperatures and Pressure /M.M. Safarov, M.A. Zaripova, I. Sweda //25 ITCC/11 ITEC. Ann Arbor, USA. Lund (13-16) –1999. -p.321.

173. Safarov M.M. Density and of hydrazine submissions under various temperatures and pressures. Equations 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.

174. 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-th Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, Colorado USA, June 21-26, -2009. -p.202.

175. Safarov M.M. Thermal conductivity of water, ethylhydrazine solutions /M.M. Safarov, M.A. Zaripova, T.R. Tilloeva, H.A. Zoirov //Conference book. 30-International Thermal Conductivity Conference and 18 International; Thermal Expansion Symposium. Pittsburg, Pennsylvania USA, August 29–September 2, -2009. -p.26.

176. Safarov M.M. Influence carbon nanotube, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 to exchange thermo-physical properties Hydrazinehydrate (roket fuel) in dependence temperature and pressures /M.M. Safarov, H.A. Zoirov, M.A. Zaripova e.t. //8-th International Conference: Concrete in the low Carbon Era, Dundee, UK, 9-11 July, -2012.

177. Safarov M.M. Low Carbon Cementing Materials Advances in Concrete for Highway Transportation /M.M. Safarov, H.A. Zoirov, M.A. Zaripova e.t. //8-th International Conference: Concrete in the low Carbon Era, Dundee, UK, 9-11 July, -2012. –p.14.

178. Taylor R.E. Heatpulse thermal diffusivity measurements /R.E. Taylor //High Temperatures High Pressures. -1979. –V. 11. -p.43–58.

179. Zaripova M.A. Thermal conductivity of water ethilhydrazine solutions /M.A. Zaripova, T.R. Tilloeva, H.A. Zoirov, M.M. Safarov //Abstracts book. 30th ITCC and 18-th ITES -2009. Pittsburg. USA, -p.26.

180. Zaripova M.A. Density, Viscosity, of water Hydrazine hydrate solutions in dependence of temperature and pressures /M.A. Zaripova, M.M. Safarov, H.A. Zoirov //Conference book 16-th International conference thermodynamics properties materials, 23-26 June, Budapest, -2009. -p.244-247.

181. Zaripov J.A. Experimental investigations $C_{v,x}$, P- ρ -T properties and equations state /J.A. Zaripov, H.A. Zoirov, S.A. Tagoev, Sh.Z. Najmudinov, A.F. Toshov, M.M. Safarov //Book of abstracts, 19 European Conference on Thermophysical Properties, August 28-September 1, -2011. Thessaloniki, Greece, -p.332.

182. Zoirov H.A. Influence nanocatalytic to exchange of isobaric heat capacity, isochoric heat capacity ternary systems (hydrazine hydrate+ water+ oxide aluminium) in dependence temperature and pressures /H.A. Zoirov, S.A. Tagoev, M.M. Safarov, A.G. Toshov, M.A. Zaripova // Program and Extended abstracts, of 31-th Thermal conductivity conference, 19-th International Thermal expansions symposium, June 26-30, -2011, Saguenay, Quebec, Canada, -p.18.

183. Zoirov H.A. Temperature conductivity of hydrazine hydrate at the concentration of nano catalytic TiO_2 /H.A. Zoirov, M.A. Zaripova, N. Minina, M.M. Safarov, S.A. Tagoev,

T.R. Tilloeva, A.G. Toshov //Program and Extended abstracts, of 31-th Thermal conductivity conference, 19-th International Thermal expansions symposium, June 26-30, -2011, Saguenay, Quebec, Canada, -p.16.

184.Zoirov H.A. Influence nanodimensions oxide titanium (TiO_2) to exchange specific heat capacity hydrazinehydrate /H.A. Zoirov, M.M. Safarov, M.A. Zaripova, A.G. Toshov, S.A. Tagoev //Conference book, Budapest, -2011. -p.212-214.

185. Zoirov H.A. Influence catalis ($14,5\%\text{Ni}(\text{Al}_2\text{O}_3)$) and pressures to exchange thermodynamics properties hydrazine hydrate /H.A.Zoirov, M.M. Safarov, S.A. Tagoev, M.A. Zaripova, T.R. Tilloeva //Book of abstracts,19 European Conference on Thermophysical Properties, August 28-September1, -2011. Thessaloniki, Greece, -p.29.

186. Zoirov H.A. Aplications: Influence of Carbon nanotube to exchange thermophysical properties of hydrazinehydrate (rocket fuel) in dependence temperature and pressures /H.A. Zoirov, M.M. Safarov, M.A. Zaripova, M.M. Anaqulov, A.G. Toshov //Shankhay, China, July, -2011. -p. 456-457.

187. Zoirov H.A. Influence carbon nanotube, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 to exchange thermophysical properties Hydrazinehydrate (rocket fuel) in dependence temperature and pressures /H.A. Zoirov, M.M. Safarov, M.A. Zaripova e. t. //8-th International Conference: Concrete in the low Carbon Era, Dundee, UK, 9-11 July, -2012. -13p.

188. Кузнецов Г.В. Об условиях применения импульсных методов определения теплофизических характеристик конструкционных материалов / В.Г. Кузнецов, М.Д. Кац // Известия Томского политехнического университета – 2008. Т. 312. №4. -С.10-13.

189.Терехов В.И. Механизм теплопереноса в наножидкостях: Часть 1. синтез и свойства наножидкостей /В.И. Терехов, С.В. Калилина, В.В. Леманов //Институт теплофизики им. С.С. Кутаталадзе СО РАН, Новосибирск, 2010, том 17, №1. 15С.

ПРИЛОЖЕНИЕ

«Утверждаю»

Ректор Таджикского технического
университета им. акад. М.С. Осими

Абдурасулов А.А.

04 2012г.

АКТ

научно-технической комиссии о реализации и внедрению научных положений и выводов кандидатской диссертации ЗОИРОВА Хикматулло Абдухоликовича на тему: *«Влияние некоторых оксидов металлов на изменение теплофизических, термодинамических и диффузионных свойств гидразингидрата»*

Комиссия в составе: к.т.н., доцента, зав. кафедрой «ТиТО» ТТУ им. акад. М.С. Осими-Тагоева С.А., к.т.н., доцента кафедры «ТиТО» ТТУ им. акад. М.С. Осими-Зариповой М.А. ист. преп. кафедры «ТиТО» ТТУ им. акад. М.С. Осими-Пирмадова М.Д.-рассмотрели диссертационную работу Зоирова Хикматулло Абдухоликовича, посвященную исследованию теплофизических, термодинамических и диффузионных свойств (температуропроводность, теплопроводность, теплоемкость, плотность, энтальпии, энтропии, внутренней энергии, энергии Гиббса, энергии Гельмгольца и молекулярного диффузии) гидразингидрата + наноструктурных окисей металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 и др.) в интервале давлений 0,101 – 0,141 МПа и температуры 298 – 348К.

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при проектировании теплообменных процессов и аппаратов, а также в различных технических расчетах. По полученным аппроксимационным зависимостям можно вычислить теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость и молекулярная диффузии системы теплоносителей и электропроводность

экспериментально неисследованных систем теплоносителей в данном диапазоне давлений и температур.

Разработанная аппаратура и обработанная методика используются для измерения температуропроводности, теплопроводности в зависимости от давления и электропроводности в зависимости от температуры в лабораториях кафедры «Теплотехника и теплотехнические оборудования» Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими.

Председатель комиссии,

проректор по науке
ТТУ им. акад. М.С. Осими,
д.т.н. профессор



Турсунов А.А.

Члены комиссии:

к.т.н., доцент, зав. кафедры «ТиТО»
ТТУ им. акад. М.С. Осими.



Тагоев С.А.

к.т.н., доцент кафедры «ТиТО»
ТТУ им. акад. М.С. Осими.



Зарипова М.А.

ст. преп. кафедры «ТиТО»
ТТУ им. акад. М.С. Осими.



Пирмадов М.Д.

Заместитель директора АООТ
«Душанбинская ТЭЦ»
Норов Ф.Б.

«17» 01 2014г.



Декан ЭФ Таджикского технического
университета имени акад. М. С. Осими
кандидат экономических наук
Сангаков М.Г.

«21» 01 2014г.



Акт

передачи результатов экспериментальных исследований и полученных уравнений по теплофизическим, термодинамическим и диффузионным свойствам гидразингидрата

Полученные результаты экспериментальных исследований уравнения по теплофизическим, термодинамическим и диффузионным свойствам гидразингидрата в зависимости от содержания некоторых наноструктурных оксидов металлов используется для инженерных расчетов в АООТ «Душанбинская ТЭЦ» с целью улучшения экономических, экологических и энергетических показателей теплоэнергетических оборудований.

От АООТ «Душанбинская ТЭЦ» :
Главный инженер АООТ
«Душанбинская ТЭЦ»
Каландаров Р.К.

«15» 01 2014г.

От разработчика:
Заведующий кафедрой
«Теплотехника и теплотехнические
оборудования», к.т.н.,
доцент Тагоев С. А.

Аспирант Зоиров А. А.

«09» 01 2014г.

Таблица П.2.1. Исходные данные для количественной оценки доверительной границы погрешности измерения теплопроводности по методу монотонного разогрева (установка Платунова Е.С.)

№	Наименование	Величина
1	2	3
1.	Высота образца (высота ячеек) h , м	$5 \cdot 10^{-3}$
2.	Погрешность измерения высоты ячеек (микрометром) Δh , м	10^{-6}
3.	Величины перепада температуры на образце ΔT_o , мкВ	210
4.	Погрешность измерения величины перепада температуры на образце $\sigma(\Delta T_o)$, мкВ	3
5.	Общая теплоемкость образца C_o , Дж/К	2,925
6.	Погрешность определения общей теплоемкости образца ΔC_o , Дж/К	0,03
7.	Общая теплоемкость стержня C_c , Дж/К	18,18
8.	Погрешность определения общей теплоемкости стержня ΔC_c , Дж/К	0,03
9.	Скорость разогрева измерительной ячейки v_o , К/с	0,173
10.	Погрешность определения скорости разогрева измерительной ячейки Δv_o , К/с	0,005
11.	Общая площадь поперечного сечения медных ячеек S , м ²	$1,76 \cdot 10^{-4}$
12.	Погрешность определения общей площади поперечного сечения медных ячеек ΔS , м ²	10^{-3}
13.	Перепад температуры на пластине v_T , мкВ	80
14.	Погрешность определения перепада температуры на пластине Δv_T , мкВ	3
15.	Общая теплоемкость пластины C_p , Дж/К	4,47
16.	Погрешность определения общей теплоемкости пластины ΔC_p , Дж/К	0,3

1	2	3
17.	Общая теплоемкость контактной пластины C_n , Дж/К	8,94
18.	Погрешность определения общей теплоемкости контактной пластины ΔC_n , Дж/К	0,3
19.	Доверительная граница погрешности измерений теплопроводности в относительной форме при $\alpha=0,95$, %	1,9
20.	Методическая погрешность, %	0,2
21.	Инструментальная погрешность, %	1,1
22.	Общая относительная погрешность измерения теплопроводности по методу монотонного разогрева, %	3,2

Согласно уравнениям (2.12) и (2.5) доверительная граница погрешности результатов измерений теплоемкости по методу монотонного разогрева определяется из соотношения:

$$\Delta C_p = \sqrt{\left(\frac{\partial C_p}{\partial G}\right)^2 (\Delta G)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial K_T}\right)^2 (\Delta K_T)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial t_T}\right)^2 (\Delta t_T)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial b_c}\right)^2 (\Delta b_c)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial C_c}\right)^2 (\Delta C_c)^2}, \quad (\text{П.2.1})$$

где

$$\frac{\partial C_p}{\partial G} = -\frac{1}{G^2} \left[\frac{K_T(t_c) \Delta t_T(\tau)}{b_c(\tau)} - C_c(t_c) \right];$$

$$\frac{\partial C_p}{\partial K_T} = \frac{1}{G} \left[\frac{\Delta t_T(\tau)}{b_c(\tau)} \right];$$

$$\frac{\partial C_p}{\partial t_T} = \frac{1}{G} \left[\frac{K_T(t_c)}{b_c(\tau)} \right];$$

$$\frac{\partial C_p}{\partial b_c} = -\frac{1}{G} \left[\frac{K_T(t_c) \Delta t_T(\tau)}{b_c(\tau)} \right];$$

$$\frac{\partial C_p}{\partial C_c} = -\frac{1}{G}.$$

С помощью уравнения (П.2.1) с учетом соотношений (2.10)–(2.22) вычислена доверительная граница погрешности измерений теплоемкости методом монотонного разогрева в относительной форме при $\alpha=0,95$.

Необходимая информация для количественной оценки погрешности удельной теплоемкости содержится в таблице П.2.2.

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

№	Наименование	Величина
1.	Величина тепловой проводимости тепломера $K_T(t_C)$	0,41
2.	Погрешность определения тепловой проводимости тепломера ΔK_T	0,001
3.	Величина перепада температуры на тепломере $\Delta t_T(\tau)$, K	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 ΔC_C , Дж/К	0,03
7.	Скорость разогрева $b_C(\tau)$, K/c	0,22
8.	Погрешность определения скорости разогрева $\Delta b_C(\tau)$, K	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 наноструктурной окиси железа (Fe_2O_3 d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	T, 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·К)) исследуемых объектов в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси титана (TiO_2 d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	T, 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.3.3. Вычисленные значения теплоемкости (C_p , Дж/(кг·К)) образца по формуле (4.7) в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси натрия (Na_2O d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	T, К				
	298	313	323	333	348
0,10	3397	3407	3417	3431	3457
0,15	3370	3380	3390	3404	3430
0,20	3343	3353	3363	3377	3402
0,25	3317	3325	3337	3350	3375
0,30	3290	3299	3309	3323	3348

Таблица П.3.4. Вычисленные значения теплоемкости ($C_p, Дж/(кг \cdot K)$) образца по формуле (4.7) в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси калия (K_2O d=50nm) при атмосферном давлении

n, %	T, K				
	298	313	323	333	348
0,10	3482	3492	3503	3517	3543
0,15	3455	3465	3475	3489	3516
0,20	3427	3437	3448	3461	3488
0,25	3400	3409	3420	3434	3460
0,30	3372	3382	3393	3406	3432

Таблица П.3.5. Вычисленные значения теплоемкости ($C_p, Дж/(кг \cdot K)$) образца по формуле (4.7) в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси бария (BaO d=50nm) при атмосферном давлении

n, %	T, K				
	298	313	323	333	348
0,10	3487	3498	3508	3522	3549
0,15	3460	3470	3481	3495	3521
0,20	3433	3443	3453	3467	3493
0,25	3405	3415	3426	3439	3465
0,30	3378	3388	3398	3411	3437

Таблица П.3.6. Экспериментальные значения теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, Вт/(м \cdot K)$) гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси металлов (Al_2O_3 d=50nm) при атмосферном давлении

n, %	T, K				
	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 ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси титана ($\text{TiO}_2 d=50\text{нм}$) при атмосферном давлении

$n, \%$	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. 3.8. Вычисленные значения теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) образца по формуле (4.14) в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси натрия ($\text{Na}_2\text{O } d=50\text{нм}$) при атмосферном давлении

$n, \%$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,10	434	451	460	466	471
0,15	447	465	474	480	485
0,20	461	479	488	494	499
0,25	474	492	502	508	514
0,30	487	506	516	522	528

Таблица П.3.9. Вычисленные значения теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) образца по формуле (4.14) в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси калия ($\text{K}_2\text{O } d=50\text{нм}$) при атмосферном давлении

$n, \%$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,10	382	397	404	410	414
0,15	394	409	417	422	427
0,20	405	421	429	435	439
0,25	417	433	441	447	452
0,30	429	445	454	460	465

Таблица П.3.10. Вычисленные значения теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) образца по формуле (4.14) в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси бария ($\text{BaO } d=50\text{нм}$) при атмосферном давлении

$n, \%$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,10	413	430	438	443	448
0,15	426	443	451	457	462
0,20	439	456	464	470	475
0,25	451	469	478	484	489
0,30	464	482	491	497	503

Таблица П.3.11. Плотность ($\rho, \text{кг}/\text{м}^3$) образца в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси алюминия ($\text{Al}_2\text{O}_3 d=50\text{нм}$) при атмосферном давлении

$n, \%$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	1036	1027	1011	1003	995
0,15	1038	1033	1021	1010	1001
0,2	1040	1036	1026	1018	1010
0,25	1042	1038	1035	1027	1018
0,3	1044	1040	1036	1033	1028

Таблица П.3.12. Плотность ($\rho, \text{кг}/\text{м}^3$) образца в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3 d=50\text{нм}$) при атмосферном давлении

$n, \%$	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	1037	1025	1008	1000	992
0,15	1040	1030	1014	1006	998
0,2	1042	1038	1023	1015	1007
0,25	1045	1041	1033	1023	1018
0,3	1048	1045	1036	1029	1023

Таблица П.3.13. Температуропроводность ($a \cdot 10^7, \text{м}^2 / \text{с}$) гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси железа (Fe_2O_3 d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	1,17	1,23	1,29	1,31	1,34
0,15	1,21	1,27	1,33	1,35	1,37
0,2	1,27	1,31	1,36	1,38	1,40
0,25	1,33	1,37	1,40	1,41	1,42
0,3	1,39	1,42	1,46	1,46	1,47

Таблица П.3.14. Температуропроводность ($a \cdot 10^7, \text{м}^2 / \text{с}$) испытуемого образца в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси титана (TiO_2 d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	1,09	1,15	1,21	1,25	1,28
0,15	1,14	1,19	1,24	1,27	1,31
0,2	1,2	1,24	1,28	1,30	1,33
0,25	1,25	1,28	1,32	1,33	1,35
0,3	1,30	1,33	1,36	1,37	1,39

Таблица П.3.15. Вычисленные значения температуропроводности ($a \cdot 10^7, \text{м}^2 / \text{с}$) образца по формуле (4.21) в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси натрия (Na_2O d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,10	1,24	1,31	1,34	1,36	1,38
0,15	1,28	1,35	1,38	1,4	1,42
0,20	1,32	1,38	1,42	1,44	1,46
0,25	1,36	1,42	1,46	1,48	1,5
0,30	1,39	1,46	1,5	1,52	1,54

Таблица П.3.16. Вычисленные значения температуропроводности ($a \cdot 10^7, \text{м}^2/\text{с}$) образца по формуле (4.21) в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси калия (K_2O d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	T, К				
	298	313	323	333	348
0,10	1,06	1,12	1,14	1,16	1,18
0,15	1,09	1,15	1,18	1,2	1,21
0,20	1,13	1,18	1,21	1,23	1,25
0,25	1,16	1,22	1,25	1,27	1,29
0,30	1,19	1,25	1,28	1,3	1,32

Таблица П.3.17. Вычисленные значение температуропроводности ($a \cdot 10^7, \text{м}^2/\text{с}$) образца по формуле (4.21) в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси бария (BaO d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	T, К				
	298	313	323	333	348
0,10	1,15	1,21	1,24	1,26	1,27
0,15	1,18	1,24	1,27	1,29	1,31
0,20	1,22	1,28	1,31	1,33	1,35
0,25	1,25	1,32	1,35	1,37	1,39
0,30	1,29	1,35	1,39	1,41	1,43

Таблица П.3.18. Коэффициент молекулярной диффузии ($D \cdot 10^7, \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$) гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси железа (Fe_2O_3 d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	T, К				
	298	313	323	333	348
0,1	0,187	0,197	0,206	0,211	0,214
0,15	0,194	0,204	0,213	0,217	0,219
0,2	0,203	0,211	0,218	0,221	0,223
0,25	0,211	0,218	0,224	0,226	0,227
0,3	0,223	0,228	0,233	0,234	0,235

Таблица П.3.19. Коэффициент молекулярной диффузии ($D \cdot 10^7, \frac{м^2}{с} \cdot \frac{кг}{моль}$) гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси титана (TiO_2 d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	0,088	0,0924	0,097	0,100	0,103
0,15	0,091	0,095	0,099	0,102	0,105
0,2	0,096	0,099	0,104	0,105	0,107
0,25	0,100	0,103	0,106	0,107	0,108
0,3	0,104	0,106	0,109	0,110	0,111

Таблица П.3.20. Вычисленные значения коэффициента молекулярной диффузии ($D \cdot 10^7, (\frac{м^2 \cdot кг}{с \cdot моль})$) образца по формуле (4.28) в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси натрия (Na_2O d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,10	0,083	0,088	0,09	0,92	0,095
0,15	0,085	0,09	0,093	0,095	0,097
0,20	0,088	0,093	0,095	0,098	0,1
0,25	0,091	0,096	0,098	0,101	0,103
0,30	0,094	0,099	0,102	0,104	0,106

Таблица П.3.21. Вычисленные значения коэффициента молекулярной диффузии ($D \cdot 10^7, (\frac{м^2 \cdot кг}{с \cdot моль})$) образца по формуле (4.28) в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси калия (K_2O d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	Т, К				
	298	313	323	333	348
0,1	0,098	0,104	0,107	0,109	0,112
0,15	0,101	0,107	0,101	0,112	0,115
0,2	0,104	0,11	0,113	0,116	0,118
0,25	0,107	0,113	0,116	0,119	0,122
0,3	0,111	0,117	0,12	0,123	0,126

Таблица П.3.22. Вычисленные значения коэффициента молекулярной диффузии ($D \cdot 10^7, (m^2 \cdot \text{кг}) / (c \cdot \text{моль})$) образца по формуле (4.28) в зависимости от температуры и концентрации наноструктурной окиси бария (BaO d=50нм) при атмосферном давлении

n, %	T, К				
	298	313	323	333	348
0,1	0,175	0,185	0,19	0,194	0,199
0,15	0,179	0,19	0,195	0,199	0,204
0,2	0,185	0,195	0,201	0,205	0,21
0,25	0,191	0,201	0,207	0,212	0,217
0,3	0,197	0,208	0,214	0,219	0,224

Таблица П.3.23. Температуропроводность ($\alpha \cdot 10^7, m^2 / c$) испытуемой системы гидразингидрат + наноструктурная окись железа (Fe_2O_3 d=50нм) в зависимости от давления

n, %	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	1,17	1,20	1,24	1,27	1,31	1,34	1,36
0,15	1,21	1,27	1,28	1,33	1,35	1,38	1,42
0,2	1,27	1,31	1,35	1,37	1,41	1,44	1,47
0,25	1,32	1,37	1,39	1,41	1,45	1,49	1,52
0,3	1,39	1,42	1,45	1,48	1,52	1,55	1,58

Таблица П.3.24. Температуропроводность ($\alpha \cdot 10^7, m^2 / c$) испытуемой системы гидразингидрат + наноструктурная окись титана (TiO_2 d=50нм) в зависимости от давления

n, %	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	1,09	1,13	1,17	1,20	1,24	1,27	1,29
0,15	1,14	1,19	1,21	1,25	1,28	1,31	1,34
0,2	1,20	1,24	1,27	1,30	1,34	1,37	1,39
0,25	1,25	1,29	1,31	1,34	1,38	1,41	1,44
0,3	1,30	1,33	1,36	1,39	1,44	1,47	1,50

Таблица П.3.25. Вычисленные значения температуропроводности ($\alpha \cdot 10^7, \text{м}^2 / \text{с}$) образца по формуле (4.34) в зависимости от давления и концентрации наноструктурной окиси натрия (Na_2O d=50нм) при комнатной температуре

n, %	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	1,13	1,16	1,19	1,23	1,27	1,3	1,33
0,15	1,18	1,21	1,25	1,28	1,32	1,36	1,39
0,2	1,23	1,26	1,3	1,34	1,37	1,41	1,45
0,25	1,27	1,31	1,35	1,39	1,43	1,47	1,5
0,3	1,32	1,36	1,4	1,44	1,48	1,52	1,56

Таблица П.3.26. Вычисленные значения температуропроводности ($\alpha \cdot 10^7, \text{м}^2 / \text{с}$) образца по формуле (4.34) в зависимости от давления и концентрации наноструктурной окиси калия (K_2O d=50нм) при комнатной температуре

n, %	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	1,05	1,09	1,12	1,15	1,18	1,22	1,24
0,15	1,1	1,13	1,16	1,2	1,23	1,27	1,3
0,2	1,14	1,18	1,21	1,25	1,28	1,32	1,35
0,25	1,19	1,23	1,26	1,3	1,33	1,37	1,4
0,3	1,24	1,27	1,31	1,35	1,39	1,42	1,46

Таблица П.3.27. Вычисленные значения температуропроводности ($\alpha \cdot 10^7, \text{м}^2 / \text{с}$) образца по формуле (4.34) в зависимости от давления и концентрации нано-структурной окиси бария (BaO d=50нм) при комнатной температуре

n, %	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	1,12	1,15	1,18	1,22	1,25	1,29	1,32
0,15	1,17	1,2	1,23	1,27	1,31	1,34	1,37
0,2	1,21	1,25	1,28	1,32	1,36	1,4	1,43
0,25	1,26	1,3	1,33	1,37	1,41	1,45	1,49
0,3	1,31	1,35	1,39	1,43	1,47	1,51	1,54

Таблица П.3.28. Теплопроводность ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) системы гидразингидрат + наноструктурная окись алюминия (Al_2O_3 d=50нм) в зависимости от давления

$n, \%$	Р, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	374	381	387	392	399	403	409
0,15	394	398	403	408	412	417	421
0,2	403	407	411	414	419	424	427
0,25	426	430	433	437	441	445	450
0,3	437	440	443	448	451	456	460

Таблица П.3.29. Теплопроводность ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) системы гидразингидрат + наноструктурная окись титана (TiO_2 d=50нм) в зависимости от давления

$n, \%$	Р, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	394	398	404	407	412	416	421
0,15	409	416	420	432	428	433	438
0,2	429	434	438	443	447	452	455
0,25	444	447	450	454	459	463	466
0,3	462	466	469	471	474	478	482

Таблица П.3.30. Вычисленные значения теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) образца по формуле (4.41) в зависимости от давления и концентрации наноструктурной окиси натрия (Na_2O d=50нм) при комнатной температуре

$n, \%$	Р, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	412	424	435	447	459	471	482
0,15	426	438	449	462	474	487	497
0,2	440	453	464	477	490	503	514
0,25	455	469	480	494	507	521	532
0,3	471	485	497	511	525	539	551

Таблица П.3.31. Вычисленные значения теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) образца по формуле (4.41) в зависимости от давления и концентрации наноструктурной окиси калия (K_2O d=50нм) при комнатной температуре

n, %	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	364	374	384	394	405	416	425
0,15	376	387	396	407	419	430	439
0,2	388	400	410	421	433	444	454
0,25	402	414	424	436	448	460	470
0,3	416	428	439	451	463	476	486

Таблица П.3.32. Вычисленные значения теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) образца по формуле (4.41) в зависимости от давления и концентрации наноструктурной окиси бария (BaO d=50нм) при комнатной температуре

n, %	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	396	407	417	429	441	452	462
0,15	409	421	431	443	455	467	478
0,2	422	435	446	458	471	483	494
0,25	437	450	461	474	487	500	511
0,3	452	466	477	491	504	517	529

Таблица П.3.33. Вычисленные значения ($\tau 10^{-7} = \frac{1}{a}, \frac{\text{с}}{\text{м}^2}$) гидразингидрата в зависимости от температуры при различных концентрациях наноструктурной окиси железа (Fe_2O_3 d=50нм)

n, %	T, К				
	298	313	323	333	348
0,1	0,855	0,813	0,775	0,763	0,746
0,15	0,826	0,787	0,752	0,741	0,730
0,2	0,787	0,763	0,735	0,725	0,714
0,25	0,752	0,730	0,714	0,709	0,704
0,3	0,719	0,704	0,685	0,685	0,680

Таблица П.3.34. Термодинамические свойства гидразингидрата при различной концентрации наноструктурной окиси железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3 d=50\text{nm}$) в зависимости от температуры при атмосферном давлении

T, K	ΔH , кДж/кг	ΔU , кДж/кг	ΔS , Дж/кг·K	$\Delta \phi$, Дж/кг	ΔF , Дж/кг
при $\rho = 1037 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,1\%$					
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 $\rho = 1040 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,15\%$					
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 $\rho = 1042 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,2\%$					
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 $\rho = 1045 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,25\%$					
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 $\rho = 1048 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,3\%$					
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.3.35. Термодинамические свойства гидразингидрата при различной концентрации наноструктурной окиси титана (TiO_2 $d=50\text{nm}$) в зависимости от температуры при атмосферном давлении

T, K	ΔH , кДж/кг	ΔU , кДж/кг	ΔS , кДж/кг	$\Delta \varphi$, Дж/кг	ΔF , Дж/кг
при $\rho = 1036 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,1\%$					
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 $\rho = 1038 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,15\%$					
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 $\rho = 1041 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,2\%$					
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 $\rho = 1043 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,25\%$					
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 $\rho = 1045 \text{ кг/м}^3$; $n = 0,3\%$					
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.3.36. Вычисленные значения ($\tau 10^{-7} = \frac{1}{a} \cdot \frac{c}{m^2}$) гидразингидрата при различных концентрациях наноструктурной окиси титана (TiO_2 d=50nm) в зависимости от температуры

n, %	T, K				
	298	313	323	333	348
0,1	0,917	0,869	0,826	0,800	0,781
0,15	0,877	0,840	0,806	0,787	0,763
0,2	0,833	0,806	0,781	0,769	0,752
0,25	0,800	0,781	0,757	0,752	0,741
0,3	0,769	0,752	0,735	0,730	0,719

Таблица П.3.37. Вычисленные значения ($\tau 10^{-7} = \frac{1}{a} \cdot \frac{c}{m^2}$) гидразингидрата при различных концентрациях наноструктурной окиси алюминия (Al_2O_3 d=50nm) в зависимости от давления

n, %	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	0,952	0,917	0,893	0,869	0,840	0,813	0,800
0,15	0,909	0,869	0,855	0,826	0,806	0,787	0,769
0,2	0,862	0,833	0,813	0,800	0,775	0,752	0,741
0,25	0,833	0,800	0,787	0,769	0,746	0,730	0,719
0,3	0,793	0,775	0,757	0,741	0,714	0,704	0,689

Таблица П.3.38. Вычисленные значения ($\tau 10^{-7} = \frac{1}{a} \cdot \frac{c}{m^2}$) гидразингидрата при различных концентрациях наноструктурной окиси титана (TiO_2 d=50nm) в зависимости от давления

n, %	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,1	0,917	0,885	0,855	0,833	0,806	0,787	0,775
0,15	0,877	0,840	0,826	0,800	0,781	0,763	0,746
0,2	0,833	0,806	0,787	0,769	0,746	0,730	0,719
0,25	0,800	0,775	0,763	0,746	0,724	0,709	0,694
0,3	0,769	0,752	0,735	0,719	0,694	0,680	0,667

Таблица П.3.39. Вычисленные значения среднего времени жизни ($\langle \tau \rangle \cdot 10^7, c$) изобарической флуктуации плотности системы гидразингадрат + наноструктурная окись алюминия (Al_2O_3 d=50нм)

n, %	T, K				
	298	313	323	333	348
0,1	0,762	0,720	0,683	0,665	0,649
0,15	0,727	0,701	0,671	0,654	0,643
0,2	0,714	0,688	0,659	0,649	0,638
0,25	0,677	0,659	0,638	0,633	0,623
0,3	0,660	0,643	0,623	0,618	0,613

Таблица П.3.40. Вычисленные значение среднего времени жизни ($\langle \tau \rangle \cdot 10^7, c$) изобарической флуктуации плотности системы гидразингадрат + наноструктурные окиси железа (Fe_2O_3 d=50нм)

n, %	T, K				
	298	313	323	333	348
0,1	0,671	0,638	0,608	0,599	0,586
0,15	0,649	0,618	0,590	0,581	0,573
0,2	0,618	0,599	0,577	0,569	0,561
0,25	0,590	0,573	0,561	0,557	0,553
0,3	0,565	0,553	0,538	0,538	0,534

Таблица П.3.41. Вычисленные значения среднего времени жизни ($\langle \tau \rangle \cdot 10^7, c$) изобарической флуктуации плотности системы гидразингадрат + наноструктурные окиси алюминия (Al_2O_3 d=50нм)

n, %	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,10	0,748	0,720	0,701	0,683	0,660	0,638	0,628
0,15	0,714	0,683	0,671	0,649	0,633	0,618	0,604
0,20	0,677	0,654	0,638	0,628	0,608	0,590	0,581
0,25	0,654	0,628	0,618	0,604	0,586	0,573	0,565
0,30	0,623	0,608	0,595	0,581	0,561	0,553	0,541

Таблица П.3.42. Вычисленные значения среднего времени жизни ($\langle \tau \rangle \cdot 10^7, c$) изобарической флуктуации плотности системы гидразингадрат + наноструктурные окиси железа (Fe_2O_3 d=50нм)

n, %	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,10	0,671	0,654	0,633	0,618	0,599	0,586	0,577
0,15	0,649	0,618	0,613	0,590	0,581	0,569	0,553
0,20	0,618	0,599	0,581	0,573	0,557	0,545	0,534
0,25	0,595	0,573	0,565	0,557	0,541	0,527	0,516
0,30	0,565	0,553	0,541	0,530	0,516	0,506	0,497

Таблица П.3.43. Вычисленные значения среднего времени жизни ($\langle \tau \rangle \cdot 10^7, c$) изобарической флуктуации плотности системы гидразингадрат + наноструктурная окись титана (TiO_2 d=50нм)

n, %	P, МПа						
	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,135	0,141
0,10	0,720	0,695	0,671	0,654	0,633	0,618	0,608
0,15	0,689	0,660	0,649	0,628	0,613	0,599	0,586
0,20	0,654	0,633	0,618	0,604	0,586	0,573	0,565
0,25	0,628	0,608	0,599	0,586	0,569	0,557	0,545
0,30	0,604	0,590	0,577	0,565	0,545	0,534	0,523

Таблица П.4.1. Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплоемкости ($C_p, Дж/(кг \cdot K)$) системы гидразингидрат + наноструктурная окись алюминия ($Al_2O_3 d=50nm$) в зависимости от температуры по формуле 4.7

$n, \%$	Т, К								
	298			313			323		
	$C_{экс}$	$C_{выч}$	%	$C_{экс}$	$C_{выч}$	%	$C_{экс}$	$C_{выч}$	%
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
$n, \%$	Т, К								
	333			348					
	$C_{экс}$	$C_{выч}$	%	$C_{экс}$	$C_{выч}$	%			
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 ($C_p, Дж/(кг \cdot K)$) системы гидразингидрат + окись железа (Fe_2O_3 d=50нм) в зависимости от температуры по формуле 4.7

$n, \%$	Т, К								
	298			313			323		
	$C_{экс}$	$C_{выч}$	%	$C_{экс}$	$C_{выч}$	%	$C_{экс}$	$C_{выч}$	%
0,1	3470	3475	0,1	3481	3485	0,1	3492	3496	0,1
0,15	3445	3447	0,1	3456	3458	0,1	3467	3468	0,03
0,2	3419	3420	0,03	3430	3430	0	3441	3441	0
0,25	3394	3339	0,03	3402	3403	0,03	3410	3413	0,1
0,3	3369	3365	0,1	3375	3375	0	3381	3385	0,1
$n, \%$	Т, К								
	333			348					
	$C_{экс}$	$C_{выч}$	%	$C_{экс}$	$C_{выч}$	%			
0,1	3517	3510	0,2	3543	3536	0,2			
0,15	3481	3482	0,03	3510	3509	0,03			
0,2	3459	3455	0,1	3477	3481	0,1			
0,25	3427	3427	0	3445	3453	0,2			
0,3	3396	3399	0,1	3412	3425	0,4			

Таблица П.4.3. Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплоемкости ($C_p, Дж/(кг \cdot K)$) системы гидразингидрат + окись титана (TiO_2 d=50нм) в зависимости от температуры по формуле 4.7

n, %	T, K								
	298			313			323		
	C _{экс}	C _{выч}	%	C _{экс}	C _{выч}	%	C _{экс}	C _{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
n, %	T, K								
	333			348					
	C _{экс}	C _{выч}	%	C _{экс}	C _{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.4.4. Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) системы гидразингидрат + окись алюминия (Al_2O_3 , $d=50\text{нм}$) в зависимости от температуры по формуле 4.14

$n, \%$	Т, К								
	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
$n, \%$	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.4.5. Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) системы гидразингидрат + окись железа (Fe_2O_3 , $d=50\text{нм}$) в зависимости от температуры по формуле 4.14

$n, \%$	Т, К								
	298			313			323		
	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%
0,1	423	428	1,2	439	444	1,1	454	453	0,2
0,15	437	441	0,9	453	458	1,1	468	467	0,2
0,2	458	454	0,9	469	472	0,6	481	481	0
0,25	476	467	1,9	485	486	0,2	494	495	0,2
0,3	499	480	3,9	505	499	1,2	511	508	0,6
$n, \%$	Т, К								
	333			348					
	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%			
0,1	463	459	0,9	471	464	1,5			
0,15	474	473	0,2	479	478	0,2			
0,2	485	478	1,4	489	492	0,6			
0,25	496	501	1	497	506	1,8			
0,3	512	512	0	513	520	1,3			

Таблица П.4.6. Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) системы гидразингидрат + окись титана (TiO_2 d=50нм) в зависимости от температуры по формуле 4.14

$n, \%$	Т, К								
	298			313			323		
	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%
0,1	394	398	1	410	414	0,9	425	422	0,7
0,15	409	411	0,5	421	427	1,4	434	435	0,2
0,2	429	423	1,4	438	439	0,2	448	448	0
0,25	444	435	2	451	452	0,2	458	461	0,6
0,3	462	447	3,4	467	465	0,4	472	474	0,4
$n, \%$	Т, К								
	333			348					
	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%			
0,1	437	428	2,1	448	433	3,4			
0,15	444	441	0,7	454	446	1,8			
0,2	455	454	0,2	462	459	0,6			
0,25	463	467	0,8	468	472	0,8			
0,3	476	480	0,8	479	485	1,2			

Таблица П.4.7. Сравнение экспериментальных и расчетных данных температуропроводности ($a \cdot 10^7, м^2 / с$) системы гидразингидрат + окись алюминия (Al_2O_3 d=50нм) в зависимости от температуры по формуле 4.21

$n, \%$	Т, К								
	298			313			323		
	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%
0,1	1,03	1,04	1	1,09	1,097	0,6	1,15	1,123	2,4
0,15	1,08	1,07	0,9	1,12	1,13	0,9	1,17	1,16	0,8
0,2	1,1	1,107	0,6	1,14	1,16	1,7	1,19	1,191	0,1
0,25	1,16	1,14	1,7	1,19	1,197	0,6	1,23	1,225	0,4
0,3	1,19	1,17	1,7	1,22	1,23	0,8	1,26	1,26	0
$n, \%$	Т, К								
	333			348					
	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%			
0,1	1,18	1,142	3,3	1,21	1,156	4,6			
0,15	1,2	1,18	1,7	1,22	1,19	2,5			
0,2	1,21	1,211	0,1	1,23	1,226	0,3			
0,25	1,24	1,246	0,5	1,26	1,261	0,1			
0,3	1,27	1,281	0,8	1,28	1,297	1,3			

Таблица П.4.8. Сравнение экспериментальных и расчетных данных температуропроводности ($a \cdot 10^7, \text{м}^2 / \text{с}$) системы гидразингидрат + окись железа (Fe_2O_3 , $d=50\text{нм}$) в зависимости от температуры по формуле 4.21

$n, \%$	Т, К								
	298			313			323		
	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%
0,1	1,17	1,194	2	1,23	1,25	1,6	1,29	1,285	0,4
0,15	1,21	1,23	1,6	1,27	1,29	1,5	1,33	1,324	0,4
0,2	1,27	1,27	0	1,31	1,33	1,5	1,36	1,363	0,2
0,25	1,33	1,303	2,1	1,37	1,37	0	1,4	1,402	0,1
0,3	1,39	1,34	3,7	1,42	1,41	0,7	1,46	1,44	1,4
$n, \%$	Т, К								
	333			348					
	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%			
0,1	1,31	1,306	0,3	1,34	1,32	1,5			
0,15	1,35	1,346	0,3	1,37	1,36	0,7			
0,2	1,38	1,386	0,4	1,4	1,4	0			
0,25	1,41	1,426	1,1	1,42	1,44	1,4			
0,3	1,46	1,465	0,3	1,47	1,48	0,7			

Таблица П.4.9. Сравнение экспериментальных и расчетных данных температуропроводности ($a \cdot 10^7, м^2 / с$) системы гидразингидрат + окись титана (TiO_2 d=50нм) в зависимости от температуры по формуле 4.21

$n, \%$	T, K								
	298			313			323		
	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%
0,1	1,09	1,12	2,7	1,15	1,18	2,5	1,21	1,21	0
0,15	1,14	1,156	1,4	1,19	1,21	1,6	1,24	1,245	0,4
0,2	1,2	1,19	0,8	1,24	1,25	0,8	1,28	1,28	0
0,25	1,25	1,225	2	1,28	1,29	0,8	1,32	1,32	0
0,3	1,3	1,26	3,2	1,33	1,32	0,7	1,36	1,35	0,7
$n, \%$	T, K								
	333			348					
	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%			
0,1	1,25	1,23	1,6	1,28	1,24	3			
0,15	1,27	1,26	0,8	1,31	1,28	2,3			
0,2	1,3	1,3	0	1,33	1,32	0,8			
0,25	1,33	1,34	0,7	1,35	1,36	0,7			
0,3	1,37	1,38	0,7	1,39	1,39	0			

Таблица П.4.10. Сравнение экспериментальных и расчетных данных коэффициента молярной диффузии ($D \cdot 10^7, (м^2 \cdot кг)/(с \cdot моль)$) системы гидразингидрат+ наноструктурная окись алюминия (Al_2O_3 d=50нм) в зависимости от температуры по формуле 4.28

n, %	T, K								
	298			313			323		
	D _{экс}	D _{выч}	%	D _{экс}	D _{выч}	%	D _{экс}	D _{выч}	%
0,1	0,105	0,105	0	0,111	0,111	0	0,117	0,114	2,6
0,15	0,11	0,109	0,9	0,115	0,114	0,8	0,119	0,117	1,7
0,2	0,113	0,111	1,8	0,117	0,117	0	0,122	0,121	0,8
0,25	0,119	0,114	4,4	0,122	0,121	0,8	0,126	0,124	1,6
0,3	0,122	0,118	3,4	0,125	0,125	0	0,128	0,128	0
n, %	T, K								
	333			348					
	D _{экс}	D _{выч}	%	D _{экс}	D _{выч}	%			
0,1	0,12	0,117	2,5	0,124	0,119	4,2			
0,15	0,122	0,12	1,7	0,125	0,123	1,6			
0,2	0,124	0,123	0,8	0,126	0,126	0			
0,25	0,127	0,127	0	0,129	0,13	0,8			
0,3	0,13	0,131	0,7	0,131	0,134	2,2			

Таблица П.4.11. Сравнение экспериментальных и расчетных данных коэффициента молярной диффузии ($D \cdot 10^7, (m^2 \cdot kg)/(c \cdot моль)$) системы гидразингидрат + окись железа (Fe_2O_3 d=50nm) в зависимости от температуры по формуле 4.28

n, %	T, K								
	298			313			323		
	D _{экс}	D _{выч}	%	D _{экс}	D _{выч}	%	D _{экс}	D _{выч}	%
0,1	0,187	0,188	0,5	0,197	0,199	1	0,206	0,205	0,5
0,15	0,19	0,193	0,5	0,204	0,204	0	0,213	0,21	1,4
0,2	0,203	0,199	2	0,211	0,21	0,5	0,218	0,216	0,9
0,25	0,211	0,205	2,9	0,218	0,217	0,5	0,224	0,223	0,4
0,3	0,223	0,215	3,7	0,228	0,224	1,8	0,233	0,23	1,3
n, %	T, K								
	333			348					
	D _{экс}	D _{выч}	%	D _{экс}	D _{выч}	%			
0,1	0,211	0,209	0,9	0,214	0,214	0			
0,15	0,217	0,215	0,9	0,219	0,22	0,5			
0,2	0,221	0,221	0	0,223	0,226	1,3			
0,25	0,226	0,228	0,9	0,227	0,233	2,6			
0,3	0,234	0,236	0,8	0,235	0,241	2,5			

Таблица П.4.12. Сравнение экспериментальных и расчетных данных коэффициента молярной диффузии ($D \cdot 10^7, (m^2 \cdot kg)/(c \cdot моль)$) системы гидразингидрат + окись титана (TiO_2 d=50nm) в зависимости от температуры по формуле 4.28

n, %	T, K								
	298			313			323		
	D _{экс}	D _{выч}	%	D _{экс}	D _{выч}	%	D _{экс}	D _{выч}	%
0,1	0,088	0,089	1,1	0,092	0,095	3,1	0,097	0,097	0
0,15	0,091	0,092	1,1	0,095	0,097	2	0,099	0,1	1
0,2	0,096	0,094	2,1	0,099	0,1	1	0,104	0,103	0,9
0,25	0,1	0,097	3	0,103	0,103	0	0,106	0,106	0
0,3	0,104	0,101	3	0,106	0,106	0	0,109	0,109	0
n, %	T, K								
	333			348					
	D _{экс}	D _{выч}	%	D _{экс}	D _{выч}	%			
0,1	0,1	0,099	1	0,103	0,102	1			
0,15	0,102	0,102	0	0,105	0,104	0,9			
0,2	0,105	0,105	0	0,107	0,107	0			
0,25	0,107	0,108	0,9	0,108	0,111	2,7			
0,3	0,11	0,112	1,8	0,111	0,114	2,6			

Таблица П.4.13. Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) системы гидразингидрат + окись алюминия (Al_2O_3 , $d=50\text{нм}$) в зависимости от давления по формуле 4.41

$n, \%$	Р, МПа											
	0,101			0,108			0,114			0,121		
	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%
0,1	374	389	4	381	369	3,1	387	378	2,3	392	389	0,8
0,15	394	401	1,8	398	382	4	403	391	3	408	401	1,7
0,2	403	416	3,2	407	394	3,2	411	404	1,7	414	415	0,2
0,25	426	430	0,9	430	408	5,1	433	418	3,4	437	430	1,6
0,3	437	445	1,8	440	422	4,1	443	433	2,2	448	445	0,7
$n, \%$	Р, МПа											
	0,128			0,135			0,141					
	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%	$\lambda_{\text{экс}}$	$\lambda_{\text{выч}}$	%
0,1	399	399	0	403	410	1,7	409	419	2,4			
0,15	412	413	0,2	417	424	1,7	421	433	2,8			
0,2	419	427	1,9	424	438	3,3	427	448	4,9			
0,25	441	442	0,2	445	453	1,8	450	463	2,9			
0,3	451	457	1,3	456	469	2,8	460	479	4,1			

Таблица П.4.14. Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) системы гидразингидрат + окись железа (Fe_2O_3 , $d=50\text{нм}$) в зависимости от давления по формуле 4.41

$n, \%$	Р, МПа											
	0,101			0,108			0,114			0,121		
	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%
0,1	423	409	3,4	434	422	2,8	442	433	2,1	448	444	0,9
0,15	437	423	3,3	444	436	1,8	451	447	0,9	460	459	0,2
0,2	458	438	4,6	464	451	2,9	469	462	1,5	474	475	0,2
0,25	476	453	5,1	481	466	3,2	487	478	1,9	492	491	0,2
0,3	499	479	4,2	503	483	4,1	507	494	2,6	512	508	0,8
$n, \%$	Р, МПа											
	0,128			0,135			0,141					
	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%
0,1	452	456	0,9	457	468	2,3	465	479	2,9			
0,15	467	471	0,8	473	484	2,3	478	495	3,4			
0,2	479	478	0,2	486	500	2,8	491	511	3,9			
0,25	497	504	0,4	502	517	2,9	507	529	4,1			
0,3	516	522	1,1	520	536	3	526	548	4			

Таблица П.4.15. Сравнение экспериментальных и расчетных данных теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, Bm/(m \cdot K)$) системы гидразингидрат + окись титана (TiO_2 d=50nm) в зависимости от давления по формуле 4.41

n, %	P, МПа											
	0,101			0,108			0,114			0,121		
	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%
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
n, %	P, МПа											
	0,128			0,135			0,141					
	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%	$\lambda_{\text{ЭКС}}$	$\lambda_{\text{ВЫЧ}}$	%
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.4.16. Сравнение экспериментальных и расчетных данных температуропроводности ($a \cdot 10^7, \text{м}^2 / \text{с}$) системы гидразингидрат + окись алюминия (Al_2O_3 d=50нм) в зависимости от давления по формуле 4.34

$n, \%$	Р, МПа											
	0,101			0,108			0,114			0,121		
	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%
0,1	1,05	1,05	0	1,09	1,08	0,9	1,12	1,11	0,9	1,15	1,14	0,8
0,15	1,1	1,09	0,9	1,15	1,13	1,7	1,17	1,16	0,8	1,21	1,19	1,6
0,2	1,16	1,14	1,7	1,2	1,17	2,5	1,23	1,2	2,4	1,25	1,24	0,8
0,25	1,2	1,18	1,7	1,25	1,22	2,4	1,27	1,25	1,6	1,3	1,29	0,7
0,3	1,26	1,23	1,4	1,29	1,27	2,5	1,32	1,3	1,5	1,35	1,34	0,7
$n, \%$	Р, МПа											
	0,128			0,135			0,141					
	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%
0,1	1,19	1,17	1,6	1,23	1,21	1,6	1,25	1,24	0,8			
0,15	1,24	1,23	0,8	1,27	1,26	0,8	1,3	1,29	0,8			
0,2	1,29	1,28	0,8	1,33	1,31	1,5	1,35	1,34	0,7			
0,25	1,34	1,33	0,7	1,37	1,36	0,7	1,39	1,4	0,7			
0,3	1,4	1,38	1,4	1,42	1,42	0	1,45	1,45	0			

Таблица П.4.17. Сравнение экспериментальных и расчетных данных температуропроводности ($a \cdot 10^7, \text{м}^2 / \text{с}$) системы гидразингидрат + окись железа (Fe_2O_3 , $d=50\text{нм}$) в зависимости от давления по формуле 4.34

n, %	Р, МПа											
	0,101			0,108			0,114			0,121		
	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%
0,1	1,17	1,14	2,5	1,2	1,18	1,7	1,24	1,21	2,4	1,27	1,24	2,3
0,15	1,21	1,19	1,6	1,27	1,23	3,1	1,28	1,26	1,5	1,33	1,3	2,2
0,2	1,27	1,24	2,3	1,31	1,28	2,3	1,35	1,31	2,9	1,37	1,35	1,4
0,25	1,32	1,29	2,3	1,37	1,33	2,9	1,39	1,36	2,1	1,41	1,4	0,7
0,3	1,39	1,34	2,6	1,42	1,38	2,8	1,45	1,42	2	1,48	1,46	1,3
n, %	Р, МПа											
	0,128			0,135			0,141					
	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%	$a_{\text{ЭКС}}$	$a_{\text{ВЫЧ}}$	%			
0,1	1,31	1,28	2,3	1,34	1,32	1,4	1,36	1,35	0,7			
0,15	1,35	1,34	0,7	1,38	1,37	0,7	1,42	1,4	1,4			
0,2	1,41	1,39	1,4	1,44	1,43	0,7	1,47	1,46	0,7			
0,25	1,45	1,45	0	1,49	1,49	0	1,52	1,52	0			
0,3	1,52	1,5	1,3	1,55	1,54	0,6	1,58	1,58	0			

Таблица П.4.18. Сравнение экспериментальных и расчетных данных температуропроводности ($a \cdot 10^7, м^2 / с$) системы гидразингидрат + окись титана (TiO_2 d=50нм) в зависимости от давления по формуле 4.34

n, %	P, МПа											
	0,101			0,108			0,114			0,121		
	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%
0,1	1,09	1,08	0,9	1,13	1,11	1,7	1,17	1,14	2,5	1,2	1,17	2,5
0,15	1,14	1,12	1,7	1,19	1,16	2,5	1,21	1,19	1,6	1,25	1,22	2,4
0,2	1,2	1,17	2,5	1,24	1,21	2,4	1,27	1,24	2,3	1,3	1,28	1,5
0,25	1,25	1,22	2,4	1,29	1,25	3,1	1,31	1,29	1,5	1,34	1,33	0,7
0,3	1,3	1,26	3	1,33	1,3	2,2	1,36	1,34	1,5	1,39	1,38	0,7
n, %	P, МПа											
	0,128			0,135			0,141					
	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%	$a_{экс}$	$a_{выч}$	%
0,1	1,24	1,21	2,4	1,27	1,24	2,4	1,29	1,27	1,5			
0,15	1,28	1,26	1,5	1,31	1,3	0,8	1,34	1,33	0,7			
0,2	1,34	1,31	2,2	1,37	1,35	1,4	1,39	1,38	0,7			
0,25	1,38	1,36	1,4	1,41	1,4	0,7	1,44	1,43	0,7			
0,3	1,44	1,42	1,4	1,47	1,46	0,7	1,5	1,49	0,7			

Республика Таджикистан
Государственное патентное ведомство

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин Зоиров Х.А.

Является автором изобретения Способ измерения диэлектрической проницаемости
жидких диэлектриков

На изобретение выдан малый патент №ТJ 210

Патентообладатель Сафаров М.М., Давлатшоев С.К.

Страна Республика Таджикистан

Соавторы Сафаров М.М., Давлатшоев С.К., Зарипова М.А., Ф. Наджмизода,
Махмадиев М.С., Тиллоева Т.Р., Анакулов М.М.

Приоритет изобретения 26.12.2008

Дата подачи заявки 26.12.2008

Заявка № 0800268

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Республики Таджикистан

19 февраля 2009

Малый действителен с 26 декабря 2008 г. по 26 декабря 2018 г.
Патент

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



Республика Таджикистан
Государственное патентное ведомство

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин **Зоиров Х.А.**

Является автором изобретения Устройство для определения температуропроводности при комнатной температуре и атмосферном давлении путем лазерной вспышки

На изобретение выдан малый патент №ТJ **230**

Патентообладатель **Сафаров М.М., Джураев Д.С.**

Страна **Республика Таджикистан**

Соавторы **Сафаров М.М., Джураев Д.С., Нажмудинов Ш.З., Ф. Наджмизода, Мухамедиев Н.П., Зарипова М.А., Тиллоева Т.Р.**

Приоритет изобретения **31.03.2009**

Дата подачи заявки **31.03.2009**

Заявка № **0900295**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан **17 июня 2009**

Малый действителен с **31 марта 2009** г. по **31 марта 2019** г.
Патент

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



Республика Таджикистан
Государственное патентное ведомство

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин **Зоиров Х.А.**

Является автором изобретения **Устройство для определения**
температуры проводимости магнитных жидкостей

На изобретение выдан малый патент №ТJ **292**

Патентообладатель **Сафаров М.М., Джураев Д.С.**

Страна **Республика Таджикистан**

Соавторы **Сафаров М.М., Джураев Д.С., Нажмуудинов Ш.З., Ф. Наджмизода,**
Мухамедиев Н.П., Зарипова М.А., Тиллоева Т.Р.

Приоритет изобретения **31.03.2009**

Дата подачи заявки **31.03.2009**

Заявка № **0900296**

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Республики Таджикистан **27 января 2010**

Малый действителен с **31 марта 2009** г. по **31 марта 2019** г.
Патент

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



Республика Таджикистан
Государственное патентное ведомство

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин Зоиров Х.А.

Является автором изобретения Способ определения теплопроводности магнитных жидкостей методом лазерной вспышки

На изобретение выдан малый патент №ТJ 316

Патентообладатель Сафаров М.М., Джураев Д.С.

Страна Республика Таджикистан

Соавторы Сафаров М.М., Джураев Д.С., Нажмуудинов Ш.З., Ф. Наджмизода, Мухамедиев Н.П., Зарипова М.А., Тиллоева Т.Р., Аминов Ш.А.

Приоритет изобретения 25.09.2009

Дата подачи заявки 25.09.2009

Заявка № 0900357

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 7 апреля 2010

Малый действителен с 25 сентября 2009 г. по 25 сентября 2019 г.
Патент

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



Республика Таджикистан
Государственное патентное ведомство

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин Зоиров Х.А.

Является автором изобретения Устройство для определения электрофизических
свойств электролитов в зависимости от давления

На изобретение выдан малый патент №ТJ 371

Патентообладатель Сафаров М.М., Давлатшоев С.К., Джураев Д.С., Нажмуудинов Ш.З.,
Зарипова М.А., Тагоев С.А., Тиллоева Т.Р., Зоиров Х.А.,
Зарипов Д.А., Анакулов М.М.

Страна Республика Таджикистан

Соавторы Сафаров М.М., Давлатшоев С.К., Джураев Д.С., Нажмуудинов Ш.З.,
Зарипова М.А., Тагоев С.А., Тиллоева Т.Р., Зарипов Д.А.,
Анакулов М.М.

Приоритет изобретения 23.06.2010

Дата подачи заявки 23.06.2010

Заявка № 1000487

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Республики Таджикистан 23 августа 2010

Малый действителен с 23 июня 2010 г. по 23 июня 2020 г.
Патент

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



Республика Таджикистан
Государственное патентное ведомство

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин Зоиров Х.А.

Является автором изобретения Устройство для определения электрофизических
свойств магнитных жидкостей в зависимости от давления и магнитного поля

На изобретение выдан малый патент №ТJ 372

Патентообладатель Сафаров М.М., Джураев Д.С., Нажмуудинов Ш.З., Зарипова М.А.,
Тагоев С.А., Тиллоева Т.Р., Зоиров Х.А., Назиров Ш.М.

Страна Республика Таджикистан

Соавторы Сафаров М.М., Джураев Д.С., Нажмуудинов Ш.З., Зарипова М.А.,
Тагоев С.А., Тиллоева Т.Р., Назиров Ш.М.

Приоритет изобретения 23.06.2010

Дата подачи заявки 23.06.2010

Заявка № 1000488

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Республики Таджикистан 23 августа 2010

Малый действителен с 23 июня 2010 г. по 23 июня 2020 г.
Патент

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