

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН**

**Таджикский государственный педагогический университет имени
Садриддина Айни**

На правах рукописи
УДК 536.12.43.64

МИРЗОЕВА Кутос

**ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ С ЭФФЕКТАМИ “ПАМЯТИ ФОРМ”
РАЗЛИЧНОЙ ФРАКЦИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
И ПЛОТНОСТИ ТОЛУОЛА ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ**

Специальность: 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

**Заслуженный деятель науки и
техники Таджикистана, академик
Международной инженерной ака-
демии (МИА), академик Инженер-
ной академии (ИА) Республики
Таджикистан, доктор технических
наук, профессор**

Сафаров Махмадали Махмадиевич

Душанбе – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Наименование	стр
	Основные условные обозначения и сокращения, используемые в работе.....	7
	Введение	8
Глава 1	ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО НЕКОТОРЫМ СВОЙСТВАМ ИССЛЕДУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	21
1.1.	Основные физико-химические свойства исследуемых жидкостей, диоксида титана и их применение.....	21
1.1.1	Характеристика и способы получения наноразмерных металлоксидных материалов.....	21
1.1.2	Структура наноразмерных пористых металлоксидных материалов.....	21
1.2	Диоксид титана.....	24
1.3	Гидротермальные методы синтеза.....	26
1.4.	Промышленный синтез диоксида титана.....	27
1.5.	Моделирование параметров критической точки и обсуждение результатов.....	29
1.6.	Диоксид титана: структура, физические и химические свойства, применение.....	31
1.6.1.	Метод анализа (АЭСА) - метод элементного анализа	33
1.7.	Синтез и исследование нанопорошка диоксида титана.....	36
1.7.1	Разработка способа получения нанопорошка с использованием золь-гель технологии.....	36
1.8	Методы синтеза диоксида титана.....	38
1.9	Толуол и о-ксилол (1,5- метилбензол).....	43
1.10	Получение и применение толуола	51
1.11.	Заключение по первой главе.....	52

Глава 2	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ПЛОТНОСТИ НАНОЖИДКОСТЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ.....	53
2.1	Экспериментальная установка для определения плотности жидкостей и растворов при атмосферном давлении.....	53
2.2	Расчетное уравнение метода гидростатического взвешивания с учетом конструктивных особенностей устройства.....	54
2.3	Экспериментальная установка для измерения теплопроводности наножидкостей (метод регулярного теплового режима первого рода –установка профессора И.Ф.Голубева).....	56
2.4	Методика измерения теплопроводности растворов при различных температурах и давлениях.....	61
2.5	Вычисление теплопроводности по данным опыта.....	62
2.6	Экспериментальная установка для измерения теплопроводности в зависимости от температуры и давления методом нагретой нити (Патент Республики Таджикистан № TJ 923, 2017).....	63
2.7	Расчет погрешности измерений теплофизических свойств веществ.....	64
2.7.1	Определение погрешности измерения плотности.....	67
2.8	Заключение по второй главе.....	68
Глава 3.	КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ТОЛУОЛА С ВНЕДРЕНИЕМ НАНОРАЗМЕНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ..	70
3.1	Плотность толуола в зависимости от температуры и концентрации диоксида титана различной фракции при атмосферном давлении.....	70
3.2	Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” и их фракции на изменение плотности	

	толуола при атмосферном давлении.....	75
3.3	Влияние концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” и их фракции на изменение плотности толуола при атмосферном давлении и $T_i = \text{Const}$	78
3.4	Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” и их фракции на изменение теплопроводности системы на основе толуола при различных условиях опыта	81
3.4.1	Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектом “ памяти форм” и их фракции на изменение теплопроводности растворов на основе толуола на линии насыщения.....	82
3.4.2	Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектом “ памяти форм” с разными фракциями на изменение теплопроводности толуола и растворов на его основе при атмосферном давлении.....	87
3.4.3	Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” с различными фракциями на изменение теплопроводности газообразного толуола.....	92
3.4.4	Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектом “ памяти форм” разной фракции на изменение теплопроводности жидкого толуола при различных температурах и давлениях.....	97
3.5	Корреляция между плотностью и теплопроводностью толуола в чистом виде и с добавкой наночастиц с эффектом ” памяти форм” при различных температурах и давлениях.....	112
3.5.1	Корреляция между плотностью и теплопроводность толуола в чистом виде и добавкой наночастиц с эффектом ”памяти форм” при различных температурах и атмосферном давлении.....	

	нии.....	112
3.5.2	Коррелляция между плотностью и теплопроводностью толуола с добавкой наночастиц с эффектом "памяти форм" при различных температурах и давлениях.....	113
3.6	Заключение по третьей главе.....	117
Глава 4.	АНАЛИЗ, ОБОБЩЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПО ПЛОТНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТУ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ТОЛУОЛА.....	119
4.1	Анализ экспериментальных данных по теплофизическим свойствам наножидкостей	120
4.2	Обобщение экспериментальных данных по плотности и теплопроводности исследуемых растворов системы (толуол + наночастицы TiO ₂) при различных температурах и атмосферном давлении.....	121
4.3	Обобщение экспериментальных данных по теплопроводности исследуемых растворов системы (толуол+наночастицы TiO ₂) при различных температурах на линии насыщения.....	129
4.4	Обобщение экспериментальных данных наночастиц с эффектом "памяти форм" с различными фракциями, введенных в толуол и их влияние на изменение теплопроводности исследуемых наножидкостей при атмосферном давлении.....	134
4.5	Обобщение экспериментальных данных изученных наночастиц с эффектом "памяти форм" с разными фракциями, введенные в газообразный толуол в зависимости от температуры при атмосферном давлении	140
4.6	Обработка экспериментальных данных по теплопроводности жидкого толуола с введенными наночастицами с эффектом	

	“памяти форм” при высоких параметрах состояния.....	145
4.7	Заключение к четвертой главе.....	150
4.8	Выводы.....	151
	Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки и исследования по теме диссертационной работы.....	153
	Список использованной литературы.....	155
	Приложение №1	173
	Приложение №2	179
	Приложение №3	182
	Приложение №4	183
	Приложение №5	191
	Приложение №6	193

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАБОТЕ

λ –коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	U- показания потенциометра, (мВ)
C_p – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	ε –степень черноты;
τ – время, (с)	$\alpha_{\text{луч.}}$ -коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м ² ·К)
T – температура по шкале Кельвина, (К)	ν –коэффициент кинематической вязкости, м ² /с
Q- количество теплоты, (кДж)	d- диаметр ядра бикалориметра, (м)
Fo – критерий Фурье	G _я -масса ядра, (кг)
P- давление, (МПа)	G ₁ - вес поплавка на воздухе, (кг)
ΔT - разность значений температуры, (К)	G ₂ -вес поплавка в исследуемых образцах, (кг)
Pr- критерий Прандтля;	V _п -объем кварцевого поплавка, м ³
Gr- критерий Грасгофа;	V _п -объем манганиновой проволоки, (м ³)
$\rho, \rho_{\text{насып.}}$ – плотность, насыпная плотность, кг/м ³	T _{кип.} - температура кипения, (К)
$t_{a, n-1}$ - коэффициент Стьюдента;	T _{плав.} - температура плавления, (К)
α –доверительная вероятность;	m-темп регулярного охлаждения, (1/с)
α_p –коэффициент теплового расширения, (1/К)	Pr-число Прандтля,
β_T - изотермическая сжимаемость, (1/Па)	Ah-число Архимеда,
P _i - внутреннее давление, (Па)	Ma-число Маха.
M - молярная масса, кг/моль	Le-число Льюиса,
Ra=GrPr-конвекция, безразмерная величины, число Релея,	Re-число Рейнольдса,
St-число Стефана,	Fo-число Фурье.
Pe- число Пекле,	ИТ- λ -измеритель теплопроводности твердых тел
Nu-число Нуссельта,	
Bi-число Био,	
ИТ-C _p -измеритель теплоемкости твердых тел	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Для того, чтобы получить наиболее универсальные и усовершенствованные технологические процессы, которые опираются на инженерные расчеты, требующие научно-обоснованную информацию по теплофизическим свойствам, применяемых в них используемых в этих процессах рабочих веществ в широкой области изменения параметров состояния, включая и их переход фазового равновесия. Для численных расчетов и решения дифференциальных уравнений первого и второго порядка, описывающих процесс теплообмена необходимы данные по теплофизическим свойствам, в частности коэффициенту эффективной теплопроводности в зависимости от температуры, давления и изменения фазового перехода. Применение неточных, либо приближенных данных касательно свойств веществ может стать результатом превышения габаритных размеров установок, тем самым и технико-экономических характеристик. Эффективная теплопроводность является одним из важных контролируемых параметров в таких технологических процессах. Исследование этих величин выполняются в таких отраслях экономики и промышленности, как горнодобывающая, сельское хозяйство и медицина. Методы измерений коэффициента теплопроводности могут быть разделены на теоретические и экспериментальные.

В связи с этим, дальнейшее уточнение теплопроводности наножидкостей, в том числе и с внедрением в них жидкого и газообразного толуола, представляет собой значительный резерв совершенствования технологического процесса.

На сегодняшний день существует множество новых технологических процессов, которые сопровождаются повышенными температурой и давлением при различных концентрациях наночастиц в рабочем веществе, различной фракции и эффектами памяти, используемые для совершенствования и интенсификации ранее существующих процессов, которые широко применяются в химической, топливной, машиностроительной промышленности, а также в электронной и других отраслях.

В данном случае при добавке в толуол наноразмерного диоксида титана (TiO_2) различной фракции (30нм, 50нм и 70нм), меняются его физико-химические свойства. Исследования эффективной теплопроводности растворов системы органических жидкостей (толуол) и диоксида титана, в зависимости от температуры, давления, концентрации нанонаполнителей занимают особое научно-прикладное место и входят в состав основных физико-химических величин, описывающих свойства жидкостей, растворов и являются одними из главных параметров уравнения гидродинамики, а также теплообмена. Изучение вышеназванных свойств изучаемых наножидкостей, главным образом, способствует развитию и совершенствованию современной теории наножидкостей, установлению механизма межмолекулярного взаимодействия в жидкостях и растворах. Таким образом, исследования эффективной теплопроводности веществ является основополагающей современной молекулярно-кинетической теории газов и жидкостей.

Цель диссертационной работы: исследование эффективной теплопроводности и плотности двухкомпонентных систем (наноразмерный диоксид титана различной фракции (30нм, 50нм и 70нм)) и концентрации (до 0,5%) + толуол) в интервале температур (293-433) К и давлений (0,101-14,42) МПа.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- выбор и разработка метода исследования эффективной теплопроводности и плотности растворов (толуол + наноразмерный диоксид титана различной фракции (30нм, 50нм и 70нм) (до 0,5%)) с учетом перехода системы из одного состояния в другое (на линии насыщения, в жидкой или паровой фазе);
- определение механизма переноса тепла в изучаемых образцах (наножидкостях);

- разработка и создание опытного устройства для исследования эффективной теплопроводности (реализация метода нагретой нити. Патент РТ №ТJ 923 авторов Сафарова М.М. и др.) с возможностью изменения температуры и давления опыта;
- получение экспериментальных значений эффективной теплопроводности и плотности в диапазоне изменения температуры (293-433) К и давления (0,101-14,42) МПа;
- определение температурной зависимости теплопроводности и плотности изучаемых растворов в пределах (293-433)К, а также зависимости этих свойств от давления (0,101-14,42) МПа, концентрации (от 0 до 0,5%) наноразмерного диоксида титана с различной фракцией (30нм, 50нм и 70нм) с учетом фазового перехода и получение соответствующей аппроксимационной зависимости;
- установление взаимосвязи изучаемых параметров, т.е. эффективной теплопроводности и плотности жидкого и газообразного толуола при температурах от 293 до 433 К и давлениях от 0,101 до 14,42 МПа;
- получение соответствующего уравнения состояния (уравнение типа Тейта) для численного определения теплопроводности изучаемых систем.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработано устройство, предназначенное для измерения теплопроводности, которое запатентовано (метод нагретой нити, Патент РТ №ТJ 923). В последствии оно было адаптировано для исследования теплопроводности твердых тел на основе толуола их механических смесей с твердофазным полистиролом при различных температурах.

2. Предложена методика численного определения ТФС для анализа процессов теплопереноса, а также численный способ определения размеров частиц в исследуемых веществах.

3. Получены эмпирические уравнения, уравнение состояния (УС) для расчёта ТФС, исследуемых веществ при температурах (293-443)К, давлениях (0,101-14,42)МПа, а также установлена корреляция между этими свойствами.

4. Разработаны методы расчета коэффициента эффективной теплопроводности, плотности наножидкостей (толуол+наночастицы с эффектами памяти форм различной фракции (30нм, 50нм и 70нм)) и коэффициентов уравнения состояния типа Тейта для исследуемых коллоидных растворов и статическая обработка полученных данных.

5. Используются экспериментальные установки для измерения теплопроводности исследуемых наножидкостей системы (жидкий и газообразный толуол + наноразмерный диоксид титана).

6. Получены экспериментальные данные по коэффициенту эффективной теплопроводности и плотности исследуемых растворов (до 0,5% наноразмерного диоксида титана различной фракции (30нм, 50нм и 70нм)) в интервале температур (293-433) К и давлений (0,101-14,42) МПа.

7. Получены аппроксимационные зависимости, описывающие $\lambda - P - T - m$ с помощью уравнения состояния типа Тейта и статической обработки экспериментальных данных.

8. Установлена зависимость коэффициента эффективной теплопроводности и плотности коллоидных растворов системы толуола и наночастиц с эффектами “памяти форм” в широком интервале параметров состояния $T=(293-433)К$, $P = (0,101-14,42) МПа$, включая жидких и газообразных фаз теплоносителя.

9. Применен способ определения коэффициента активности нанонаполнителя (способ Алтунина В.А. и др.).

На защиту выносятся:

- методика численного определения эффективной теплопроводности и плотности изучаемых веществ при изменении температуры и давления (уравнения состояния типа Тейта и модель Максвелла), а также и анализ процесса теплопереноса в изучаемых образцах;

- аппроксимационные зависимости (в виде уравнения типа Тейта) для численного определения теплопроводности и плотности системы толуола + наноразмерного диоксида титана с различными фракциями (30нм, 50нм и 70нм) при различных $T = (293-433)K$, $P = (0,101-14,42)$ МПа, включая жидких и газообразную фазу теплоносителя;
- модернизированные измерительные устройства для экспериментального исследования теплопроводности наножидкостей с указанием их применимости при исследовании образцов при условии изменения температуры, давления, концентрации наночастиц различной фракции;
- способ определения коэффициента активности нанонаполнителя (способ Алтунина В. А. и др.)
- применение данных по теплопроводности и плотности исследуемых растворов в диапазоне ($T=293-433$) К, $P=(0,101-14,42)$ МПа) и концентрации до 0,5г. наноразмерного диоксида титана с различными фракциями (30нм, 50 нм и 70нм) при жидком и газообразном состоянии теплоносителя.

Объект исследования. Жидкий и газообразных толуол, наноразмерный диоксид титана (материал с эффектом “памяти форм”) и наножидкость с наночастицами различной фракции (30нм, 50нм и 70нм).

Отрасли исследования. Работа выполнялась по научным направлениям теплофизика и теоретическое основы теплотехники.

Этапы исследования. Работа выполнена в период 2018-2022гг.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Составлены подробные таблицы ТФС технически важных веществ толуол в широком интервале температур ((293 – 433) К) и давлений ((0,101 – 14,42) МПа), которые представляют практическую значимость для проектных организаций, в свою очередь использующие эти данные в разного рода процессах (химических, энергетических, технологических и т.д).

2. Полученные результаты экспериментально-расчетного исследования плотности и теплопроводности растворов (толуол + наночастицы с

эффектами “памяти форм”) при высоких параметрах состояния ($T = (293 - 443) \text{ K}$) и ($P = (0,101 - 14,42) \text{ МПа}$) приняты к внедрению в Институте промышленности Министерства промышленности и новых технологий РТ в инженерных расчетах модельных реакторов, технологических и химических процессов получения дизельных топлив, а результаты опытных исследований применяются в виде справочного материала (прилагается акт внедрения).

3. Полученные результаты опытных исследований по теплофизическим, термодинамическим свойствам двух- и трёхкомпонентных систем технических жидкостей и растворов в качестве справочных можно применить при построении физическо-математических моделей, а также для выбора тепловых режимов работы различных механизмов и устройств.

4. Применяв способ установления активности наночастиц (способ М.М. Сафарова, М.А. Зариповой, В.А. Алтунина и др.) была выявлена степень влияния наночастиц в эффективную проводимость наножидкостей в условиях изменения давления, температуры ($(0,101 - 14,42) \text{ МПа}$, $(293 - 443) \text{ K}$), а также их концентрации.

5. Используя опытные данные по итогам исследования теплопроводности и плотности при разных значениях температуры (линия насыщения) и атмосферном давлении для группы исследованных жидкостей нами был построен ряд аппроксимационных выражений и уравнение состояния. Впервые для данной категории веществ применены уравнение типа Тейта, Мамедова и Ахундова, для которых численным способом были выведены коэффициенты.

6. Собранные экспериментальные устройства для измерения плотности, теплопроводности (метод нагретой нити, диламометрический) жидкостей растворов приняты к использованию в Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими для специальности «Теплоэнергетика», а также в Институте промышленности и новых технологий РТ и др. (акты о внедрении прилагаются).

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов исследований обеспечивается:

–использованием апробированных опытных устройств, обладающих большой точностью воспроизведения экспериментальных значений;

–соответствием полученных на них значений с другими широко известными данными, полученных в ходе применения других известных физико-химических методов анализа;

– полным метрологическим обеспечением измерительных установок; адекватным применением теории измерений и теории погрешностей, а также соответствием полученных экспериментальных с расчетными значениями;

– применением корректной математической модели физических процессов и численным решением дифференциальных уравнений, описывающих процессы тепломассопереноса модели Максвелла (теплопроводность), Дульнева (теплопроводность), Ленарда–Джонса (теплопроводность), Тейта (плотность), уравнения Мамедова–Ахундова (плотность), а также применением компьютерного моделирования;

– вычислением влияния добавок наночастиц в исследуемые теплоносители при различных температурах, давлениях и концентрации наночастиц.

Практическая ценность работы:

- разработана методика обобщения уравнения типа Тейта (расчет теплопроводности и плотности) для группы данной категории растворов, а также показана вероятность ее использования и к другим видам полуэмпирических уравнений;

- теоретически закреплено предварительное определение эффективной теплопроводности и плотности наножидкостей на основе их молекулярных структур;

- предложена модель структуры растворов, на основе которых выполнен комплексный анализ теплопереноса и численным способом определены критерии Фурье и Прандтля данных растворов;

- предложенные варианты установок могут применяться для скоростного определения теплопроводности и плотности материалов в лабораторных условиях;

- дополнен банк данных новыми величинами для ряда физико-химических соединений.

- применен способ определения коэффициента активности нанонаполнителя (способ Алтунина В.А. и др.)

Результаты исследования внедрены:

- результаты проведенных исследований по теплопроводности и плотности исследуемых наножидкостей системы (толуол + наноразмерных диоксид титана с различными фракциями (30нм, 50нм и 70нм) внедрены в Институте промышленности Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан при расчетах технологических процессов, а экспериментальные данные используются как справочные;

- составлены детальные таблицы по эффективной теплопроводности и плотности технически важных растворов в интервале температур (293-433)К и давлений $P=(0,101-14,42)$ МПа) и концентрации до 0,5% наноразмерного диоксида титана различной фракции (30нм, 50нм и 70нм) при разных агрегатных состояниях (газ, жидкость), которые могут применяться проектными организациями в различных технологических процессах;

- созданные опытные устройства применяются в научных и учебных лабораториях кафедры “Теплотехники и теплоэнергетики” Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими и кафедры “Общая физика” ТГПУ имени Садриддина Айни преподавателями, студентами и магистрантами при выполнении своих квалификационных работ (акт внедрения прилагается).

Личный вклад автора заключается в постановлении и выборе задач, методов, путей решения этих задач, выявлении основных закономерностей процессов и явлений при получении теплоносителей, лакокрасочных материалов, реализации экспериментов по исследованию теплопроводности и плотности, а также коэффициентов модифицированного варианта уравнения типа

Тейта в условиях производства, а также соответствующем анализе и обработке результатов исследования, формулировке выводов по объему выполненных работ.

Основные методы научных исследований. При выполнении диссертационной работы для получения данных использованы метод цилиндрического бикалориметра, метод нагретой нити (теплопроводность), метод гидростатического взвешивания (установка К.Д. Гусейнова и его учеников), теория подобия (критерии Прандтля, Грасгофа, Рейнольдса, Пекли, Био и модель Ленарда–Джонса и др.), пакет программы SigmaPlot, Excele и др. Предложен способ получения коэффициентов для составления уравнения состояния, а также применен закон соответственных состояний.

В работе выполнен литературный анализ, синтез и классификация измерений теплопроводности и плотности веществ в жидком и газообразном состоянии. Для измерения теплопроводности коллоидных наножидкостей использован метод нагретой нити (установка разработана профессором М.М. Сафаровым Патент РТ №ТJ 923). Общая относительная погрешность измерения теплопроводности при доверительной вероятности $\alpha=0,95$ составляет 3,5%. Также, для численных расчетов эффективной теплопроводности наножидкостей применена модель Максвелла.

Степень научной разработки проблемы. Понятие критической точки известно еще с 19 века, а точки фазового перехода еще раньше, но работы, посвященные практическому использованию явлений, происходящих в области выше критической точки и фазового перехода начали появляться во второй половине 20 века.

Тероетическим основам явлений происходящих в околокритической и сверхкритической областях посвящены работы Ландау Л.Д., Лившица Е. М., Анисимова М.А., Стенли Г.Е., Ма Ш., Покровского В.Л., Алтунина В.В., Жузе Т.П., Абдулагатова И.М., Усманова А.Г., Амирханова Д.Г., Гумерова Ф. М., Собирзянова А.Н., Кислева С.Б. и др.

По теплопроводности и плотности толуола в жидкой фазе и при фазовом переходе посвящен ряд работ, в том числе Габулова Д.М., Нагашима, Ахундова, Мустафаева Р.А., Гусейнова К.Д., Сафарова М.М., Зариповой М.А., Родель Дж.Н., Таузена Р.П., Россини Ф.Д. и др.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были рассмотрены и обсуждены на международных и республиканских научно-технических конференциях:

1. Международная научно-практическая конференция “Энергетика Таджикистана. Проблемы энергосбережения, энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии”, посвященная 30-летию Государственной Независимости Республики Таджикистана, 90-летию МЭИ и 100-летию плана ГОЭЛРО. Филиал МЭИ в г. Душанбе, 2021г.;

2. VI Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ» г. Санкт-Петербург, 2021г.;

3. Республиканская научно-практическая конференция «Теплоэнергетика и теплофизические свойства веществ» (с международным участием), посвященная 30-летию Государственной Независимости Республики Таджикистан, 65-летию Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими и 50-летию МТФШ, Душанбе, 2021г.;

4. 12 Международная теплофизическая школа (МТФШ-12) “Теплофизика и информационные технологии”, Тамбов, 2021г.;

5. Косигинские чтения, (ФГБОУ ВО "РГУ им. А.Н. Косыгина") федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)" М.: 2021г.;

6. Республиканская научно-практическая конференция, посвященная 30-летию Государственной Независимости Республики Таджикистан с международным участием, Институт химии НАНТ, Душанбе 2021г.;

7. Республиканская научно-практическая конференция, посвященная 30-летию Государственной Независимости Республики Таджикистан и “Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования” (с участием СНГ), Бохтар, БГУ имени Носира Хусрава, 2021г.;

8. 5 Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти докторов химических наук, профессоров Якубова Хамида Мухсиновича и Юсуфова Зухуриддина Нуриддиновича “Вопросы физической и координационной химии”, Душанбе 2021г.;

9. Международная конференция «GDP NANO 2021», посвященная 90-летию «КАИ» и 90-летию профессора кафедры общей физики КАИ, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР и ТАССР Гали Юнусовича Даутова «КНИТУ-КАИ» 2021г.; **Scopuse**

10. Международная научно-практическая конференция, посвященная 90-летию Таджикского государственного педагогического университета имени С.Айни, 2021г.;

Публикации. По результатам исследований опубликовано 16-работ, в том числе 4-статей в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан (одна единоличная), получен 1 малый патент Республики Таджикистан и 11 материалов в республиканских и международных конференциях.

Соответствие паспорту специальности.

По тематике, выбранным методикам исследования, предложенным новым научным положениям настоящая диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» части п. 5 «Экспериментальные и теоретические исследования однофазной, двухфазной, свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров теплопередающих поверхностей», части п. 7 «Экспериментальные и теоретические исследования процессов совместного переноса тепла и массы

в бинарных и многокомпонентных растворах с добавкой микро-, наночастиц с эффектами памяти, включая химически реагирующие наножидкости», части п. 9 «Разработка научных основ и создание методов интенсификации процессов тепло- и массообмена».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, четырех глав, выводов, списка используемой литературы и приложения. Работа изложена на **172** страницах машинного текста **46**-таблиц, **64**-рисунков, списка литературы из **156** наименований библиографических ссылок (отечественных и зарубежных авторов) и 21 страниц приложения.

Во введении изложены актуальность работы, постановка задач, цель, научная новизна, практическая значимость работы и личный вклад автора.

В первой главе представлен обзор литературных данных касательно свойств исследуемых веществ, т.е. толуола и диоксида титана (наноразмерный), а также изложена основная постановка задач исследования.

Вторая глава посвящена описанию опытных установок и детальному разбору их схем, предназначенных для исследования температурной зависимости теплопроводности и при высоких параметрах состояния. В данной главе также выполнена соответствующая оценка погрешности полученных экспериментальных данных.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию теплопроводности и плотности исследуемых системы (толуол-наноразмерные частицы с эффектом "памяти форм") при температурах (293-473)К и давлений $P=(0,101-14,42)$ МПа), концентрации до 0,5% наноразмерных диоксид титана с различными фракциями (30нм, 50нм и 70нм) в жидком и газообразном состоянии теплоносителя, которые могут быть использованы проектными организациями в различных технологических процессах

Четвертая глава посвящена анализу, обработке и соответствующему обобщению полученных в ходе экспериментов данных по теплопроводности и плотности исследуемых наножидкостей. Применено уравнение типа Гейта в широком интервале температур $T=(293-473)$ К, и давлений $P=(0,101-$

14,42)МПа и концентрации до 0,5% наноразмерного диоксида титана с различными фракциями (30 нм, 50нм и 70нм) в жидком и газообразном состоянии теплоносителя.

В приложении представлены таблицы, которые содержат подробное сравнение численных значений, полученных по полученным эмпирическим зависимостям по теплопроводности и плотности изученных в работе наножидкостей при изменении температуры и давления, а также приведены исходные данные для количественной оценки погрешности измерения данных величин.

Работа выполнена на кафедре “Общей физики” Таджикского государственного педагогического университета имени Садриддина Айни

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО НЕКОТОРЫМ СВОЙСТВАМ ИССЛЕДУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

1.1. Основные физико-химические свойства исследуемых жидкостей, диоксида титана и их применение.

1.1.1. Характеристика и способы получения наноразмерных металлоксидных материалов.

Среди прочих направлений наиболее приоритетным является получение новых пористых структур путем синтеза [1]. К таковым можно отнести пористый кремний [2] и анодные оксиды металлов [3] также пористой структуры, которые широко используются в большинстве высокотехнологичных приложениях, например, солнечные элементы, сенселизированные красителем (СЭСК) [4], сенсоры и датчики для воздушной и водной сред [5,6], катализаторы для электролиза воды [7] и др. помощью анодных методов окисления синтезируют материал с высокопористой структурой. Данный процесс дает возможность контролировать геометрические размеры пор, упорядоченность и равномерность массивов нанотрубок, наностержней или пор на развитых поверхностях. Среди них в значительной степени востребованным является пористый анодный оксид алюминия (АОА) [8], который чаще всего взамен шаблона для искусственного получения различных наночастиц, наностержней или нанотрубок. Эти материалы нашли свое широкое применение в получении вентильных, т.е. пассивирующихся металлов (титан [9], цирконий [10], тантал [11], вольфрам [12], гафний [13], ванадий [14] и т.д.) [15].

1.1.2. Структура пористых металлоксидных наноразмерных материалов.

Практически все анодные оксиды металлов обладают аналогичной пористой структурой, в пленке которой различают следующие основные слои: слой пористого анодного оксида, барьерный оксид и подпокализ металла [16].

Эта пленка состоит из плотно упакованных нанотрубок в виде массива либо пор, упорядоченно размещенных в массиве сплошного оксида, обычно перпендикулярно располагающихся относительно подложки. Поры получаемых нанотрубок в сечении обладают либо круглой, либо гексогональной формой. Вершины пор бывают открытыми, закрытыми или частично открытыми, что зависит от условий синтеза, а барьерный слой это тонкая оксидная пленка металла, разделяющий металлическую подложку от массива нанотрубок. Особенность структуры оксидных материалов заключается в протекающих процессах ходе анодной поляризации в электрохимической ячейке, которые в свою очередь зависят от ряда сопутствующих факторов. Обычно, анодной поляризацией пористые оксиды металлов получают в три этапа. Первый этап включает получение однородной плотной оксидной пленки. На графике процесса гальваностатического режима, данный этап синтеза характеризуется ростом потенциала. Второй этап включает локальное травление сформировавшегося оксида, т.е. наблюдается зарождение пор. Второй этап протекает падением потенциала в гальваностатическом ростом плотности тока в потенциостатическом режиме [16]. После железа, алюминия и магния титан занимает четвертое место по распространенности в недрах земли. Его температура плавления равна 1668°C , которая расценивается как высокая, а плотность 4510 кг/м^3 . Он существует в двух полиморфных модификациях – низкотемпературной до 882°C или Ti- α модификация с плотноупакованной гексогональной решеткой и периодами $a = 0,296 \text{ нм}$, $c = 0,472 \text{ нм}$; высокотемпературной или Ti- β модификацией с кубической объемно-центрированной решеткой и периодом $a = 0,332 \text{ нм}$ [16]. Чаще всего титан добывают магниетермическим способом, а его производство состоит из несколько стадий.

Первая стадия заключается в обогащении титановых руд с последующей выплавкой его шлака и получении четыреххлористого титана, который с помощью магния восстанавливают до формирования металла в специальных реакторах при температуре $(950-1000)^{\circ}\text{C}$ [16]. Обычно образовавшиеся твер-

дые частицы титана спекаются, который называется титановой губкой, а из реактора удаляется хлорид магния в жидком состоянии. Чтобы избавиться от примесей и не образовать оксид металла, титановую губку в среде вакуума розогревают до температуры 950°C. Для устранения дефектов у титана, полученного данным способом его еще раз переплавляют, после чего его чистота достигает 99,7% [16]. Получают и чистый металл и технический титан, маркировку которого проводят в зависимости от примесей. Например, титан марки ВТ1-00 имеет менее 0,10 % примесей, а ВТ1-0 – менее 0,30 %. Технический титан хорошо поддается обработке давлением. Для повышения качеств титана нередко используют легирующие добавки, которые, учитывая их влияния на полиморфные модификации титана, разделяют на α -стабилизаторы, β -стабилизаторы и нейтральные элементы. К первой категории относят элементы, способствующие росту температуры полиморфного α - β – перехода и, соответственно, увеличивающие область применения твердых растворов, основанных на титане α -формы, например, Al, O, N. Однако больше всего для легирования применяют Al, поскольку кислород и азот повышают хрупкость титана. К тому же алюминий в сплаве с титаном уменьшает плотность, водородную хрупкость, а также при обычных и высоких температурах повышает его модуль упругости и предел прочности полученного сплава [16].

Внедрение в титан β -стабилизаторов (Mo, Cr, V, Mn), значительно увеличивает область применения твердых растворов, основанных на β -форме титана, поскольку способствуют снижению температуры полиморфного α - β – перехода. Чаще всего эти добавки увеличивают прочность, жаропрочность, и термическую стабильность, но понижают его пластичность [16].

Нейтральные элементы, которые применяют для легирования не оказывают сильного влияния на температуру полиморфного α - β – перехода не меняя их фазовый состав (сплавы на основе титана). Подобные добавки применяют в случае, когда необходимо изменить свойства титана не влияя на фазовый состав при помощи изменения свойств α - и β - фаз сплава, с которы-

ми формируют твердые растворы. Чаще всего для этих целей применяют Sn, Zr, Hf, Th, среди которых наибольшее предпочтение отдают сплавам с добавками олова и циркония. Примеси также влияют на свойства титановых сплавов (кислород, азот, углерод, водород) [16]. Однако, несмотря на то, что они повышают твердость, пределы прочности и текучести титана, из-за их присутствия ухудшается свариваемость, штампуемость и коррозионную стойкость металла, в связи, с чем их наличие в составе сплава ограничивают до сотых, а иногда и до тысячных долей процента [16].

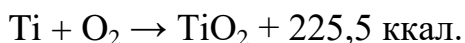
Наименьшим образом на свойства сплавов на основе титана оказывают влияние железо и кремний, которые также с титаном образуют твердые растворы замещения. Для повышения качества титановых сплавов его подвергают отжигу, старению, закалке и множества другим химико-термическим обработкам. Чтобы повысить срок эксплуатации изделий из титана и его сплавов, обычно используют процесс азотирования, который выполняется в среде сухого азота, который освобожден от кислорода. Данный метод применяется для придания хрупкости материалу. Процесс проводят при температуре 850-950°C, длительностью от 10 до 50 часов.

1.2. Диоксид титана.

Наибольшее применение в промышленности и технологиях приобрел диоксид титана (TiO_2). Диоксид титана (с эффектом “памяти форм”) относится к группе амфотерных оксидов с более ярко выраженным основным характером. Анатаз, рутил и брукит представляют собой основные кристаллические модификации диоксида титана, которые в природе встречаются в виде соответствующих минералов [16].

Очищенный или синтетический диоксид титана получают в виде белого порошка, который при нагревании становится желтоватым [16].

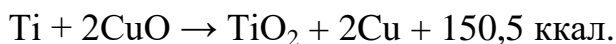
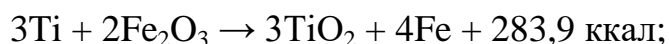
Получение титана также выполняется в системе титан–кислород. В реальных условиях двуокись титана можно получить путем сжигания тонко измельченного либо расплавленного титана при избытке чистого кислорода, процесс которого можно описать следующим образом:



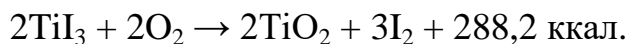
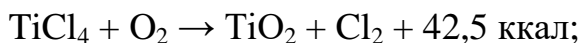
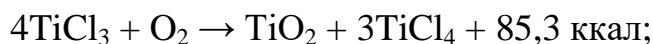
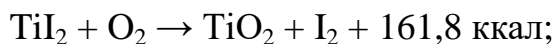
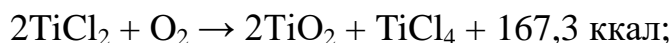
Синтезированный диоксида титана также можно получить путем нагрева монооксидов или полтора оксидов титана на воздухе, которые можно описать [16]:



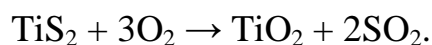
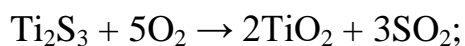
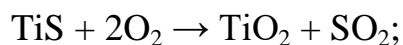
Двуокись титана также можно получить взаимодействия порошкообразного титана с оксидами различных металлов, для чего необходимо лишь подвести то количество теплоты, которое необходимо для образования этих оксидов, например [16]:



Также оксид титана получают из его солей при воздействии на него кислорода, например [16]:



По результатам обжига сульфидов титана, также можно получить его диоксид:



Анализ и рутил являются устойчивыми, а брукит неустойчивой формой диоксида титана. В основном синтезируют две модификации диоксида титана - анатаз или рутил. В природе же существует лишь брукит. Термодинамически устойчивой модификацией диоксида титана является рутил [16].

1.3. Гидротермальные методы синтеза

В процессе гидротермального синтеза оксида титана применяют разного рода автоклавы с покрытиями, такими как тефлон. Процесс проводится в водных растворах при высоких температурах и давлениях. Температура внутри автоклава может превышать температуру кипения воды, это достигается увеличением давления насыщенных паров над раствором, а его регулирование с помощью реакционного автоклава и температурой проведения реакции.

Гидротермальный метод с целью получения частиц диоксида титана главным образом применяют в керамической промышленности, с помощью которого получают частицы разной степени дисперсности, включая и наночастицы [17].

Данный метод включает гидротермальную обработку с помощью воды активированных осадков прекурсоров титана, которые в свою очередь активизируют путем добавления различных пептизаторов. Полученный данным способом оксид титана фильтруют, обрабатывают при высоких температурах и просушивают. Чтобы получить частицы необходимой дисперсии, можно воспользоваться несколькими способами: установив температуру, исходные компоненты реакционной смеси и их концентрацию либо природу пептизатора. Данный способ синтеза диоксида титана дает возможность получить частицы кристаллов с узким кругом распределения по размерам [17]. Синте-

зирование диоксида титана также можно проводить сольватотермическим методом, который аналогичен гиротермальному, однако вместо воды другие жидкости. Данным методом температура синтеза превышает 100°C . Последнее получают применением тех органических жидкостей, температура которых превышает температуру их кипения.

1.4. Промышленный синтез диоксида титана

В промышленных условиях диоксид титана получают двумя способами: сульфатный и хлоридный. В целом методы одинаковы. В обоих методах сырьем служит или рутил, или ильменитовый концентрат.

На первом этапе синтезирования с помощью концентрированной серной кислоты растворяют руду и после охлаждения разбавляют до требуемой концентрации. Затем раствор очищают от примесей, а именно от катионов железа.

Для этих целей трехвалентное железо восстанавливают до двухвалентного, а затем с помощью центрифуги отделяют его в качестве кристаллов сульфата железа. Очищенный раствор сульфат титанила (TiOSO_4) гидролизуют с помощью гидроксида натрия, после чего образуется хлопьевидный гидратированный диоксид титана. Затем полученный продукт отделяют от поверхностных примесных соединений, просушивают и в барабанных печах вращающегося типа отжигают при температуре $200\text{...}900^{\circ}\text{C}$. Чтобы получить диоксид титана требуемой модификации, в процессе отжига вводят зародыши TiO_2 в соответствующей модификации [18, 38].

Основными величинами термодинамических характеристик, с помощью которых оценивают поведение веществ является критическая точка (жидкость) и критические линии (бинарные смеси) [19].

Главной целью преследуемой авторами [19] являлась установления влияния нанодобавок на смещение критической точки линии равновесия жидкость – пар рассматриваемых веществ [19]. Для своих работ в опытах они использовали диоксид углерода и диоксид титана в качестве добавок использо-

вали нанотрубки, фуллерены, хлопья графена, а также оксиды металлов (титан, кремний, цинк и медь) [19].

В качестве базовой жидкости чаще всего применяют воду, органические жидкости (этилен, триэтиленгликоли, хладагенты), масла и смазки, биофлюиды, растворы полимеров и др. Добавками, в основном служат наночастицы стабильных металлов (золото, медь), оксиды металлов (алюминий, цирконий, титан), керамические оксиды (Al_2O_3 , CuO), металлические карбиды (SiC), металлические нитриды (AlN , SiN), углероды различных форм (алмазы, графиты, углеродные нанотрубки, фуллерены) и материалы с функциональными свойствами [20].

Для контрольных измерений и соответствующего тестирования методик исследования термодинамических характеристик в качестве эталонов были использованы CO_2 с добавлением углеродных нанотрубок, фуллеренов, хлопьев графена, а также диоксид титана, оксид цинка и оксид меди [20].

Устойчивые к ультрафиолетовому излучению материалы были изготовлены на базе частиц оксида титана (анатаз) размерами 10–25 нм, применяемые в изготовлении самоочищающихся стекол и в керамике, в получении антибактериальных средств, очистке сточных вод, в химической промышленности и т.д. [20].

Расчет плотности нанофлюида ρ_{nf} осуществляется путем линейного соотношения между объемной концентрацией наночастиц ϕ их плотностью (таблица 1) и плотностью основной жидкости ρ_{rf} :

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{rf} + \phi\rho_p \quad (1.1)$$

Для нанофлюидов с помощью порядка, приведенного в [21] производится расчет параметров критической точки. Для определения P – ρ – T поверхностей около критической точки авторы [22,23] в своих исследованиях воспользовались уравнением состояния, разработанным для базовых жидкостей, с целью установления критических индексов в степенном законе:

$$\frac{\rho}{\rho_c} - 1 = N_1 \left(1 - \frac{T}{T_c}\right) \pm N_2 \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^\beta \quad (1.2)$$

Индекс « σ » в выражении (1.2) соответствует параметрам на линии насыщения, N_1 , N_2 и β – параметры, восстанавливаемые по соответственным параметрам на линии насыщения.

При использовании данного уравнения авторы исходили из убеждения, что оно основано на принципе изоморфизма и является универсальным в плане его применения и для чистого вещества, и для нанофлюида. Для выполнения соответствующего расчета параметры плотности и температуры на линии насыщения были приняты вблизи критической области.

1.5. Моделирование параметров критической точки и обсуждение результатов.

Было установлено, что результаты вычислений при помощи (1.2) соответствуют данным работы [23]. Критические параметры для диоксида углерода соответствуют $T_c=304,13$ К, $P_c=7,39$ МПа и $\rho_c=467,67$ кг/м³.

В таблице 1.1 представлены итоги перемещения критической температуры и плотности образцов (углекислый газ + наночастицы производных графенового ряда), а в таблице 1.2 для систем с нанодобавками из оксидов металлов.

Так, при добавлении УНТ (углеродные нанотрубки) до 5% в углекислый газ, приводит к смещению его критической температуры на 0,1К в сторону увеличения, которая соответствует 304,23К, а критическая плотность смещается с 467,67 кг/м³ до 490,3кг/м³. Вместо УНТ добавление фуллеренов до 5% в углекислый газ приводит к смещению критических параметров таким образом: для температуры с 0,13 К до 304,26 К, для плотности с 33,2 кг/м³ до 500,87 кг/м³.

Таблица 1.1. Критическая температура и плотность систем CO₂ с углеродными нанотрубками, фуллеренами, графеном.

		φ=5 %	
Наночастицы	Усредненная плотность, кг/м ³	ΔT, К	Δρ, кг/м ³
Углеродные нанотрубки	1330	0,1	22,6
Фуллерены	1650	0,13	33,2
Графин	2230	0,2	55,7

При введении наночастиц графена в углекислый газ его критическая температуры смещается на 0,2К, а критическая плотность на 55,7 кг/м³.

Таблица 1.2. Критическая температура и плотность систем CO₂ с SiO₂, TiO₂, ZnO, CuO.

		φ=5 %	
Наночастицы	Усредненная плотность, кг/м ³	ΔT, К	Δρ, кг/м ³
SiO ₂	2400	0,2	58,03
TiO ₂	3900	0,38	107,1
ZnO	5606	0,6	162,03
CuO	6400	0,7	187,4

При добавлении диоксида титана в виде наночастиц до 5% в углекислый газ смещаются критическая температура (на 0,38К) и критическая плотность (на 107кг/м³), соответствующие T=304,51К и ρ=574,76кг/м³. Если же вместо диоксида титана добавить частицы CuO данное смещение будет составлять T=0,71К и ρ=187,4кг/м³, а при добавлении в углекислый газ наночастиц SiO₂ смещение соответствует T=0,2К и ρ=525,7 кг/м³. Как показывают результаты, добавление наночастиц в базовую жидкость приводит к смещению критической точки в сторону увеличения (незначительно) [22,23].

1.6. Диоксид титана: структура, физические и химические свойства, применение

Титан входит в IV В группу Периодической системы элементов. Валентная электронная конфигурация титана $3d^24s^2$. Основные степени его окисления +4 и +3. Оксид четырехвалентного титана является амфотерным. Известно его несколько кристаллических модификаций. Стехиометрия материала тоже сильно зависит от структуры материала, которая на наноуровне наиболее выражена [24]. Он обладает большой химической фотокаталитической активностью [25]. Диоксид титана является представителем класса полупроводников, ширина запрещенной зоны у которого составляет около 3–3,3эВ [26], а в виде наночастиц в среднем 3,3 –3,5эВ. Он является поглотителем ультрафиолетового излучения волн длиной более 330 нм [27] и является прозрачным в видимой области спектра [28]. В соответствии [29] диоксид титана в наноразмерном состоянии обладает люминесценцией, зависящей от существующих в октаэдрической структуре TiO_6 свободных экситонов, а также вакансий кислорода. Если рассматривать диоксид титана в чистом виде, то он является бесцветным твердокристаллическим веществом, однако в большом количестве он является эффективным белым пигментом. Он практически не поглощает свет в видимой области спектра, т.е. либо передает, либо преломляет, либо отражает его на поверхностях [29]. В качестве пигмента чаще всего применяется рутил. У него наивысший коэффициент отражения. Также рутил атмосферостойкий и термодинамически наиболее стабильный материал. Он сохраняет свою структуру вплоть до температуры плавления, поэтому чаще всего его используют в производстве керамики [29]. Под влиянием солнечного света он может привести к разложению органических веществ на углекислый газ и воду.

Гидратированный диоксид $TiO_2 \cdot nH_2O$ (гидроксид титана (IV), оксогидрат титана, оксогидроксид титана), исходя из условий его получения может иметь отличительное друг от друга количества гидроксильных групп с титаном, структурную воду, кислотные остатки и адсорбированные катионы.

Свежеосажденный $\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, приготовленный в холодных условиях, способен растворяться в разбавленных минеральных и сильных органических кислотах, однако практически не способен растворяться в щелочных растворах. При пептизации склонен образовывать устойчивый коллоид. После просушивания из него получают белый объемистый порошок плотностью 2600 кг/м^3 , который по составу близок к формуле $\text{TiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ортотитановая кислота). В результате продолжительной сушки в атмосфере вакуума по своему составу он приближается к формуле $\text{TiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (метатитановая кислота). Подобный осадок образуется в результате осаждения горячих растворов, при взаимодействии металлического титана с HNO_3 с плотностью более $\sim 3200 \text{ кг/м}^3$. В разбавленных кислотах не склонны к растворению и пептизации [30]. В результате старения осадка $\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ формируется безводный диоксид. В результате кипячения с водой полученной суспензии процесс старения приобретает еще большую скорость. Структура стареющего TiO_2 обусловлен процессами осаждения. Так, например, если проводить осаждение аммиаком из солянокислых растворов (кроме сульфатных растворов) при pH меньше 2 получается структура рутила, при pH от 2 до 5 – со структурой анатаза, а из щелочной среды – рентгеноаморфные [31].

Graphics

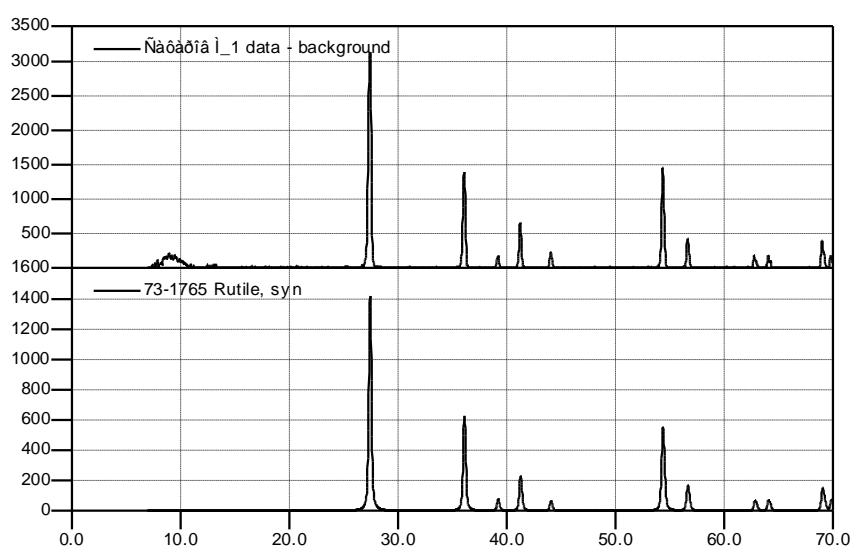


Рисунок 1.2. This is the end of the template file (Физико-технический институт имени С.У.Умарова НАНТ).

Другое свойство наночастиц TiO_2 , которое привлекательно для производства это его уникальные оптические свойства. Например, его применяют в отражающих покрытиях [32]. Тонкие пленки из TiO_2 и его композитов применяются в изготовлении просветляющих покрытий [33] и элементов электроники [34], а также в качестве покрытий в солнечных установках [35]. Учитывая уникальные свойства диоксида титана и масштабы его использования весьма перспективным является разработка способов и методов получения наноразмерного TiO_2 и его композитов, а также исследование их свойств. Ниже приводятся результаты определения структур и состава наноразмерного диоксида титана, которые проведены в лаборатории Физико-технического института имени С.У.Умарова НАНТ.

1.6.1. Метод анализа (АЭСА) - метод элементного анализа

Чтобы, выяснить количество металлов в стружках нами был использован метод элементного анализа (АЭСА), суть которого заключается в изучении спектров испускания свободных атомов и ионов в газовой фазе в области длин волн 150-800 нм. Принцип его работы заключается в том, что каждый атом химического элемента обладает своей резонансной частотой, на которых они излучают или поглощают свет, в результате чего в спектрографе на спектрах высвечиваются линии свойственные каждому веществу, а их интенсивность зависит от количества данного вещества. В количественном спектральном анализе определяют содержание исследуемого вещества по относительной или абсолютной интенсивностям линий или полос в спектрах.

Атомные спектры (поглощения или испускания) образуются в результате перевода вещества в пар за счет его нагревания до 1000 - 10000°C. В эмиссионном анализе токопроводящих материалов в качестве возбудителя для атомов используют искру, дугу переменного тока, для чего образец размещают в кратер одного из угольных электродов. Аппаратура, источник возбуждения и способ получения спектра нижеследующий: Спектрограф - ДФС 452; Источник возбуждения спектра ИВС 28 – дуга переменного тока 10А;

Электроды – угольные с диаметром 2,6мм, канал диаметром 1,4мм и глубиной 8мм; Продолжительность испарения – 2 мин. до полного испарения пробы; Регистрация спектров – Многоканальный оптический, регистрация спектров МОРС-9. Результаты анализа нанопорошка диоксида титана показан на рисунках 1.3- 1.7.

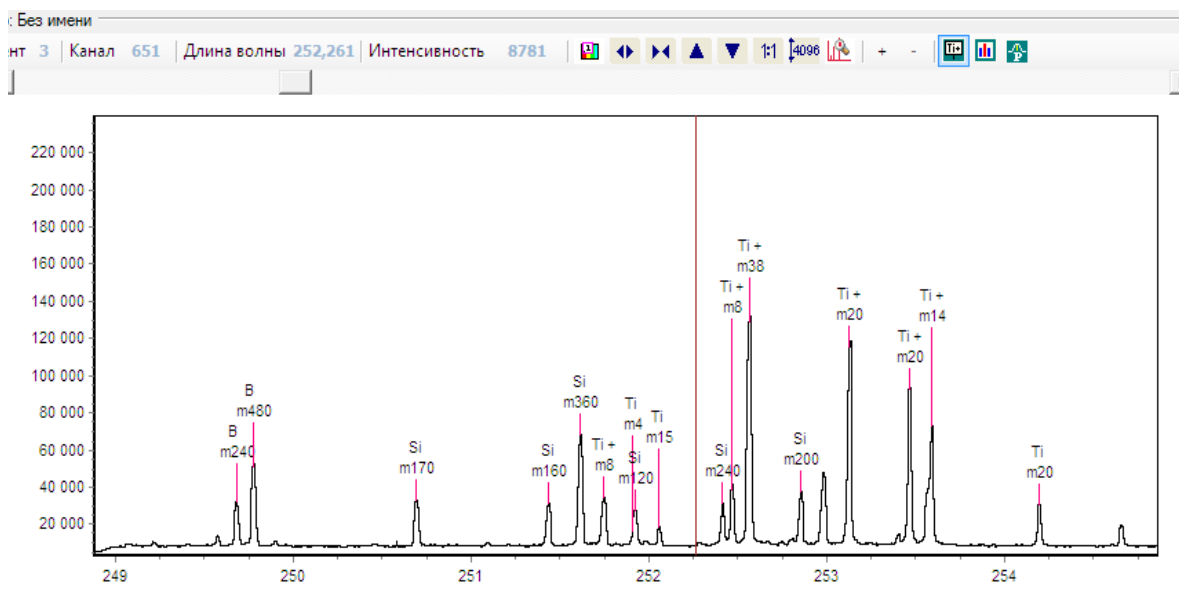


Рисунок 1.3. Зависимость интенсивности от длины волн, поглощающих нанопорошком системы диоксида титана.

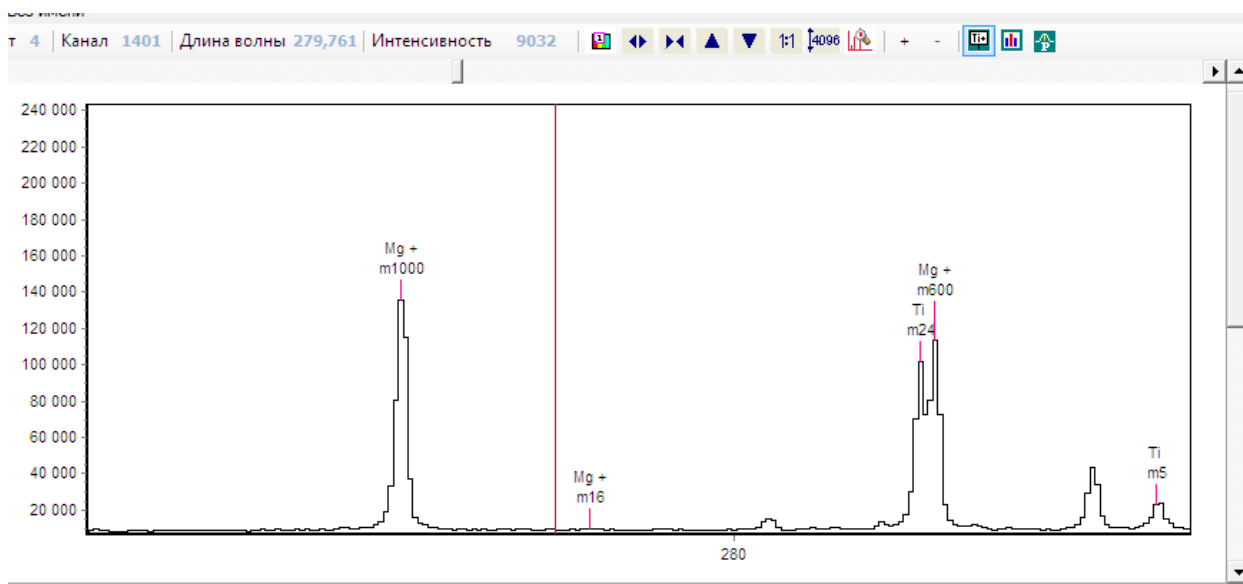


Рисунок 1.4. Зависимость интенсивности от длины волн, поглощающих нанопорошком системы диоксида титана.

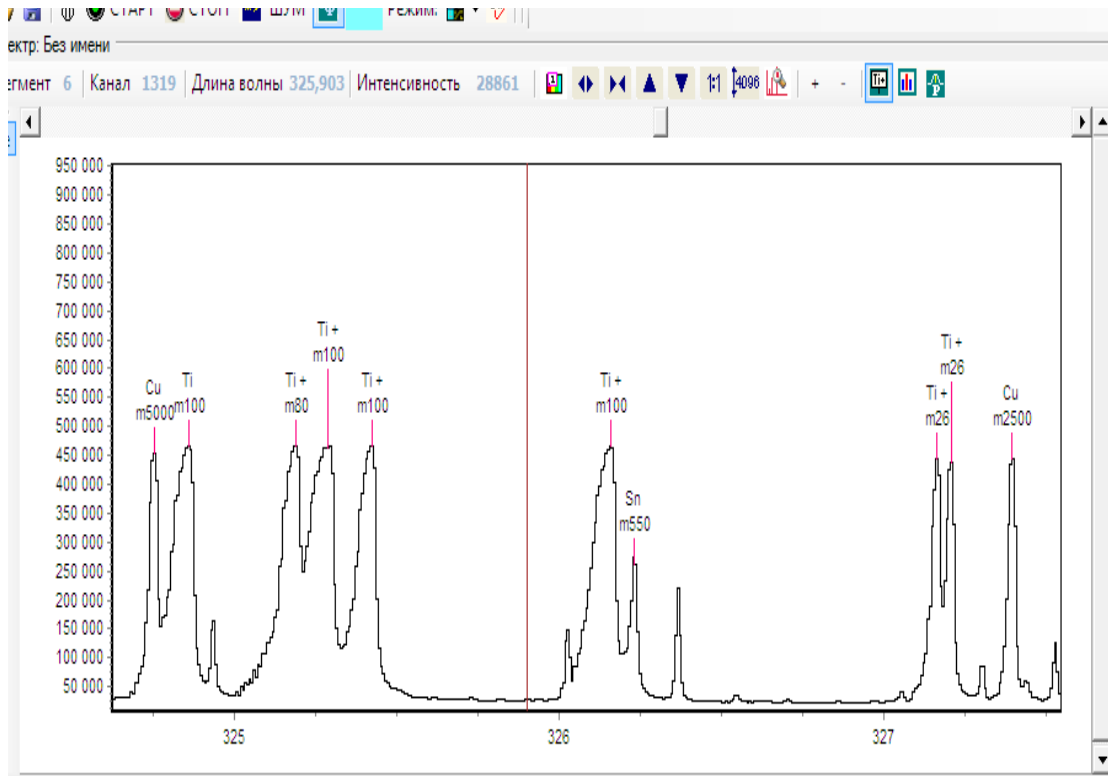


Рисунок 1.5. Зависимость интенсивности от длины волн, поглощающих нанопорошком системы диоксида титана.

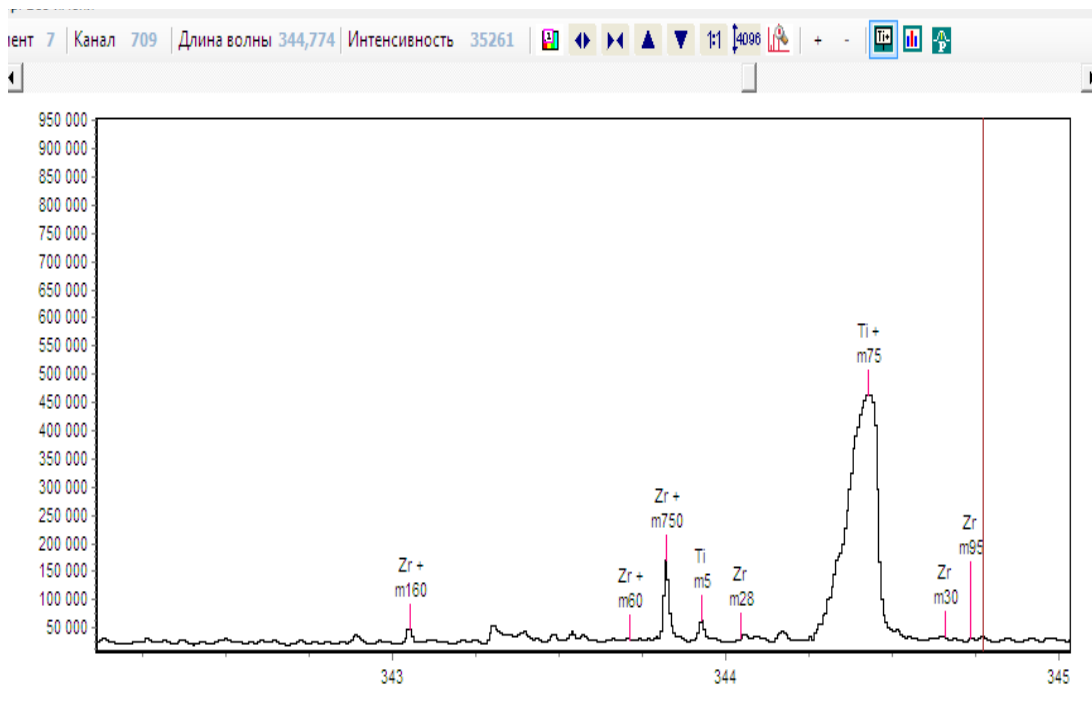


Рисунок 1.6. Зависимость интенсивности от длины волн, поглощающих нанопорошком системы диоксида титана.

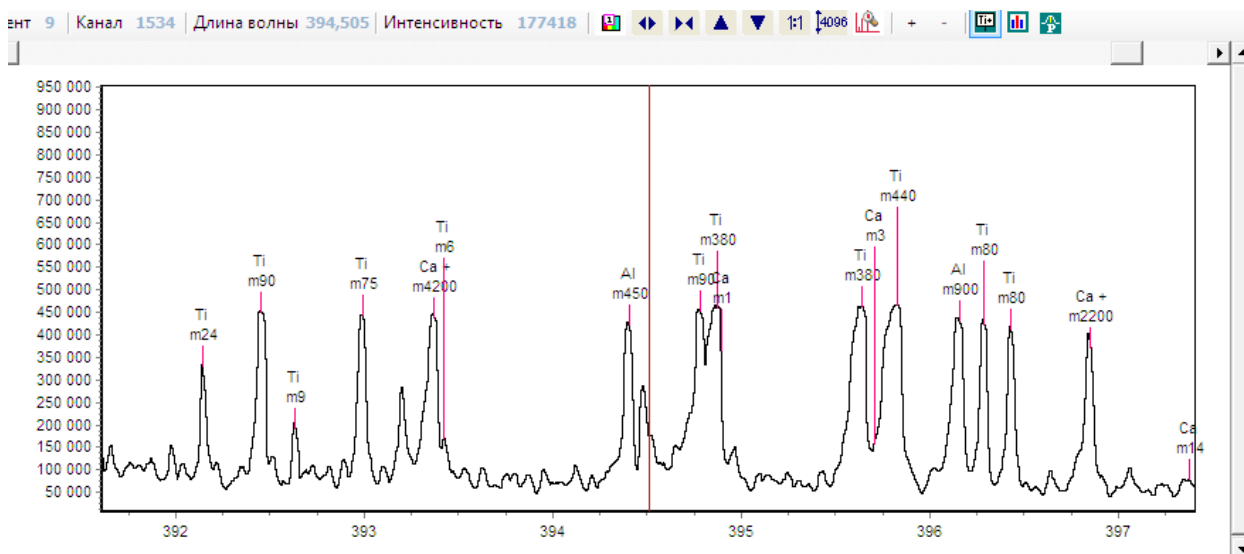


Рисунок 1.7. Зависимость интенсивности от длины волн, поглощающих нанопорошком системы диоксида титана.

1.7. Синтез и исследование нанопорошка диоксида титана

1.7.1. Разработка способа получения нанопорошка с использованием золь-гель технологии

Диоксида титана в состоянии нанопорошка получают разными способами [58, 39-43]. Однако, несмотря на промышленные масштабы производства нанопорошка, об однородности каждой из выпускаемых партий гарантий пока нет.

Известно [44], что физико-химические свойства порошков диоксида титана, в качестве каталитически высокоактивного вещества, в большей степени зависят от условий, в которых он был произведен. В силу сказанного работа во многом посвящена разработке способа его получения, для чего был выбран золь-гель метод. Методика предлагает высокую вариативность и в отношении размеров и в отношении применяемых реагентов. К тому же порошок данным методом получают высокой степени чистоты. Другими исследователями [45,46] было установлено существенное влияние полимерных добавок в получении нанопорошков, т.е. их природа и количество. Предло-

жено использование водного раствора природного полисахарида агар-агара, а для осаждения водно-спиртового раствора соли диоксида циркония [47].

В работе рассмотрены результаты исследований физико-химических, механических свойств нового пеностекла кристаллического строительного материала, которые проявляются в результате применения добавок на ноструктурных оксидов $ZrO_2 \cdot TiO_2$ [48]. Показано, что наибольшего эффекта можно добиться, используя самые малые дозы. Эффект позволяет целенаправленно управлять производством многофункциональных строительных материалов нового поколения. Достигнуть высоких результатов возможно путем построения и регулировки структуры материала на разных структурных уровнях. Согласно данным добавление в пределах 1 % происходит резкое изменение кривой нагружения. Величина временного сопротивления растет, участок псевдопластического течения уменьшается. Согласно (табл. 1.3), где приведены и другие свойства, теплопроводность и влагопоглощение при небольшом количестве добавки порошка диоксида титана существенно изменяются. Дальнейший рост концентрации диоксида титана приводит к снижению прочностных характеристик. Это связано со структурой материала.

Из таблицы 1.3 видно, что в ПСКМ с добавлением небольшого количества диоксида титана образуются нанокластеры, размеры которых достигают не более 10 нм.

Распределение пор по размерам при (0,5–1,0) % TiO_2 бимодально [49,50].

Таблица 1.3. Химические и физико-механические характеристики пеностекла

№ образца	Количество концентрата TiO_2 , масс. %	Модуль вязкости	Средняя плотность, $кг/м^3$	Прочность при сжатии, МПа	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Водопоглощение, масс. %
1	0	1,70	180	0,9	0,08	2,7
2	0,5	1,68	180	1,8	0,07	2,5
3	1,0	1,67	176	1,6	0,07	2,4

4	3,0	1,60	173	0,8	0,06	2,3
5	5,0	1,53	170	0,7	0,06	2,7
6	6,0	1,44	168	0,6	0,06	2,9

1.8. Методы синтеза диоксида титана

Самоорганизованная мембрана, состоящая из нанотрубок титана была получена с помощью электромеханического метода анодирования фольги, изготовленной из высокочистого титана, в этиленгликоле с содержанием фтора [51]. Согласно предписаниям авторов работы данный процесс проводился при комнатной температуре, для чего в качестве контурного электрода была использована платиновая фольга при постоянном потенциале 60 В. Мембрана требуемой толщины была получена в результате изменения времени выдержки (например, мембрана толщиной 135 мкм образуется за 60 часов). Для отделения мембраны от титановой подложки, ее испаряли путем погружения в метанол. Данным методом диаметр пор, толщина стенок и длина нанотрубок TiO_2 достигал 90 нм, 15 нм и 135 мкм, соответственно.

Аэрозоль-гель метод является еще одним методом получения мезопористых наночастиц диоксида титана [52]. Метод был апробирован следующим образом: сперва отдельно был приготовлен раствор хлорида натрия в 90мл дистиллированной воды и отдельно тетрабутоксид титана (17,15 мл) с этанолом (72,85мл). Затем отдельно приготовленные растворы соединялись под воздействием ультразвука на протяжении 1 часа. Затем полученный прекурсор переводили в аэрозоль, для чего его сушили при температуре 25°C, а затем при 500°C формировались наноструктурированные частицы $\text{TiO}_2\text{-NaCl}$. Хлорид натрия в данном случае выступал в роли тем плата. Полученный материал (наночастицы композита $\text{TiO}_2\text{-NaCl}$), отобранный в мембранном фильтре с порами в 200 нм, дважды промывали деионизированной водой с применением центрифуги на протяжении 10 минут (3600 об/мин) для полного удаления натрия хлора.

Нанопорошок и нанопленка диоксида титана повышенной чистоты был получен с помощью золь-гель методом [53]. Данный способ подразумевает смешивание тетрабутоксид титана (1 ммоль) с пропионовой кислотой (1 ммоль) на протяжении 3 часов при $T=25^{\circ}\text{C}$. Часть полученного раствора отбиралась для приготовления порошка диоксида титана, путем его выдержки на протяжении одного часа при температуре 450°C . В результате термообработки был получен диоксид титана (анатаз), с размерами кристаллитов в среднем 17нм, а частиц от 5 до 33мкм. Остаток полученного раствора наносили на подложки ИТО (25x25мм) методом spincoating (время 60с, скорость вращения 2000 об/мин), которую выдерживали на воздухе при температуре 450°C на протяжении 2-х часов. Предложенным способом получали образец толщиной $72,33\pm 20\text{нм}$ и средним размером кристаллитов 11 нм.

Мезопористые игольчатые частицы диоксида титана в наносостоянии со структурой рутила [54] были получены при комнатной температуре путем применения обратной микроэмульсии и золь-гель метода. Для получения соответствующего раствора в виде масляной фазы был выбран циклогексан, а вместо поверхностно-активных веществ был применен Triton X-100 [полиоксиэтилен (10) октилфениловый эфир] (66г) в качестве поверхностно-активного вещества (ПАВ). В качестве вторичного (ПАВ) был использован н-гексанол (33г), вода (40 мл) и соляная кислота (5мл, 37%). Полученная таким образом микроэмульсия на протяжении 10 минут перемешивалась. Температура, при которой проводилось перемешивание составляла 25°C , а сам процесс проводился до получения оптически прозрачной обратной микроэмульсии. Затем в процессе перемешивания медленно в раствор вводился изопропоксид титана, в результате чего частично происходил его гидролиз с последующей конденсацией в водяных каплях. Дальнейшее перемешивание раствора выполнялось на протяжении 24 часов, после чего его центрифугировали, промывали этанолом, ацетоном и деионизированной водой, только после этого подвергали сушке (110°C , 12 часов). Согласно ПЭМ, диаметр образовавшихся частиц составлял (20-25)нм, а длина более 100 нм. Удельная пло-

щадь поверхности $135 \text{ м}^2/\text{г}$, а средний размер пор – 10 нм. Также был выполнен синтез диоксида титана одномерной структуры [55], наностержни, игольчатые и гладкие микросферы при помощи гидротермального метода [56].

Кристаллические фазы с железом в составе на рентгенограммах отсутствуют. Авторы считают, что это зависит от малой концентрации. Зольгель методом также были синтезированы волокна диоксида титана длиной в несколько метров с непрерывной структурой [57] и толщиной около 30 мкм. Методом предусмотрено приготовление раствора из тетрабутоксититана в этаноле (мольное соотношение 1:3). Приготовленный раствор по каплям и очень медленно вводился в раствор соляной кислоты (6 моль/л) в воде и абсолютном этаноле и затем на протяжении 2 часов на масляной бане разогревался до $(110-140)^\circ\text{C}$. Полученный золь использовался для вытягивания волокон при продувании азота, а процесс кристаллизации волокон проводился при 500°C на протяжении 1,5 часов. Наилучше всего волокна получают из золя с соотношением $n(\text{TiO}_2):n(\text{H}_2\text{O}) \leq 2$, которые обладали кристаллической решеткой анатаза и рутила со слоистой структурой и средним размером около 30 нм, а наружный слой был плотнее, чем в объеме. Его фотокаталитическая активность была повышена путем допирования с применением олова [58]. Источником титана выступал тетрабутоксититан, а олова – 2-этилгексаноат олова (II), в качестве растворителя был применен изопропанол, ингибитором гидролиза служила муравьиная кислота. Затем после перемешивания на протяжении 2-х часов прогревали до 400°C . При подобном способе термической обработки чистый диоксид титана, без введения олова, кристаллизовался в виде смеси кристаллических фаз анатаза и брукита. Согласно утверждениям авторов работы олово улучшало фотокаталитическую способность полученного материала, поскольку оно способствует уменьшению кристаллической фазы брукита в смеси. Гидротермальный способ синтеза диоксида титана позволило получить его в виде порошка [59]. Гидротермическим методом предусмотрено покапельное введение раствора изопропок-

сида титана с этанолом в соляную концентрированную кислоту, после чего полученное вещество разбавляется водой. Весь процесс проводился при интенсивном перемешивании на протяжении 30 минут. Затем полученное вещество размещается в автоклав и после герметизации на протяжении суток нагревается до 100 и 120°C. В результате был получен диоксид титана в качестве смеси кристаллических фаз анатаза и брукита (100°C, за сутки) и чистой фазы анатаза (120°C, за сутки) с размером 6,2 нм. Методом осаждения при 0°C в смесь соляной кислоты с мочевиной по капельно путем перемешивания добавляли раствор тетрабутоксид титана с этанолом. Перемешивание смеси выполнялось на протяжении 4-х часов, после чего при температуре 25°C оставляли на две недели. По результатам ПЭМ было установлено, что сформировавшийся диоксид титана рутильной структуры с размером частиц 9,2 нм. Методом БЭТ было установлено, удельная площадь поверхности полученного диоксида титана со структурой анатаза составлял 140,74 м²/г, объемом 0,237 см³/г и диаметром пор 183,3 нм. Однако для диоксида титана рутильной структуры эти параметры уменьшаются - 60,621 м²/г, 0,122 см³/г и 146,7 нм. Авторами [60] был выдвинут способ допирования диоксида титана азотом и углеродом, для чего карбид титана окисляли (0,7 г.) в 5М водном растворе азотной кислоты (8 мл) при T=70°C длительностью в один час. После завершения реакции полученный осадок отбирали, промывали этанолом и деионизированной водой, просушивали при 70°C на протяжении 8 часов и после того на протяжении получаса нагревали до 200°C на воздухе. На первом этапе образовывались сферические частицы TiO₂ со структурой анатаза, рост которых доходил до 150 нм, затем протекала агрегация с формированием пористых, нерегулярных структур. По результатам рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии было установлено, что диоксид титана имеет атомы азота и углерода с многочисленными связями.

При изготовлении элементов солнечных установок и устройств на основе веществ со структурой перовскита для получения компактных слоёв диоксида титана используют разные методы его синтеза [63]. Авторы [62]

предложили другой вариант производства блокирующего слоя диоксида титана толщиной около 60 нм на очищенном стекле FTO ($\text{SnO}_2:\text{F}$). Методом spincoating (2000 об/мин) проводилось нанесение раствора 0,15М диизопропоксида бис (ацетилацетоната) титана (IV) в н-бутаноле, затем она нагревалась до 125°C длительностью в 5 минут. Пленку отсужали и процесс повторяли еще 2 раза с 0,3М с помощью раствора прекурсора, после чего подвергалась кристаллизации (450°C, длительностью в 15 минут). Также авторы [62] в своей работе представили методику синтезирования субмикросфер данного материала. С этой целью в этанольный раствор с деионизированной водой и йодидом калия вводился изопропоксид титана. После 16 часового постоянного перемешивания сформировавшееся твердое вещество подвергалось центрифуге и двукратному промыванию этанолом, чтобы не вступившие в реакцию вещества. Затем выполнялось дополнительное диспергирование в растворе этанола с водой, в котором содержался раствор аммиака. Полученную суспензию на протяжении часа перемешивали, в автоклаве после герметизации на протяжении 16 часов разогревали при 160°C до полной кристаллизации диоксида титана. Полученный твердый материал подвергали трехкратному промыванию этанолом, в результате чего был получен порошок из субмикросфер TiO_2 , в который подмешивали этилцеллюлозу и α -терпинеол, чтобы получить пасту.

Низкотемпературная плазма имеет большие перспективы для получения наноматериалов и повышения эффективности их получения. В [63-67] она используется для создания углеродных, германиевых, кремниевых нанотрубок, наноалмазов, фуллеренов. В [68,69] для создания нанопродуктов использована плазма с наложением внешнего магнитного поля, в [70] исследованы микроаряды, создаваемые в жидких углеводородах для проведения плазмохимических процессов, в [71] проведены исследования разряда с жидким катодом. Очень важное значение имеют теоретические моделирования плазмы, проведенные, например, в [72,73]. Для производства наноматериалов может применяться как равновесная плазма дугового разряда, так и сильно-

неравновесная плазма тлеющего разряда. Сильная неравновесность плазмы тлеющего разряда открывает новые перспективы ее использования в производстве наноматериалов и в плазмохимических процессах. Часто при этом возникает необходимость поддержания устойчивого объемного тлеющего разряда [74-76]. Одним из способов стабилизации разряда является прокачка газа через разрядную область [77].

В данной работе рассматриваются характеристики положительного столба продольного тлеющего разряда с несимметричным дополнительным вдувом газа через боковую стенку. Расчетами по предложенным выражениям было установлено, что увеличение вдува газа (т.е. с увеличением параметра kB) приводит к смещению максимума степени ионизации газа к противоположной стенке разрядной камеры [78,79]. Таким образом, поперечно-продольный поток способствует регулировать распределение основных характеристик разряда в пространстве. Поперечный поток способствует сдвигу разряда к противоположной стенке, что является одним из главных моментов при разработке технологических процессов плазменной обработки, а также проведения очистки деталей с их размещением на этой стенке.

1.9. Толуол и о-ксилол (1,5- метилбензол)

Теплофизические характеристики толуола и о-ксилола были исследованы различными авторами и в различное время. Ниже приводятся некоторые из них. Авторами для определения теплофизических свойств были использованы различные методы, существующие в тот период времени.

Сравнительный анализ данных по теплопроводности жидкого толуола с данными [80] при $T=290\div 544,8\text{K}$ и давлении $P=0,101\div 49,1\text{МПа}$ в виде графика представлен на рисунке 1.8.

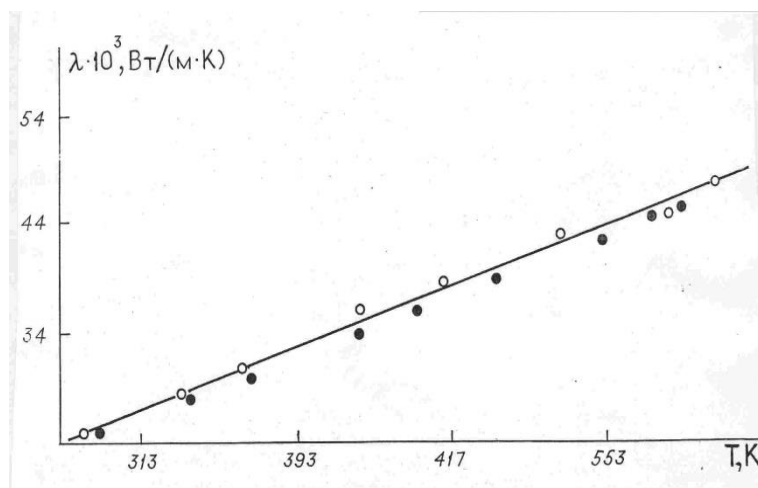


Рисунок 1.8. Сравнение экспериментальных значений теплопроводности воздуха с данными [80,81]: о – данные [80,81]; ● - наши данные.

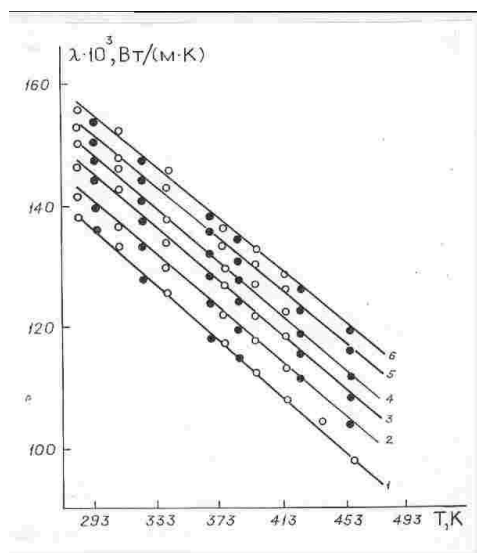


Рисунок 1.9. Сравнение экспериментальных значений теплопроводности толуола при различных температурах и давлениях с данными [122,130]; о – данные [80,81]; ● - наши данные.

Как видно из рисунков 1.8 и 1.9 все данные, полученные для воздуха и толуола с учетом погрешности опыта удовлетворительно согласуются с данными [80,81].

По результатам расчетов установлено, что максимальная погрешность составляет не более 4,2%.

Убедившись в достоверности работы устройства по исследованию теплопроводности по результатам апробирования с помощью эталонных образцов (воздух, толуол) в зависимости от температуры и давления, которые так-

же представлены и в Справочнике Варгафтика Н.Б. и других авторов [80-94], нами были проведены соответствующие исследования по теплопроводности исследуемых образцов. Значения теплопроводности толуола в жидкой и газообразной фазах приведены ниже, т.е. в таблицах 1.5-1.11).

Жидкий толуол это то вещество, свойства которого хорошо изучены относительно других органических веществ. Во-первых он его используют как образец, а во-вторых это одно из немногих веществ, у которого был исследован радиационный теплоперенос, чем собственно и вызван большой интерес к нему [89].

В работе авторов [80] дан подробный анализ работ, опубликованных до 1975 г. по исследованию теплопроводности толуола. В таблице 1.4 приведен перечень новых работ. Во всех этих работах, за исключением [88,90, 91], применены современные методы.

Таблица 1.4. Новые работы по теплопроводности толуола

Год	Автор	Источник	Температура, К	Давление, МПа
1976	Ильин, Салохин, Спирин	[83]	293-363	0,1
1977	Нието де Кастро и др.	[81]	291-323	0,1
1977	Расторгуев и др.	[88]	293-413	0,1
1978	Габулов	[91]	306-673	0,1-100
1979	Ляйденфрост	[85]	273-473	0,6-2,6
1980	Нефедов	[92]	293-640	0,1-30
1981	Нагасака, Нагашима	[93]	274-355	0,1
1981	Китазава, Нагашима	[94]	213-353	0,1-24,6
1982	Кашиваги и др.	[80]	273-373	0,1-250
1985	Тарзиманов и др.	[86]	293-374	0,1
1985	Шульга	[87]	255-401	0,1-99,5

Таблица 1.5 принята по результатам обобщения, выполненного в [95]. Погрешность табличных значений составляет при $T = (180-400)$ К не более 1%, при $(400-500)$ К не более 1,5%, при $T > 500$ К не более 2-3%.

Таблица 1.6 составлена на основе обобщения, выполненного в [80], с учетом результатов новых измерений [88] при высоких давлениях и температурах. Погрешность табличных значений при $p = 0,1$ МПа (пар) составляет 2-3%, а при повышенных давлениях (жидкость и пар) доходит до 3-4% при $0,1 < p < 50$ МПа и до 4-5% при $p > 50$ МПа.

При составлении таблицы 1.6 и оценки погрешности Δ мы руководствовались процедурой обработки опытных данных, изложенной в 1-й части [80], при этом были использованы результаты измерений новых работ (см. табл. 1.6), за исключением [88,90,91].

Молекулярная теплопроводность толуола при сверхвысоких давлениях приведены в таблицах 1.7 - 1.9.

Таблица 1.5. Рекомендуемые значения теплопроводности жидкого толуола на линии насыщения, Вт/(м·К)

T, К	$\lambda \cdot 10^3$	T, К	$\lambda \cdot 10^3$	T, К	$\lambda \cdot 10^3$	T, К	$\lambda \cdot 10^3$
180	159	280	137	380	112	480	90
190	158	290	135	390	110	490	88
200	157	300	132	400	108	500	85
210	155	310	130	410	105	510	83
220	153	320	127	420	103	520	81
230	150	330	125	430	101	540	78
240	147	340	122	440	99	550	76
250	145	350	120	450	97		
260	142	360	117	460	94		
170	140	370	115	470	92		

Таблица 1.6 Рекомендуемые значения теплопроводности жидкого и газообразного толуола

Т, К	$\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \text{при } p, \text{МПа}$					
	0,1	1	2	3	10	20
190	158	159	159	159	159	161
200	157	157	158	158	159	160
220	153	153	153	154	155	157
240	147,5	148	148	149	150	152
260	142,5	143	143	144	145	147
280	137,5	138	138	139	140	144
300	132,5	133	134	135	136	139
320	127,5	128	129	130	131	135
340	122,5	123	124	125	127	130
360	117,5	118	119	120	122	126
380	112,5	113	114	115	117	122
400	18,7	109	110	111	113	118
420	21	104	105	106	109	113
440	23,3	100	101	102	104	109
460	25,6	95	95,9	97,1	100	105
480	27,9	91,0	91,9	93,2	95,9	101
500	30,2	31,2	--	--	91,5	97,5
520	32,5	33,5	--	--	87,6	93,7
540	34,8	35,7	37,8	--	84,6	91,7
560	37,1	38,1	39,4	--	82,5	89,2
580	39,4	40,3	41,3	45,4	81,2	88,3
600	41,7	42,7	43,8	46,6	79,8	87,4
620	44,0	45,0	46,1	48,4	79,1	86,9
640	46,4	47,8	48,5	50,3	78,1	86,4
660	48,8	49,8	50,9	52,6	77,3	86,1
680	51,2	52,2	53,4	54,9	76,4	85,8

Продолжение табл. 1.5

$\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \text{ при } p, \text{ МПа}$							
T, К	30	40	50	60	80	100	150
190	163	166	168	170			
200	162	165	167	170			
220	159	162	164	167			
240	154	157	160	163			
260	150	153	157	159			
280	146	149	153	155			
300	142	146	148	152	157	162	174
320	138	142	145	148	153	159	170
340	134	137	140	144	149	155	167
360	130	133	136	139	145	151	163
380	125	129	132	136	141	147	160
400	122	125	128	132	137	143	157
420	118	122	125	128	133	139	
440	114	118	121	124	130	135	
460	111	115	118	121	126	132	
480	107	109	113	118	124	130	
500	103	106	110	115	122	127	
520	99,4	104	108	113	119	125	
540	96,7	103	107	111	117	123	
560	95,0	102	106	110	115	121	
580	94,0	101	105	108	113	119	
600	93,5	100	104	108	112	116	
620	93,0	100	103	107	111	115	
640	92,5	100	103	107	111	114	
660	92,2	101	104	107	110	114	
680	92,0	101	104	107	110	114	

Таблица 1.7. Рекомендуемые значения молекулярной теплопроводности жидкого толуола на линии насыщения, Вт/(м·К)

T, К	$\lambda \cdot 10^3$	$\Delta, \%$	T, К	$\lambda \cdot 10^3$	$\Delta, \%$	T, К	$\lambda \cdot 10^3$	$\Delta, \%$
220	152	2,5	370	109	1	490	81,5	1,5
240	146	2,5	380	106	1	500	80	1,5
260	104	1,8	390	104	1	510	78,5	2
270	137	1,8	400	101	1	520	76,5	2
280	134	1,8	410	99	1,5	530	74,5	2
290	131	0,9	420	96	1,5	540	73	2,5
300	129	0,8	430	94	1,5	550	71,5	2,5
310	126	0,8	440	92	1,5	560	70,5	2,5
320	123	0,8	450	90	1,5	570	69	3
330	120	0,8	460	88	1,5	580	67,5	3
340	117	0,8	470	85	1,5			
350	114	0,8	480	83	1,5			
360	111	0,8						

Таблица 1.8 Молекулярная теплопроводность толуола [85,93]

T, К	$\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \text{ при } p, \text{ МПа}$					
	0,1	2	5	10	20	30
220	152	152,2	153	154	155	157
240	146	146,5	147	148	150	152
260	140,5	141	142	143	144	147
280	134,5	135	136	137	139	142
300	129	130	130,5	131,5	133,5	137,5
320	123	124	124,5	126	128,5	132
340	117	118	118,5	120,5	123,5	127
360	111,5	112	113	115,5	119	122
380	106,5	107,5	108	110,5	114	117,5
400		102	103	105,5	110	113,5
420		97,5	98,5	101,5	105,5	110
440		93	94,5	97,0	101,5	106,5

460	89	90,5	93,5	98,0	103,5
480	85	87	90,0	94,5	101,0
500	--	83,5	86,5	91,5	98,5
520	--	80	83,5	88,5	96
540	--	77	80,5	86,5	94
560	37,5	74	78,5	84,5	92,5
580	40,4	71,5	76,0	83,0	91,0
600	42,5	67	74,5	81,5	90,0
620	44,3	57	73,0	81,0	89,0
640	46,7	55	72,0	80,5	88,0

Таблица 1.9. Молекулярная теплопроводность толуола при сверхвысоких давлениях [87,94]

$\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \text{ при } p, \text{ МПа}$						
T, К	50	100	150	200	300	400
260	154	164	173	180	194	--
280	149	160	170	178	193	205
300	144	156	167	176	191	205
320	139	152	164	173	190	203
340	134	148	160	170	188	202
360	129	144	157	167	185	200
380	124	140	153	164	183	198
400	118	135	149	161	180	196
$\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \text{ при } p, \text{ МПа}$						
T, К	500	600	700	800	900	1000
280	216	226	--	-	--	---
300	216	226	235	243	251	--
320	215	226	235	234	252	259
340	214	226	235	245	253	260
360	213	225	235	245	254	262
380	212	224	235	245	254	263
400	210	223	234	245	254	264

1.10. Получение и применение толуола, о-ксилола (1.5-диметилбензола)

Процесс реагирования алканов C_3 - C_4 при повышенных температурах с галлийсодержащим высококремнеземистым цеолитным катализатором типа ZSM-5 в блоке реакторов (три реактора) сопровождается углеводородов разделением составных компонентов на исходные алканы, толуол, бензол, ксилол и C_9 +-ароматических, т.е. обладает рецикличностью. Также процесс сопровождается перециркулированием ароматического углеводорода на следующую стадию обработки, в рамках которой предусмотрено контактирование, приводящее к уменьшению образования C_9 +-ароматических углеводородов и увеличению образования ксилолов. В качестве компонента ароматического углеводорода рециркулируют 1-5 %мас C_9 +-ароматических углеводородов в состояние исходного сырья в последний, т.е. третий реактор устройства, а сам процесс длится 0,5-1,5 секунд.

2. Способ, описанный в п.1, отличается температурой процесса, которая соответствует 400-600°C.

Толуол является высокооктановым представителем среди компонентов бензина как нефтепродукта. Начальный этап включает каталитический реформинг, после которого полученный продукт является стабильным катализатором, включающим 35-45% ароматических углеводородов. Его разделение на отдельные углеводороды с помощью процесса ректификации не представляется возможным, поскольку они с алканами и цикланами формируют смеси азеотропные. Поэтому в данном случае прибегают к экстракции, в процессе которой экстрагентом выступают растворы диэтиленгликоля, а также три- и тетраэтиленгликоль. По итогам процесса экстракции получают: толуол, бензол, ксилол, этил-бензол, высшие ароматические углеводороды и деароматизированный бензин (рафинат). По итогам данного процесса получают 16,5% толуола, бензола 11%, этилбензола и ксилола 4,5% в соотношении к исходному сырью.

1.11. Заключение по первой главе.

1. В первой главе диссертации приводится актуальность, научная новизна, практическая значимость работы. Обзор литературных данных по свойствам исследуемых объектов включая их компоненты. Методы получения толуола и наночастиц с эффектами памяти форм на основе диоксида титана.

2. Подробно показаны, результаты исследований по свойствам, в том числе коэффициент теплопроводности жидкого толуола при различных температурах и давлениях, включая критическую область и фазовый переход.

Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ПЛОТНОСТИ НАНОЖИДКОСТЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ

2.1. Экспериментальная установка для определения плотности жидкостей и растворов при атмосферном давлении.

Учеными и исследователями предложено очень большое количество уравнений состояния, связывающие различные параметры состояния.

Несмотря на их внушительное количество они не обладают универсальностью и для каждого отдельного случая предлагается соответствующее уравнение, поэтому эксперимент выходит на первый план. Это, главным образом, зависит от того, что они как правило способны описывать состояние вещества лишь в ограниченной области. Прикладное применение подобных уравнений можно обеспечить путем определения ряда коэффициентов, входящих в их состав. Р-ρ-Т зависимости также необходимы для исследования калорических свойств жидких веществ, для чего в большинстве случаев прибегают к экспериментам. По их итогам проводят графоаналитическую обработку и находят неизвестные калорические свойства. Обычно Р-ρ-Т зависимости жидкостей и паров экспериментально изучают двумя способами. Первый способ заключается в постоянстве весового количества вещества, при котором изменяется лишь его объем, а второй метод заключается в гидростатическом взвешивании, который был разработан и предложен профессором К.Д. Гусейновым [59,97].

Установка, которая воплощает метод, включает поплавков кварцевый (5) и весы аналитические (6) (рисунок 2.1). Поплавок подвешивается на мanganinовой проволоке (7) над своей камерой (4), которая в свою очередь заполняется исследуемой жидкостью. Камера вставляется в термостат жидкостный (1) с мешалкой (2), служащей для равномерного распределения температуры во всем объема греющей среды. Температура контролировалась ртутным термометром (9) ценой деления $0,1^{\circ}\text{C}$ с точностью до $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$. До-

стоверность работе предложенного устройства была установлена путем тестирующих замеров эталонами – бензолом и н-гексаном.

Плотность образцов в данном случае рассчитывается следующей формулой:

$$\rho = \frac{G_1 - (G_1 - G_2)}{V_{\text{П}} - V_{\text{Н}}}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (2.1)$$

здесь ρ – плотность образцов при температуре опыта, $\text{кг}/\text{м}^3$; G_1 - вес поплавка в воздухе; G_2 -вес поплавка в исследуемых веществах; $V_{\text{П}}, V_{\text{Н}}$ - соответственно объем кварцевого поплавка и манганиновой проволоки.

Контроль над достоверностью устройства осуществлялся тестирующими замерами с бензолом и н-гексаном. Сравнительный анализ с данными [98] показали удовлетворительное согласование с точностью до $\pm 0,072\%$. Необходимые данные приведены в таблице П.2.

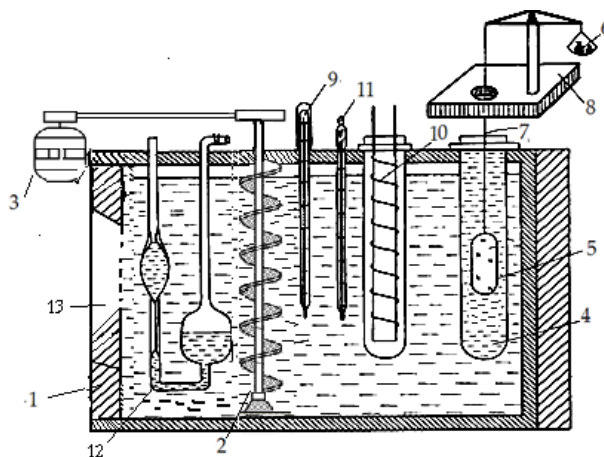


Рисунок 2.1. Схема установки для определения плотности растворов при атмосферном давлении; 1-термостат, 2- мешалка, 3- электродвигатель, 4- камера с исследуемым объектом, 5- кварцевый поплавок, 6- уравнивающие разновесы, 7-манганиновая проволока, 8-аналитические весы, 9-ртутный термометр, 10-нагреватель, 11-контактный термометр, 12- вискозиметр Освальда, 13- окошко.

2.2. Расчетное уравнение метода гидростатического взвешивания с учетом конструктивных особенностей

Расчетное уравнение предложенной методики подчиняется основным законам Архимеда, т.е. погруженное тело в жидкость или газ вытесняется си-

лой, соответствующей весу вытесняемой в результате этого жидкости либо газа.

Во взвешенном состоянии подвесной системы сила тяжести уравновешивается Архимедовой силой F или силой ΔF , действующей на сердечник в магнитном поле катушки соленоида:

$$P = F + \Delta F \quad (2.2)$$

Отсюда:

$$\begin{aligned} mg &= m^*g + \Delta mg \\ m &= m^* + \Delta m \end{aligned} \quad (2.3)$$

где m – масса подвесной системы, сердечника и нити; $\Delta m = m_2 - m_1$, m_1 и m_2 – масса гири, уравновешивающей катушки соленоида без и с подвесной системой; $m^* = (V_{\Pi} + V_C + V_H) \cdot \rho$; ρ – плотность жидкости, сердечника и нити.

Отсюда (2.3):

$$\begin{aligned} m^* &= m - (m_2 - m_1) \\ \rho (V_{\Pi} + V_C + V_H) &= m - (m_2 - m_1) \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\rho = \frac{m - (m_2 - m_1)}{V_{\Pi} \Delta_1 \Delta_2 + V_C \Delta_3 \Delta_4 + V_H \Delta_5 \Delta_6}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (2.5)$$

где $\Delta_1 = 1 + 3\alpha_1 \Delta T$, $\alpha_1 = 0,43 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$ – коэффициент линейного расширения кварца; $\Delta_2 = 1 - \alpha_1 \Delta P$; $\alpha_1 = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/МПа}$ – коэффициент сжимаемости кварца; $\Delta_3 = 1 + 3\alpha_2 \Delta T$; $\alpha_2 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$ – коэффициент термического линейного расширения железного сердечника; $\Delta_4 = 1 - \alpha_2 \Delta P$; $\alpha_2 = 0,59 \cdot 10^{-5} \text{ 1/МПа}$ – коэффициент всестороннего сжатия железного сердечника; $\Delta_5 = 1 + 3\alpha_3 \Delta T$; $\alpha_3 = 8,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$ – коэффициент линейного расширения манганиновой нити; $\Delta_6 = 1 + \alpha_3 \Delta P$; $\alpha_3 = 0,381 \cdot 10^{-5} \text{ 1/МПа}$ – коэффициент сжимаемости манганиновой нити [109].

Уравнение (2.5) с учетом вытесняющей силы воздуха относительно гири при взвешивании соленоида с и без подвесной системы приобретает следующий вид:

$$\rho = \frac{m - (m_2 - m_1)(1 - \rho_B / \rho_r)}{V_{\Pi} \Delta_1 \Delta_2 + V_C \Delta_3 \Delta_4 + V_H \Delta_5 \Delta_6}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (2.6)$$

Согласно выражению (2.6), вся подвесная система во время опыта находится при одинаковой температуре. Таким образом, расчет плотности жидкости или насыщенного пара устанавливается путем определения выталкивающей силы, влияющей на рассматриваемую систему. Другие параметры (2.6) выявляются калибровкой с использованием эталонными веществами (жидкость, газ).

2.3. Экспериментальная установка для измерения теплопроводности наножидкостей (метод регулярного теплового режима первого рода – установка профессора И.Ф.Голубева)

Теплопроводность веществ, в основном, изучается двумя группами методик. Первые питаются законами стационарного режима, т.е. гипотезой Фурье, согласно которой градиенту температуры пропорционален поток тепла. А вторая группа соответственно питается законами нестационарного режима, согласно которой температура тела есть функция и координат, и времени [97-119].

Как уже отмечалось, при помощи стационарных и нестационарных методов проводится экспериментальное исследование теплопроводности растворов [103-119]. Первая группа методов сопровождается недостатками, к которым относятся длительное время процесса и конструктивная сложность устройства. Неудобным данный метод также является в том плане, что при исследовании большого класса веществ с изменением параметров состояния возникают определенные сложности. Абсолютная противоположность данным методам являются нестационарные методы, основоположниками которых являются А.В.Лыков [109], Г.М. Кондратьев [113,115], А.Ф. Чудновский [115, 116], И.Ф. Голубев [105] и др.

Гораздо большее предпочтение среди нестационарных методик отдается методам регулярного теплового режима первого рода (Г.М.Кондратьев) [113,114].

Для воплощения этой категории методов нет необходимости в усложненных вариантах соответствующих опытных устройств. Эти методы наиболее прагматичны в плане длительности опыта и точности измерений. Мы провели ряд работ по модернизации опытного устройства для измерения теплопроводности растворов и жидкостей при различных параметрах состояния (цилиндрический бикалориметр) (рисунок 2.2) [266].

Модернизация опытного устройства заключалась в следующем: В ранних версиях установки (установка Голубева И.Ф. и Гусейнова К.Д.) давление измерялось U-образным жидкостным ртутным манометром, нами же предложено применение пережимного сосуда высокого давления (13), а материал из которого он изготовлен - нержавеющей сталь и вместо ртути глицерин. Для отделения опытного образца (жидкость, раствор) от глицерина (воздействующее вещество) нами предложен полиэтиленовый мешочек (14), успешно прошедший испытание. Благодаря ему в опыте была обеспечена сохранность чистоты опытных веществ.

Устройство имеет следующие узлы элементы: бикалориметр цилиндрический, пережимной сосуд высокого давления (13), манометр грузопоршневый МП-2500 (16), комплект электроизмерительных приборов и автоматизированный теплофизический комплекс АТК (22). Бикалориметр – это коаксиально расположенные цилиндры из меди (2) - внутренний и (1) – внешний, а то пространство, которое остается между ними необходимо для заполнения вещества для проведения опытов. Внутренний цилиндр (ядро бикалориметра) также состоит из двух (измерительный (2), компенсационный (3)) цилиндров соединенных между собой стальным ниппелем (4). Компенсационный цилиндр необходим для предотвращения теплопередачи от измерительного. Цилиндры намеренно были изготовлены из меди, поскольку она является наиболее теплопроводным материалом, а также ее свойства хорошо изучены. Габариты бикалориметра следующие: наружный и внутренний диаметры внешнего цилиндра соответственно 110 и 18,1 мм, наружный диаметр внутреннего цилиндра (измерительного и компенсационного) 17,0 мм и длина

измерительного цилиндра 170,0 мм, а компенсационного – 50 мм. Ширина зазора, т.е. толщина исследуемого слоя равна 0,55 мм. Компенсационный цилиндр резьбой сверху соединен с центрирующим (8), а снизу уплотняющим (5) стальными конусами из нержавеющей стали, соответственно прижимной гайкой (9) и прижимным фланцем (6). Спаи термопары (7,11) во внешний цилиндр (1) вставляются посредством отверстий сверху, а центрирующий конус служит для центровки измерительного и компенсационного цилиндров. В конусе также сделано специальное отверстие для вывода соответствующих проводов. Конус также имеет отверстие для вывода проводов. Изолированный нагреватель и горячий спай термопары (11) находятся при атмосферном давлении. Чтобы создать соответствующую разность температур на поверхностях слоев в работе был применен нихромовый нагреватель ($\phi=0,15$ мм), питающегося понижающим трансформатором. Наряду с минимальным размером отверстий термопара и нагреватель изолированы пропитанной клеем стеклотканью (клей БФ-2). разность температура на поверхностях измеряемых слоев создавался в пределе (1,31-0,65) К, который позволил избежать конвекции. Для центровки был использован микроскоп (МИР-2), чтобы измерить расстояние между цилиндрами, микрометром был установлен диаметр внутреннего цилиндра, а внутренний диаметр наружного цилиндра индикатором часового типа (индикатор-нутромер).

Полировка и хромирование поверхностей цилиндров позволило избежать теплопотери излучением. Во время проведения опытов установка переводилась в вертикальное положение.

Для обеспечения других, более высоких температур, в экспериментах в комплекте с устройством была предусмотрена электропечь (180x110мм), выполненной в виде цилиндра. Печь также снабжена нихромовым нагревателем ($d=1$ мм), намотанного на внутренней поверхности печи, которая изолирована со всех сторон. Конструктивное решение печи данным образом позволяет повысить скорость разогрева бикалориметра. Питание нагревателя осуществлялось стабилизатором напряжения. Напряжение регулировалось вольтмет-

ром, а отсутствие градиента температуры по высоте термопарой и гальванометром (ГСП-47).

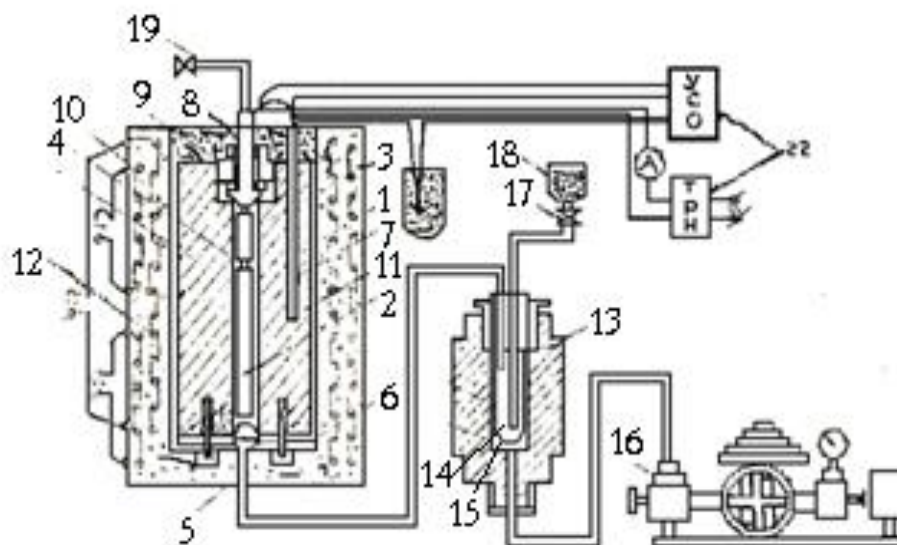


Рисунок 2.2. Схема экспериментальной установки для измерения теплопроводности растворов в зависимости от температуры и давления: 1- внешний цилиндр, 2-внутренний цилиндр, 3-компенсационный цилиндр, 4-соединяющий ниппель, 5,8-уплотняющие конусы, 6-фланец, 7,11-термопары, 9-прижимная гайка, 10-электродуховка, 12-стеклостакан, 13-пережимной сосуд высокого давления, 14-полиэтиленовый мешочек, 15-глицерин, 16-грузопоршневый манометр типа МП-2500, 17,19-вентили,18-стакан.

Габариты стального (марка 1Х18Н9Т) пережимного сосуда высокого давления (13) следующие: внешний и внутренний диаметры 100 и 28 мм, длина – 300 мм. Основные узлы выполнены из стальных патрубков высокого давления (6х3мм), а разделительный мешочек (14) из полиэтилена, на которого давление создавалось глицерином (15). Измерение давление опыта осуществлялось грузопоршневым (МП-2500) (16) и образцовым манометрами (МО-600).

Разработанный автоматизированный вариант теплофизического комплекса, предлагается для подсоединения к цилиндрическому бикалориметру [118,119] (рисунок 2.3), назначением которого является изучение процесса переноса тепла в неоднородных средах в пределах $T=293\div 773\text{K}$. Комплекс включает диалоговый вычислительный комплекс ПК (1); устройства связи с

образцом исследования УСО (2); нормирующие усилители; блок тиристорных регуляторов мощности; блок вентиляторов БВ (3) и устройств измерения ТФС и эффективных параметров процесса теплопереноса.

Комплекс позволяет выполнить:

- сбор и соответствующую обработку полученных результатов опыта;
- формирование и вывод информации о ходе эксперимента на экран и соответствующее графическое изображение к ней;
- автоматизированное управление исполнительными узлами и механизмами, а также установление и поддержание заданных температурных режимов;
- обмен информацией между установкой и вычислительной машиной по интерфейсу ИРПС.

Минимальная конфигурация комплекса позволяет осуществить ввод:

- четырех термопарных сигналов;
- четырех потенциальных сигналов 0-5 с погрешностью преобразования не более 0,1% и временем преобразования 150 мкс;
- двенадцати дискретных сигналов типа “открытый коллектор”;
- управление регулятором мощности до 2 кВт;
- управление регулятором мощности до 400 Вт.

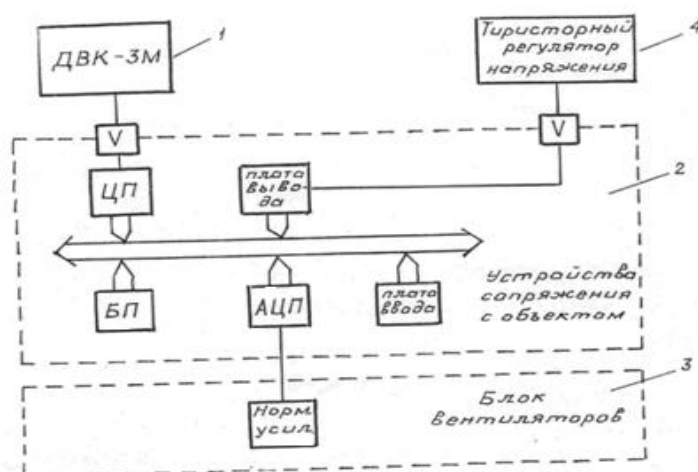


Рисунок 2.3. Блок-схема автоматизированного теплофизического комплекса.

Предложенный вариант устройства также прошел контрольные испытания эталонными веществами, такими как воздух и толуол в условиях атмосферного воздуха при температурах от 293 до 573К.

Для установления воспроизводимой способности предложенного устройства нами проводились соответствующие измерения теплопроводности воздуха в разное время, а также изменялась и толщина слоя (зазора между цилиндрами) (рисунок 1.8). На рисунке 1.8 с целью выполнения сравнительного анализа представлены и данные [120], откуда можно сделать вывод о том, что они достаточно хорошо согласуются с полученными нами данными во всем диапазоне температур (290-544,8 К) и давления (0,98-49,05 МПа).

Согласно соответствующим расчетам максимальная общая относительная погрешность, допущенной в опытах по исследованию теплопроводности веществ при $\alpha = 0,95$ составляет не более 4,2%.

На предложенном устройстве нами измерена теплопроводность водных растворов гидразина и фенилгидразина, некоторых кислородо- и азотосодержащих органических жидкостей с введением в них наночастиц некоторых металлов и их оксидов при $T=293\div 573\text{К}$ и $P=0,101\div 49,01\text{МПа}$. В работе [121] приведены результаты измерений данного параметра.

2.4.Методика измерения теплопроводности растворов при различных температурах и давлениях

В закрытом положении вентилей (17) и (19) изучаемое вещество наливается в стакан (18), затем они закрываются. После этого путем нагревания проводится дегазация образца, на момент которого вентиль высокого давления (19) оставляют открытым, в результате чего при температуре эксперимента образуется стационарное тепловое состояние изучаемой жидкости и задается необходимое давление грузопоршневым манометром типа МП-2500 посредством пережимного сосуда. После на 1,5-2 минуты включается внутренний нагреватель для создания разности температур между поверхностями слоев изучаемого образца на ($\sim 2,5^{\circ}\text{C}$) по отношению к наружному цилиндру.

После отключения нагревателя фиксируется самопроизвольное охлаждение внутренних цилиндров посредством слоя изучаемой жидкости или раствора. При определенном шаге температур выполняется измерение времени охлаждения.

2.5. Вычисление теплопроводности по данным опыта

Расчет теплопроводности по итогам экспериментов осуществляется [58,59]:

$$\lambda = \frac{R_1^2 C^1 m \gamma \ln R_2 / R_1}{2B_{\text{ц}}}, \frac{Bm}{(m \cdot K)} \quad (2.7)$$

здесь
$$B_{\text{ц}} = \frac{3J_{\text{ц}}}{3J_{\text{ц}} + K_{\text{ц}}}, \quad J_{\text{ц}} = \frac{1 + K_{\text{ц}} + K_{\text{ц}}^2}{3K_{\text{ц}}} \cdot \frac{Cm}{C}, \quad K_{\text{ц}} = \frac{R_1}{R_2 - R_1} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

где C_m, C^1, R_1, γ – общая и удельная теплоемкость, радиус, плотность материала измерительного цилиндра; R_2 – внутренний радиус внешнего цилиндра; C – полная теплоемкость исследуемого слоя вещества; m – темп регулярного охлаждения, который вычисляют:

$$m = \frac{\ln \Theta_1 - \ln \Theta_2}{\tau_2 - \tau_1} = \frac{\ln N_1 - \ln N_2}{\tau_2 - \tau_1} \cdot \frac{1}{c} \quad (2.8)$$

где Θ_1 и Θ_2 – разность температур на границе исследуемого слоя в начале τ_1 и в конце τ_2 отсчета; N_1 и N_2 – также разность температур, но отраженная числом делений шкалы гальванометра. Данные значения в процессе опыта из графика отмечаются ПК.

Некоторые из величин в выражении (2.7) при расстоянии между цилиндрами 0,55 мм, имели следующие значения:

$$K_{\text{ц}} = 0,974; \quad J_{\text{ц}} = 15,3; \quad B_{\text{ц}} = 0,981.$$

Для расчета теплопроводности слоя толщиной $\delta = 0,356$ мм выражение (2.7) преобразуется:

$$\lambda = 0,133 \text{ C}^1\text{m} \quad (2.9)$$

Для $\delta = 0,556$ мм формула (2.7) принимает вид:

$$\lambda = 0,23 \text{ C}^1\text{m} \quad (2.10)$$

С помощью выражения (2.7) теплопроводность вычисляется путем введения множества поправок, изучаемых по-отдельности:

- поправка, учитывающая размещение спаев дифференциальной термопары;
- поправка на нагрев внешнего цилиндра [59];
- поправка на изменение геометрических размеров бикалориметра с температурой;
- поправка на изменение геометрических размеров бикалориметра с давлением;
- поправка, учитывающая излучательную составляющую теплопередачи [127-130];
- о соблюдении граничных условий теории регулярного режима при проведении экспериментов;
- поправка, учитывающая отсутствие конвекции в устройстве [127].

2.6. Экспериментальная установка для измерения теплопроводности в зависимости от температуры и давления методом нагретой нити (Патент Республики Таджикистан № ТТ 923, 2017)

Принцип работы представленной установки (рисунок 2.4) таков же как и у установки, приведенной в [129], а ее описание представлено в приложении диссертации.

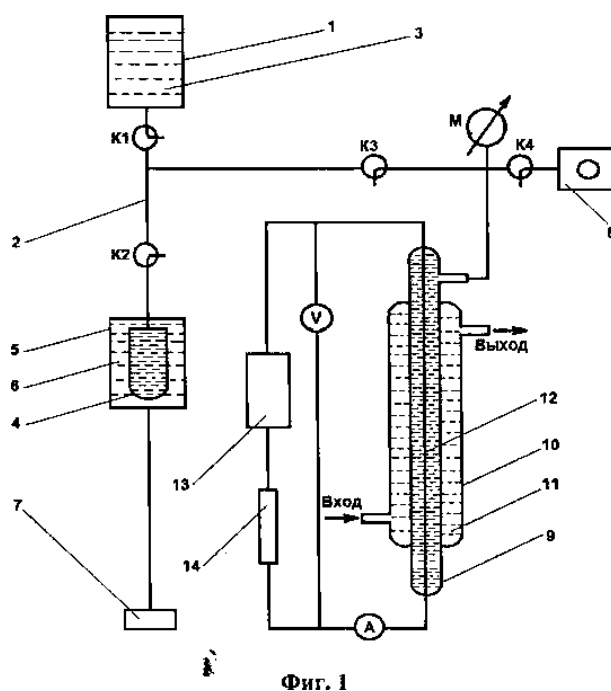


Рисунок 2.4. Блок-схема экспериментальной установки для исследования теплопроводности наножидкостей (Метод нагретой нити)

Также в приложении подробно описан солнечный коллектор для получения тепла и электричества.

В данном устройстве предусмотрена стальная емкость 1, которая служит для размещения в ней исследуемого вещества 2 (наножидкость). Емкость 1 с полиэтиленовой камерой 4 (мешочек) соединены с помощью трубок 3 и краников K_1 и K_2 , которая расположена в пережимном сосуде 3 с глицерином 6, а пережимной сосуд 5 трубкой соединен к грузопоршневому манометру 7 (МП-2500 или МП-600). К данной трубке посредством краников K_3 и K_4 с помощью трубки соединены вакуумный насос 8 и манометр М, соединенный в свою очередь с внутренним сосудом 9 измерительной трубки, включающей также и наружный сосуд 10, в котором залита термостатирующая жидкость (воздух, вода или масло). Ось внутреннего сосуда 9 снабжена нагревателем 12 в виде натянутой никелевой проволоки, замыкающая электроцепь: присоединена к последовательно соединенным источнику постоянного питания 13, постоянному резистору 14, амперметру А и вольтметру V, параллельно присоединенному к источнику питания 12 и резистору 13.

2.7. Расчет погрешности измерений теплофизических свойств веществ

Погрешность в измерениях может быть допущена из-за возникающих технических сложностей (несовершенство используемых устройств и приборов, человеческий фактор, т.е. в силу ограниченности зрительного аппарата при регистрации показаний приборов могут быть допущены неточности и т.д.) и ряда других факторов, которые очень сложно или даже практически невозможно учесть. К таковым факторам можно отнести постоянно колеблющуюся температуру воздуха, движение его потоков вблизи измерительных устройств, вибрация стола по разным причинам и др.

Значение, которое определяется разностью между измеренным и истинным значениями какой-либо исследуемой физической величины называется погрешностью (ошибки) измерения, которую в наших исследованиях мы оценивали согласно [131-134]:

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

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (2.11)$$

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

Согласно далее приведенным выражениям можно вычислить абсолютную S и относительную $S_{\text{омн}}$ величины выборочного среднеквадратичного несоответствия результата одного наблюдения:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}, \quad (2.12)$$

$$S_{\text{іді}} = \frac{S}{\bar{y}} \cdot 100\%. \quad (2.13)$$

Для вычисления $S_{\bar{y}}$ и $S_{\bar{y}_{\text{іді}}}$, чтобы выполнить оценку среднеквадратичного несоответствия итогов нескольких опытов, воспользовались:

$$S_{\bar{y}} = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (2.14)$$

$$S_{\bar{y}_{\text{іді}}} = \frac{y}{\bar{y}} \cdot 100\%. \quad (2.15)$$

Доверительная граница случайной погрешности $\Delta_{\bar{y}}$ была рассчитана с помощью:

$$\Delta_{\bar{y}} = S_{\bar{y}} \cdot t_{n-1, 1-\frac{\varepsilon}{a}}, \quad (2.16)$$

где $\varepsilon = 1 - \lambda$;

λ – доверительная вероятность, численное значение которой принято 0,95.

Доверительная граница неисключенной систематической погрешности результата опыта θ вычисляется:

$$\theta = K \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2}, \quad (2.17)$$

где K – коэффициент, равный 1,1 и зависящий от принятой $\lambda = 0,95$;

θ_j – граница j -ой соответствующей неисключенной систематической погрешности.

Погрешность измерений в доверительной границе рассчитывается:

$$\Delta = t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma}. \quad (2.18)$$

Среднеквадратичное отклонение суммы этих погрешностей (систематической и случайной) S_{Σ} рассчитывается:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_y^2 + S_v^2}, \quad (2.19)$$

где $S_v^2 = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^m \theta_j^2$ – среднеквадратичное несоответствие суммы систематических погрешностей, которые нет возможности исключить.

Коэффициент t_{Σ} рассчитывается в виде соотношения:

$$t_{\Sigma} = \frac{\theta + S_{\bar{y}} \cdot t_{\bar{x}}}{S_v + S_{\bar{y}}}, \quad (2.20)$$

где $t_{\bar{x}}$ – коэффициент Стьюдента, зависящий от λ (доверительная вероятность) и числа наблюдений.

Доверительная граница погрешности по итогам косвенных измерений исследуемой величины как функцию $y = F(y_1, y_2, \dots, y_n)$ при $\lambda = 0,95$ рассчитывают в соответствии:

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial y_1}\right)^2 (\Delta y_1)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y_2}\right)^2 (\Delta y_2)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial y_n}\right)^2 (\Delta y_n)^2}, \quad (2.21)$$

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

По итогам измерений относительная погрешность рассчитывается:

$$\sigma = \frac{\Delta y}{\bar{y}} \cdot 100\%. \quad (2.22)$$

Согласно (2.21) с учетом (2.11-2.21), рассчитывается доверительная граница относительной погрешности итогов экспериментальных исследований теплопроводности по методу монотонного разогрева с учетом $\lambda = 0,95$.

Методические погрешности допускаются в результате имеющих не-достатков используемого метода, несовершенством теории физического явления, к которому имеет отношение исследуемая величина, не однозначной точностью расчетного уравнения.

Методические погрешности устраняются, либо уменьшены путем выбора другого или совершенствования существующего метода измерения, а также путем введении уточнений, различных поправок в расчетное уравнение, для чего мы воспользовались рекомендациями [135]. Необходимая информация для количественной оценки погрешности представлено в виде таблицы 3.1 (Приложение 3)

2.7.1. Определение погрешности измерения плотности

Способы выявления погрешностей среди результатов экспериментальных исследований показано в [135], согласно которым мы последовали.

$$\Delta\rho = \sqrt{\left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_4}\right)^2 (\Delta\Delta_4)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_5}\right)^2 (\Delta\Delta_5)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_6}\right)^2 (\Delta\Delta_6)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial V_H}\right)^2 (\Delta V_H)^2 +$$

$$+ \left(\frac{\partial\rho}{\partial m_1}\right)^2 (\Delta m_1)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial m_2}\right)^2 (\Delta m_2)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial V_{II}}\right)^2 (\Delta V_{II})^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_1}\right)^2 (\Delta\Delta_1)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_2}\right)^2 (\Delta\Delta_2)^2 +$$

$$+ \left(\frac{\partial\rho}{\partial V_C}\right)^2 (\Delta V_C)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta_3}\right)^2 (\Delta\Delta_3)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta T}\right)^2 (\Delta T)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\Delta P}\right)^2 (\Delta P)^2 \quad (2.23)$$

где

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Используя выражение (2.23) с применением (2.11-2.22) нами была рассчитана относительная погрешность экспериментального исследования плотности опытных образцов при $\lambda = 0,95$ (таблица 3.1, Приложение 3).

Расчеты показали, что средняя относительная погрешность измерения плотности равна 0,03%, методическая - 0,01%, инструментальная - 0,06%, а общая относительная составляет 0,1%. Подробный расчет данного показателя представлен в приложении П.1.

2.8. Заключение по второй главе.

Вторая глава посвящена описанию специальных измерительных устройств необходимых для соответствующих исследований теплофизических параметров, а также соответствующие методики вычисления погрешностей измерения данных величин при изменении температур и давления опытов.

1. Учитывая условия и возможности реализации способов исследования ТФС жидкостей и растворов предпочтение было отдано методу регулярного теплового режима и методу нагретой нити.

2. В главе также представлена методика определения погрешностей экспериментального исследования соответствующих теплофизических величин веществ.

3. Разработаны и собраны опытные устройства для экспериментального изучения теплопроводности жидкостей и растворов в зависимости от изменения температуры и давления эксперимента, в том числе и в критической и закритической области параметров состояния.

4. Предложен вариант автоматизированного измерения теплопроводности жидкостей и растворов с охватом большого интервала изменения температуры и давления.

Также при расчете погрешностей плотности, теплопроводности учтены всевозможные погрешности, т.е. инструментальные, методические, случайные и систематические.

Глава 3. КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ТОЛУОЛА С ВНЕДРЕНИЕМ НАНОРАЗМЕРНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ

В данной главе приводятся характеристики исследуемых объектов, результаты экспериментального исследования плотности, коэффициент теплопроводности толуола с добавлением наноразмерного диоксида титана ($n=0-0,5\%$ наноразмерный диоксид титана с различными фракции 30нм, 50 нм и 70нм) в интервале температур (293-433)К и давления (0,101-14,42) МПа. [139-А,140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,148-А,149-А,150-А, 151-А,152-А,153-А,154-А,155-А].

3.1. Плотность толуола в зависимости от температуры и концентрации диоксида титана различных фракций при атмосферном давлении.

На экспериментальной установке, приведенной на рисунке 2.1 нами исследована плотность исследуемых коллоидных жидкостей толуола с добавлением наноразмерного диоксид титана (0,5%) с эффектом “памяти форм” различной фракции (30нм, 50нм и 70нм) в интервале температуры от (293-433)К и атмосферном давлении (0,101)МПа. Плотность коллоидных растворов исследована методом гидростатического взвешивания (установка профессора И.Ф.Голубева) [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,148-А,149-А,150-А, 151-А,152-А,154-А,155-А].

Значение плотности исследуемых растворов системы жидкого толуола, как в чистом виде, так и с добавкой различного количества наноразмерного диоксида титана различной фракции.

Результаты расчета и эксперимента в пределах погрешности опыта совпадают до 0,13% между собой.

В таблицах 3.1-3.8 и на рисунках 3.1-3.10 показаны результаты экспериментального исследования плотности коллоидных растворов. Характер

изменения плотности исследуемых коллоидных растворов системы (толуол+TiO₂ различных фракций) представлена в виде графиков (рисунки 3.1-3.10) и в виде таблиц 3.1-3.3 [141-А,143-А,145-А,146-А,147-А,150-А,152-А, 154-А,155-А].

Таблица 3.1.-Плотность (ρ ,кг/м³) системы жидкого толуола и наноразмерно-го диоксида титана (TiO₂, (ϕ =30нм)) с эффектом “ памяти форм” различной фракции в зависимости от температуры при атмосферном давлении (0,101) МПа.

Образец Т,К	№1[136]	№2	№3	№4	№5	№6
293,2	867,5	870,6	872,8	875,3	878,3	881,5
303,6	858,2	861,5	864,4	867,6	870,3	873,6
313,2	848,3	851,4	854,5	857,4	860,4	862,5
323,0	838,8	841,2	844,3	847,5	850,3	853,8
333,6	829,3	832,1	835,2	838,3	841,5	844,7
343,7	819,7	821,0	824,3	827,5	830,3	833,6
353,4	809,9	811,8	814,0	817,3	820,4	823,8
363,5	800,0	801,5	804,3	807,3	810,5	813,9
373,4	790,0	790,4	793,2	796,3	799,4	802,5
383,7	779,8	780,3	782,8	785,4	788,6	791,8
393,0	-	770,0	773,6	776,2	779,5	781,7
403,8	-	760,2	763,4	767,1	770,6	773,0
413,5	-	750,3	753,1	756,3	759,4	762,3
423,4	-	740,3	743,3	746,4	749,5	752,6
433,2	-	730,4	733,6	736,6	739,0	742,5

Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%.TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%.TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%.TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5% TiO₂).

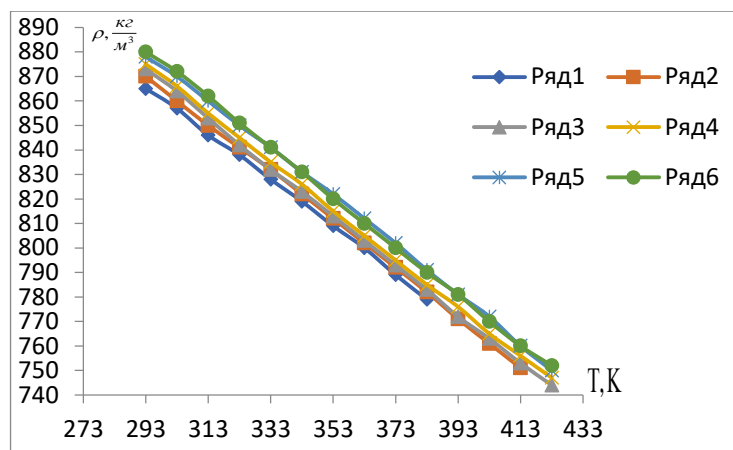


Рисунок 3.1. График зависимости плотности химически чистого толуола при атмосферном давлении от температуры и различной фракции диоксида титана (TiO_2 , ($\phi=30\text{nm}$)): №1- (толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+ 0,1% TiO_2); №3-(толуол х.ч.+ 0,2% TiO_2); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол х.ч.+0,4% TiO_2); №6-(толуол х.ч.+ 0,5% TiO_2).

Таблица 3.2.-Плотность ($\rho, \text{кг/м}^3$) жидкого толуола с добавлением наноразмерного диоксида титана диоксид титана, с эффектами “ памяти форм” различной фракции (TiO_2 , ($\phi=50\text{nm}$)) в зависимости от температуры при атмосферном давлении (0,101) МПа.

Образец T, К	№1 [136]	№2	№3	№4	№5	№6
293,2	867,5	873,6	875,8	878,6	882,6	884,5
303,6	858,2	867,3	869,5	872,7	874,5	878,6
313,2	848,3	856,9	857,5	860,6	863,6	865,5
323,0	838,8	844,3	848,3	851,5	854,3	857,8
333,6	829,3	836,4	839,6	841,4	845,5	849,7
343,7	819,7	825,0	828,3	831,5	834,3	837,6
353,4	809,9	812,8	818,0	821,3	824,4	827,8
363,5	800,0	804,5	809,3	812,3	814,5	817,9
373,4	790,0	793,4	797,2	800,3	803,4	806,5
383,7	779,8	783,3	786,7	791,5	793,6	798,8
393,0	-	773,2	777,6	780,3	783,5	787,5
403,8	-	763,4	767,7	771,4	774,6	777,8

413,5	-	753,3	756,1	760,3	763,8	768,3
423,4		743,5	747,3	750,4	753,5	756,6
433,2		733,6	737,6	740,5	743,0	746,5

Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%TiO₂).

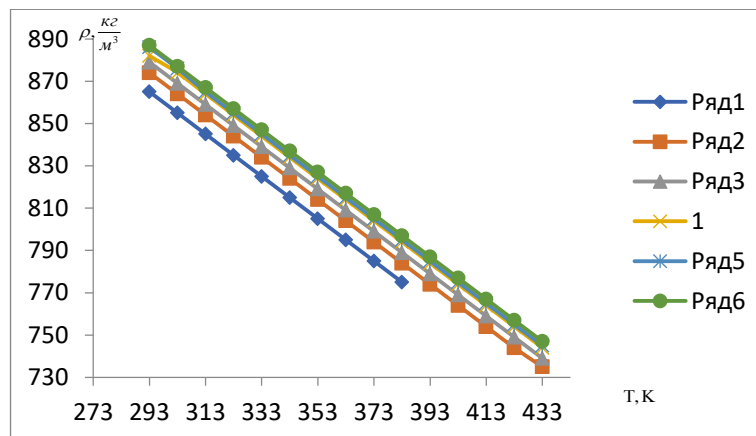


Рисунок 3.2. График зависимости плотности химически чистого толуола при атмосферном давлении от температуры и фракций диоксида титана (TiO₂, (φ=50нм)): №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2% TiO₂) ; №4-(толуол х.ч.+0,3%TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%TiO₂); №6-(толуол х.ч.+ 0,5%TiO₂).

Таблица 3.3. Плотность (ρ , кг/м³) жидкого толуола с добавлением наноразмерного диоксида титана различной фракции (TiO₂, (φ=70нм)) с эффектами “памяти форм” в зависимости от температуры при атмосферном давлении (0,101) МПа.

Образец Т,К	№1 [136]	№2	№3	№4	№5	№6
293,2	867,5	879,6	881,8	885,6	890,6	893,5
303,6	858,2	868,4	873,5	879,7	883,5	887,6
313,2	848,3	856,9	861,5	872,6	872,6	874,5
323,0	838,8	848,3	852,3	860,5	864,3	867,8

333,6	829,3	836,4	842,6	847,4	851,5	858,7
343,7	819,7	828,0	833,3	836,5	840,3	846,6
353,4	809,9	815,8	822,0	826,3	831,4	837,8
363,5	800,0	808,5	813,3	817,3	821,5	828,9
373,4	790,0	796,4	802,2	805,3	811,4	816,5
383,7	779,8	787,3	791,7	795,5	801,6	806,8
393,0	-	777,2	782,6	784,3	791,5	794,5
403,8	-	767,4	771,9	776,4	781,6	785,8
413,5	-	756,3	761,1	766,3	771,8	776,3
423,4		747,5	751,3	756,4	760,5	768,6
433,2		737,6	741,6	745,6	750,3	756,5

Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%TiO₂).

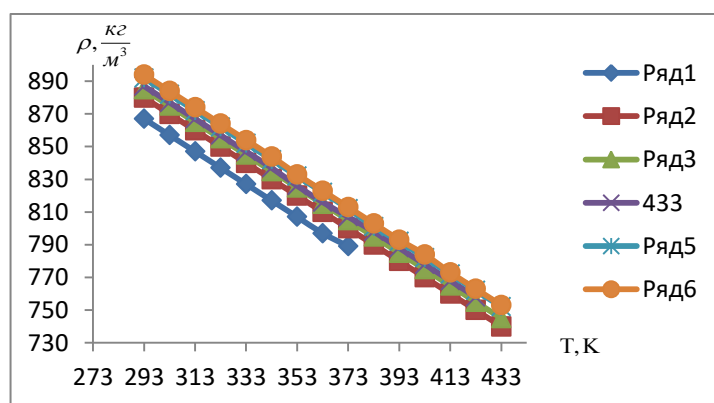


Рисунок 3.3. График зависимости плотности химически чистого толуола при атмосферном давлении от температуры и фракции диоксида титана (TiO₂, $\phi=70$ нм): №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2% TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3%TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%TiO₂); №6-(толуол х.ч.+ 0,5% TiO₂).

На рисунках 3.1-3.3 и в таблицах 3.1-3.3 итоги экспериментов по плотности системы толуол + диоксид титана в пределе (293-433)К и при атмосферном давлении (0,101)МПа. Целью работы являлось изучение химиче-

ски чистого толуола с внедрением до 0,5% диоксида титана различной фракции (30нм, 50нм и 70 нм). Согласно результатам рост температуры способствует уменьшению плотности исследуемых растворов полиномой первой степени. Для х.ч. толуола изменения температуры от 293 до 384К приводит к уменьшению плотности на 11,25%. Добавка наноразмерных частиц с эффектом “памяти форм” различной фракции также приводит к росту плотности коллоидных растворов. При добавлении в толуол до 0,1% диоксида титана и размером частиц 70нм при температуре 293К способствует росту плотности системы на 1,39%, а при 384К до 0,96%. Добавлением в чистый толуол до 0,5% диоксида титана при 293К, можно добиться роста плотности системы до 2,94%, а при 384К до 15,39%. Так, применяя полученные данные по плотности исследуемых растворов (таблицы 3.1-3.3), можно определить степень вклада концентрации нанодобавок в химически чистый жидкий толуол с различной фракцией и температурой (таблица 3.4-3.6) [141-А,143-А, 145-А,146-А,147-А,150-А,152-А, 154-А,155-А].

3.2. Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектами “памяти форм” и их фракции на изменение плотности толуола при атмосферном давлении.

С помощью полученных данных по плотности растворов (таблицы 3.1-3.3) и нижеприведенной формулы определена степень влияния наночастиц на свойства толуола в жидком состоянии [141-А,143-А,145-А,146-А,147-А,150-А,152-А, 154-А,155-А].

$$\sigma = (\rho_i - \rho_o) \cdot 100\% / \rho_o \quad (3.1)$$

где, ρ_i – плотность растворов с внедрением в них наночастиц с эффектами “памяти форм”, кг/м³; ρ_o – плотность жидкого чистого толуола без добавки наночастиц с эффектами “памяти форм”, кг/м³

Результаты реализации выражения (3.1), представлены в виде таблиц (таблиц 3.4 и 3.6) [141-А,143-А,145-А,146-А,147-А,150-А,152-А,154-А,155-А]

Таблица 3.4. Вклад температуры, концентрации наночастиц и их размеров ($\phi=70\text{nm}$) на изменение плотности жидкого толуола (химически чистый) при атмосферном давлении.

Образец №1- химически чистый толуол		
$\Delta T, \text{K}$	(383-293)K	Примечание
$\sigma, \%$	< 11,25%	
Образец №2- химически чистый толуол+0,1%TiO ₂		
$\Delta T, \text{K}$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 19,06%	Относительное значение плотности чистого толуола
Образец №3- химически чистый толуол+0,2%TiO ₂		
$\Delta T, \text{K}$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,91%	Относительное значение плотности чистого толуола
Образец №4- химически чистый толуол+0,3%TiO ₂		
$\Delta T, \text{K}$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,94%	Относительное значение плотности чистого толуола
Образец №5- химически чистый толуол+0,4%TiO ₂		
$\Delta T, \text{K}$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,96%	Относительное значение плотности чистого толуола
Образец №6- химически чистый толуол+0,5%TiO ₂		
$\Delta T, \text{K}$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,65%	Относительное значение плотности чистого толуола

Таблица 3.5. Вклад температуры, концентрации наночастиц и их размеров ($\phi=50\text{nm}$) на изменение плотности жидкого толуола (химически чистый) при атмосферном давлении.

Образец №1- химически чистый толуол		
$\Delta T, \text{K}$	(383-293)K	Примечание
$\sigma, \%$	< 11,25%	
Образец №2- химически чистый толуол+0,1%TiO ₂		
$\Delta T, \text{K}$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,74%	Относительное значение плотности чистого толуола
Образец №3- химически чистый толуол+0,2%TiO ₂		

$\Delta T, K$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,91%	<i>Относительное значение плотности чистого толуола</i>
Образец №4- химически чистый толуол+0,3%TiO ₂		
$\Delta T, K$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,63%	<i>Относительное значение плотности чистого толуола</i>
Образец №5- химически чистый толуол+0,4%TiO ₂		
$\Delta T, K$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,65%	<i>Относительное значение плотности чистого толуола</i>
Образец №6- химически чистый толуол+0,5%TiO ₂		
$\Delta T, K$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,49%	<i>Относительное значение плотности чистого толуола</i>

Таблица 3.6. Вклад температуры, концентрации наночастиц и их размеров ($\phi=30\text{nm}$) на изменение плотности жидкого толуола (химически чистый) при атмосферном давлении.

Образец №1- химически чистый толуол		
$\Delta T, K$	(383-293)K	<i>Примечание</i>
$\sigma, \%$	< 11,25%	
Образец №2- химически чистый толуол+0,1%TiO ₂		
$\Delta T, K$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 19,19%	<i>Относительное значение плотности чистого толуола</i>
Образец №3- химически чистый толуол+0,2%TiO ₂		
$\Delta T, K$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,83%	<i>Относительное значение плотности чистого толуола</i>
Образец №4- химически чистый толуол+0,3%TiO ₂		
$\Delta T, K$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,84%	<i>Относительное значение плотности чистого толуола</i>
Образец №5- химически чистый толуол+0,4%TiO ₂		
$\Delta T, K$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,85%	<i>Относительное значение плотности чистого толуола</i>
Образец №6- химически чистый толуол+0,5%TiO ₂		

$\Delta T, K$	(433-293)K	
$\sigma, \%$	< 18,72%	<i>Относительное значение плотности чистого толуола</i>

В таблицах 3.4-3.6 показаны итоги расчетов по установлению степени влияния наночастиц на изменение плотности толуола в интервале температуры (293-433)K и атмосферном давлении (0,101)МПа, по итогам которого было заключено, что рост концентрации нанодобавок, оказывает все большее влияние на плотность образцов.

3.3. Влияние концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” и их фракции на изменение плотности системы толуола при атмосферном давлении и $T_i = \text{const}$.

С целью выявления влияния концентрации наночастиц с эффектами “памяти форм” нами использована математико-статическая обработка экспериментальных данных по плотности исследуемых растворов на основе толуола и наноразмерных частиц с эффектами “памяти форм” различной фракции (30нм, 50нм, 70нм) в интервале температуры (293-433)K и атмосферном давлении (0,101МПа). Результаты математико-статической обработки в виде таблиц приведены ниже (таблицы 3.7, П.3.1 и П.3.2) [141-А, 143-А, 145-А, 146-А, 147-А, 150-А, 152-А, 154-А, 155-А].

Таблица 3.7. Влияние концентрации наночастиц размеров ($\phi=30\text{нм}$) на изменение плотности жидкого толуола (химически чистый) при атмосферном давлении $T_i = \text{Const}$.

<i>Образец №1- химически чистый толуол</i>			
$T_i = \text{const}, K$	(293)K	от (0-0,5%) TiO_2 (нм)	<i>Примечание</i>
$\sigma, \%$		1,61%	<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const}, K$	(383)K	от (0-0,5%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$		1,54%	<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>

$T_i = \text{const, K}$	(433)K	от (0,1-0,5%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	1,66%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №2- химически чистый толуол+0,1% TiO_2			
$T_i = \text{const, K}$	(293)K	от (0-0,1%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0,36%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const, K}$	(383)K	от (0-0,1%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0,06%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const, K}$	(433)K	от (0-0,1%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0,29%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №3- химически чистый толуол+0,2% TiO_2			
$T_i = \text{const, K}$	(293)K	от (0-0,2%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0,61%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const, K}$	(383)K	от (0-0,2%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0,38%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const, K}$	(433)K	от (0-0,2%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0,17%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №4- химически чистый толуол+0,3% TiO_2			
$T_i = \text{const, K}$	(293)K	от (0-0,3%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0,89%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const, K}$	(383)K	от (0-0,3%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0,72%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const, K}$	(433)K	от (0-0,3%) TiO_2 (нм)	

$\sigma, \%$	1,04%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №5- химически чистый толуол+0,4%TiO₂			
T _i = const,К	(293)К	от (0-0,4%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	0,12%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
T _i = const,К	(383)К	от (0-0,4%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	0,72%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
T _i = const,К	(433)К	от (0-0,4%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	0,17%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №6- химически чистый толуол+0,5%TiO₂			
T _i = const,К	(293)К	от (0-0,5%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	1,61%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
T _i = const,К	(383)К	от (0-0,5%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	1,54%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
T _i = const,К	433)К	от (0-0,5%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	1,85%		<i>Относительно к значению плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>

Как показывают значения плотности растворов на основе толуола и наноразмерных частиц с эффектами “памяти форм” различной фракции (таблица 3.7, П.3.1 и П.3.2) влияние температуры, концентрации наночастиц и их фракции не подчиняются одной закономерности. Например, для образца №6 с фракцией наночастиц ($\phi=30$ нм) на изменение плотности жидкого толуола (химически чистый) при атмосферном давлении рост температуры влияет одинаково.

Для некоторых образцов концентрация нанонаполнителя с эффектами “памяти форм” на изменение плотности влияет по законам прямой линии, квадратичных, кубических и экспоненциальных законов. Данные предположения выявлены на основе обработки математико-статического аппарата, результатов, полученных на основе экспериментального исследования [141-А,143-А,145-А,146-А,147-А,150-А, 152-А, 154-А,155-А].

3.4. Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектом «памяти форм» и их фракции на изменение теплопроводности системы на основе толуола при различных условиях опыта

Приведенные экспериментальные установки в главе 2, данной работы, работающие методом регулярного теплового режима первого рода (цилиндрический бикалориметр –установка профессора И.Ф.Голубева (ТГПУ имени Садриддина Айни) и имеющиеся в лаборатории физики филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе - метод нагретой нити) были использованы для экспериментального исследования коэффициента эффективной теплопроводности изучаемых растворов (химически чистый толуол +наноразмерные частицы диоксида титана с различными фракциями (30нм, 50нм и 70нм) в интервале температур (293-433)К и давления (0,101-14,42) МПа. Установка, имеющиеся в лаборатории физики филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе - метод нагретой нити, была модернизирована и запатентована (Патент №ТJ 923, 2017,5с) группой исследователей школы профессора М.М.Сафарова и др. Подробное описание, методика измерения, расчетные уравнения и погрешности экспериментальных данных приведены в главе 2 настоящей работы (рисунки 2.2 и 2.4). Для сопоставления результатов полученных значений теплопроводности растворов с наночастицами диоксида титана с различными фракциями для отдельных изотерм была использована теория Максвелла. Теория Максвелла позволяет рассчитать эффективную теплопроводность наножидкостей при различных температурах и давлениях. Для такого подсчета эффективного коэффициента теплопровод-

ности наножидкостей необходимо знать коэффициент теплопроводности наночастиц, теплопроводность базовой жидкости при заданной температуре и давления [142-А,143-А,144-А, 149-А, 151-А,152-А].

3.4.1. Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” и их фракции на изменение теплопроводности растворов на основе толуола на линии насыщения

Как было указано, цель данной работы заключается в изучении теплопроводности исследуемых растворов на основе толуола с внедрением в него наночастиц различной фракции (30нм, 50нм и 70нм) и концентрации наночастиц от 0 до 0,5% диоксида титана в интервале температур (293-433)К и давлении (0.101-14,42)МПа на линии насыщения. В обзоре (глава 1-обзор литературных данных) было указано, что теплопроводность толуола была изучена достаточно хорошо по различным факторам. Поэтому мы перед собой ставили задачу исследовать влияние наночастиц с различными фракциями (30нм, 50нм и 70нм) на изменение теплопроводности толуола. На первом этапе была поставлена задача изучить эффективную теплопроводность исследуемых наножидкостей на линии насыщения [142-А,143-А,144-А,149-А, 151-А,152-А].

На рисунках 3.4-3.8 и в таблицах 3.8-3.11 представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований коэффициента эффективной теплопроводности (2D-диаграммы) толуола и наночастиц с различными фракциями в интервале температуры (273-443)К при атмосферном давлении (0,101)МПа, т.е. на линии насыщения толуола. Цель данного эксперимента заключается в том, что в химически чистом толуоле добавлено различное количество диоксида титана (0-0,5%) и наноразмерный диоксид титана TiO_2 (нм) [142-А,143-А,144-А,149-А,151-А,152-А].

Таблица 3.8. Эффективный коэффициент теплопроводности (λ , Вт/(м.К)) чистого жидкого толуола с внедрением наночастиц с эффектом “памяти форм” и фракциями (30нм) на линии насыщения

	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5	Образец №6
T, К	** $\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$
180	159	-	-	-	-	-
190	158	-	-	-	-	-
200	157	-	-	-	-	-
210	155	-	-	-	-	-
220	153	-	-	-	-	-
230	150	-	-	-	-	-
240	147	-	-	-	-	-
250	145	-	-	-	-	-
260	142	-	-	-	-	-
270	140	-	-	-	-	-
280	137	-	-	-	-	-
290	135	137	139	141	143	145
300	132	134	136	138	140	142
310	130	132	134	136	138	140
320	127	129	131	133	135	137
330	125	127	129	131	133	135
340	122	124	126	128	130	132
350	120	122	124	126	128	130
360	117	119	121	123	125	127
370	115	117	119	121	123	125
380	112	114	116	118	120	123
390	110	112	114	116	118	120
400	108	110	112	114	116	118
410	105	107	109	111	113	115
420	103	105	107	109	111	113
430	101	103	105	107	109	111
440	99	101	103	105	107	109
450	97	99	101	103	105	107
460	94	96	98	100	102	104
470	92	94	96	98	100	102
480	90	92	94	96	98	100
490	88	90	92	94	96	98
500	85	87	89	91	93	95
510	83	85	87	89	91	93

520	81	83	85	87	89	91
540	78	80	82	84	86	88
550	76	78	80	82	84	86

Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%TiO₂), (** - данные авторов работы [80] и [137]).

Таблица 3.9. Эффективный коэффициент теплопроводности (λ , Вт/(м.К)) чистого жидкого толуола с внедрением наночастиц с эффектом “памяти форм” и фракциями (50нм) на линии насыщения.

Т,К	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5	Образец №6
	** $\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$
180	159	-	-	-	-	-
190	158	-	-	-	-	-
200	157	-	-	-	-	-
210	155	-	-	-	-	-
220	153	-	-	-	-	-
230	150	-	-	-	-	-
240	147	-	-	-	-	-
250	145	-	-	-	-	-
260	142	-	-	-	-	-
270	140	-	-	-	-	-
280	137	-	-	-	-	-
290	135	140	143	144	146	148
300	132	137	139	141	143	145
310	130	135	137	139	141	143
320	127	132	134	136	138	140
330	125	130	132	134	136	138
340	122	127	129	131	133	135
350	120	125	127	129	131	133
360	117	122	124	126	128	130

370	115	120	122	124	126	128
380	112	117	119	121	123	126
390	110	115	117	119	121	123
400	108	113	115	117	119	121
410	105	109	111	114	116	118
420	103	107	109	111	114	116
430	101	106	108	110	112	114
440	99	104	106	108	110	112
450	97	102	104	106	108	110
460	94	99	101	103	105	107
470	92	97	99	101	103	105
480	90	95	97	99	101	103
490	88	93	95	97	99	101
500	85	90	92	94	97	98
510	83	88	90	92	94	96
520	81	86	88	90	92	94
540	78	83	85	87	89	91
550	76	81	83	85	87	89

Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%.TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%.TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%.TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%TiO₂), (** - данные авторов работы [80] и [137]).

Таблица 3.10. Эффективный коэффициент теплопроводности (λ , Вт/(м.К)) чистого жидкого толуола с внедрением наночастиц с эффектом “памяти форм” и фракциями (70нм) на линии насыщения

Т,К	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5	Образец №6
	** $\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$
180	159	-	-	-	-	-
190	158	-	-	-	-	-
200	157	-	-	-	-	-

210	155	-	-	-	-	-
220	153	-	-	-	-	-
230	150	-	-	-	-	-
240	147	-	-	-	-	-
250	145	-	-	-	-	-
260	142	-	-	-	-	-
270	140	-	-	-	-	-
280	137	-	-	-	-	-
290	135	144	147	148	150	152
300	132	141	143	144	147	149
310	130	139	141	143	145	147
320	127	136	138	140	142	144
330	125	134	136	138	140	142
340	122	131	133	135	137	139
350	120	129	131	133	135	137
360	117	126	128	130	132	134
370	115	124	126	128	130	132
380	112	121	123	125	127	130
390	110	119	121	123	125	127
400	108	117	119	121	123	125
410	105	113	115	117	120	122
420	103	111	113	115	119	120
430	101	110	112	114	116	118
440	99	108	110	112	114	116
450	97	106	108	110	112	114
460	94	103	105	107	109	111
470	92	101	104	105	107	109
480	90	99	101	103	105	107
490	88	97	99	101	103	106
500	85	94	96	98	101	102

510	83	92	94	96	98	100
520	81	90	92	94	96	98
540	78	87	89	91	93	95
550	76	85	87	89	91	94

*Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%.TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%.TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%.TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%.TiO₂), (** - данные авторов работы [80] и [137]).*

Результаты определения коэффициента теплопроводности на линии насыщения (таблицы 3.8-3.10) показали, что с повышением температуры теплопроводность исследуемых растворов (т.е. бинарных растворов) на линии насыщения уменьшается по линейному закону и с увеличением концентрации диоксида титана растет по линейному закону. Для х.ч. толуола при изменении температуры от 290 до 550К теплопроводность падает на 77,63%, для образца №2- (х.ч. толуол +0,1%TiO₂ (70нм) (таблица 3. 10) -уменьшается на 69,41%. Добавка 0,5% TiO₂ (70нм) приводит к падение теплопроводности данного раствора на 61,7%. Например, для коллоидного раствора системы толуол + до 0,5% TiO₂ (70нм) при температуре 290 К, теплопроводность растет на 12,59%, а при температуре 550К эта разница доходит до 23,68%. Надо отметить, что такая тенденция изменения коэффициента теплопроводности наблюдается для других растворов [142-А,143-А,144-А,149-А,151-А,152-А].

3.4.2. Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” с разными фракциями на изменение теплопроводности толуола и их растворов при атмосферном давлении.

Коэффициент эффективной теплопроводности коллоидных растворов системы толуола в интервале температуры (293-383)К и атмосферном давлении (0,101)МПа, зависящий от концентрации наноразмерной фракции от 0 до 0,5%TiO₂ (70 нм) также нами была измерена методом цилиндрического бикало-

риметра. Результаты исследования приведены, в таблицах 3.11-3.13 [142-А,143-А,144-А,149-А,151-А,152-А].

Таблица 3.11.-Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) системы (жидкий толуол и наночастицы) с фракцией частиц ($\phi=30\text{нм}$) в зависимости от температуры при атмосферном давлении ($p=0,101 \text{ МПа}$)

Т,К	№1	№2	№3	№4	№5	№6
293,4	134,4	139,7	144,8	148,7	152,7	158,8
303,7	131,1	136,6	141,7	146,8	151,6	156,9
313,4	129,8	134,5	139,6	144,8	149,7	152,6
323,5	126,4	131,5	136,6	141,7	146,6	150,8
333,4	125,2	130,4	135,5	140,6	144,8	149,7
343,3	121,6	126,3	131,4	136,5	141,7	146,6
363,5	116,6	121,3	126,3	131,5	136,6	142,7
383,7	111,5	116,0	121,2	126,3	131,4	136,5

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO_2); №3- (толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); № 4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

Таблица 3.12.-Расчетно-экспериментальное значение коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) системы (жидкого толуола и наночастиц) фракции ($\phi=50\text{нм}$) в зависимости от температуры при атмосферном давлении ($p=0,101 \text{ МПа}$)

Т,К	№1	№2	№3	№4	№5	№6
293,4	140,2	145,7	150,8	154,7	158,7	166,3
303,7	137,1	142,6	147,7	153,8	157,6	163,9
313,4	135,8	140,5	145,6	150,8	155,7	158,6

323,5	132,4	137,5	142,6	147,7	152,6	157,8
333,4	131,2	136,4	141,5	146,6	150,8	154,7
343,3	127,6	132,3	137,4	142,5	147,7	152,6
363,5	122,6	127,3	132,3	137,5	142,6	148,7
383,7	117,5	122,0	127,2	132,3	137,4	142,5

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO₂); №3- (толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO₂); № 4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO₂); №5 -(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO₂); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO₂).

Таблица 3.13. Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)) системы (жидкий толуол и наночастицы) с фракциями ($\phi=70$ нм) в зависимости от температуры при атмосферном давлении ($p=0,101$ МПа)

Т,К	№1	№2	№3	№4	№5	№6
293,2	147,2	152,3	157,8	162,5	167,7	173,3
303,4	144,1	149,6	154,7	160,8	163,2	170,3
313,6	142,2	147,5	152,6	157,3	162,7	166,6
323,5	139,4	144,5	149,3	154,4	159,6	164,2
333,8	138,2	143,0	148,5	153,6	157,8	162,7
343,9	134,6	139,3	144,4	149,1	154,3	158,2
363,6	129,6	134,3	139,3	144,5	149,6	154,3
383,7	124,5	129,2	134,3	139,3	144,4	149,2

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO₂); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO₂); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO₂); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO₂).

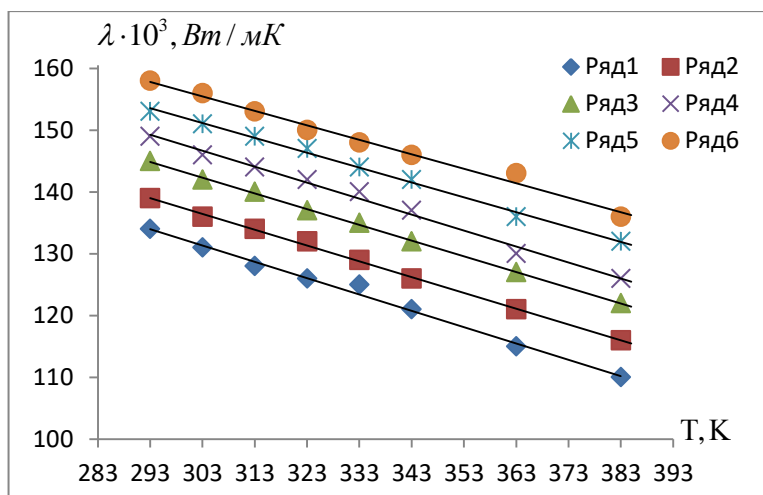


Рисунок 3.4.-Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы толуола и наночастиц с эффектом «памяти форм» с фракциями ($\phi=30\text{нм}$) при различных температурах и концентрациях нанонаполнителя. Объекты исследования б: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1 % TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч. + 0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч. + 0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч. + 0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч. + 0,5% TiO_2).

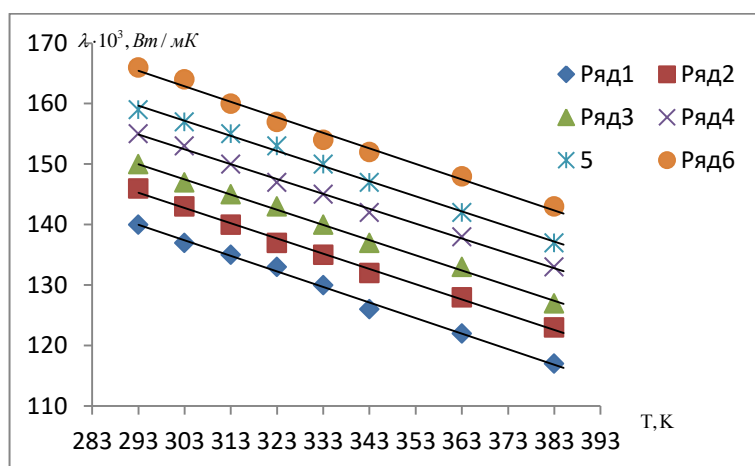


Рисунок 3.5.-Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы толуол и наночастицы с эффектами «памяти форм» с фракцией ($\phi=50\text{нм}$) при различных температурах и концентрации нанонаполнителя. Объекты исследование: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1 % TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч. + 0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч. + 0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч. + 0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч. + 0,5% TiO_2).

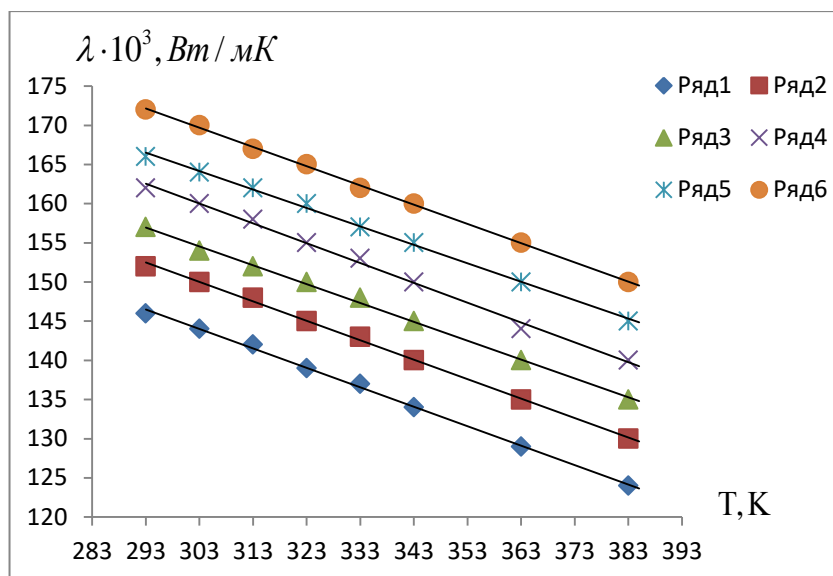


Рисунок 3.6.-Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы толуол и наночастицы с эффектом “памяти форм” с фракцией ($\phi=70\text{нм}$) при различных температурах и концентрации нанонаполнителя. Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2-(толуол жидкий х.ч. + 0,1 % TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6-(толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

В таблицах 3.11-3.13 и на рисунках 3.4-3.6 представлены результаты экспериментально-теоретического исследования теплопроводности толуола при различных температурах, атмосферном давлении и концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” различной фракции (30нм, 50нм, 70 нм), которые были исследованы с помощью установки профессора И.Ф. Голубева и модели Максвелла [142-А,143-А,144-А,149-А,151-А,152-А].

Результаты измерения теплопроводности коллоидных растворов на основе толуола, показали, что концентрация введенных наночастиц с эффектом “памяти форм” повышает теплопроводность растворов, а повышение температуры будет способствовать падению коэффициента теплопроводности исследуемых растворов. Увеличение фракционных показателей добавляемых наночастиц с эффектом “памяти форм”, также способствует росту коэффициента эффективной теплопроводности приготовленных образцов во

всем рассматриваемом интервале температуры. Например, при 293К и атмосферном давлении введение наночастиц с фракцией ($\phi=70\text{нм}$) приводит к росту теплопроводности на 9,04%, а при 383К на 12,16%. Для данного образца повышение концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” при 293К способствует росту теплопроводности на 17,73%, а при 383К теплопроводность повышается на 19,84% [142-А,143-А,144-А,149-А,151-А,152-А].

3.4.3. Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” с различными фракциями на изменение теплопроводности газообразного толуола

По данным приведенном в литературе толуол при атмосферном давлении в точке температуры более 400К является толуол в газообразном виде. Теплопроводность толуола в газообразном виде измерена авторами работ [88,137] и рекомендована их для использование при инженерные расчеты в интервале (400-680)К[142-А,143-А,144-А,149-А,151-А,152-А].

Таблица 3.14.- Расчетно-экспериментальное значение коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^4, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) газообразного толуола [88,137] и внедренным наночастиц с эффектом ” памяти форм” фракции ($\phi = 30\text{нм}$) в зависимости от температуры при атмосферном давлении ($p = 0,101 \text{ МПа}$).

Т, К	№1	№2	№3	№4	№5	№6
400	18,7	19,9	21,1	22,3	23,5	25,7
420	21,1	22,2	24,4	25,7	26,8	28,1
440	23,3	24,5	25,9	27,5	29,3	30,3
460	25,6	26,8	28,6	30,8	32,4	33,6
480	27,7	28,8	30,4	32,3	33,5	35,7
500	30,2	31,4	32,6	33,8	35,8	37,5
520	32,5	33,7	34,9	36,1	38,3	40,5
540	34,8	36,0	37,2	38,4	40,6	42,8
560	37,1	38,3	39,5	40,7	42,9	44,8
580	39,4	40,6	41,8	43,0	44,2	46,4

600	41,7	42,9	44,1	45,3	46,5	47,7
620	44,2	45,2	46,4	47,6	48,8	49,6
640	46,4	47,6	48,8	50,4	51,2	52,4
660	48,8	50,1	51,3	52,5	53,7	54,9
680	51,2	52,4	53,6	54,8	56,2	57,2

Объекты исследования: №1-(толуол газообразный); №2- (толуол газообразный+ 0,1% TiO_2); №3-(толуол газообразный+0,2% TiO_2); №4-(толуол газообразный+0,3% TiO_2); №5-(толуол газообразный+0,4% TiO_2); №6- (толуол газообразный+0,5% TiO_2)

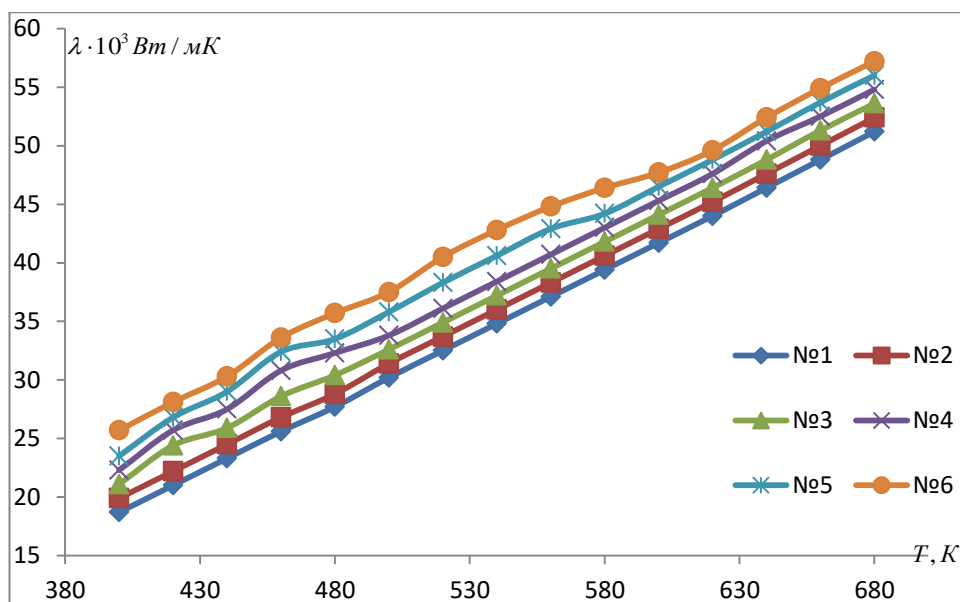


Рисунок 3.7.-Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы газообразного толуола и наночастиц с эффектами памяти “форм” с фракцией ($\phi=30$ нм) при различных температурах, давлениях ($p=0, 101$ МПа) и концентрации нанонаполнителя. Объекты исследования: №1-(толуол газообразный); №2- (толуол газообразный+0,1% TiO_2); №3-(толуол газообразный +0,2 % TiO_2); №4-(толуол газообразный+0,3% TiO_2); №5-(толуол газообразный+ 0,4 % TiO_2); №6- (толуол газообразный+0,5% TiO_2)

Таблица 3.15.- Расчетно-экспериментальное значение коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^4$, Вт/(мК)) газообразного толуола [88,137] и внедренных наночастиц с эффектом ”памяти форм” фракции ($\phi = 50$ нм) в зависимости от температуры при атмосферном давлении ($p = 0,101$ МПа).

Т, К	№1	№2	№3	№4	№5	№6
400	18,7	20,6	23,3	25,9	27,6	29,5
420	22,0	24,3	26,3	28,7	30,5	32,5
440	23,3	25,5	27,4	29,3	33,0	35,9
460	25,6	27,0	28,9	32,0	34,4	37,4
480	27,7	29,5	31,6	33,8	36,0	39,7
500	30,2	32,5	34,2	36,8	38,7	41,7
520	32,5	34,7	36,9	39,7	40,6	43,0
540	34,8	36,4	38,7	41,3	42,7	45,2
560	37,1	39,2	41,2	42,8	44,4	46,9
580	39,4	41,3	43,4	45,5	47,5	49,3
600	41,7	43,9	45,8	47,0	49,5	51,5
620	44,0	46,2	48,0	49,3	50,5	53,0
640	46,4	49,1	50,5	51,7	53,1	55,1
660	48,8	50,9	52,1	54,6	56,4	58,3
680	51,2	53,0	54,8	56,9	58,6	60,3

Объекты исследования: №1-(толуол газообразный); №2- (толуол газообразный+ 0,1% TiO₂); №3-(толуол газообразный+0,2% TiO₂); №4-(толуол газообразный+0,3% TiO₂); №5-(толуол газообразный+0,4% TiO₂); №6- (толуол газообразный+0,5% TiO₂)

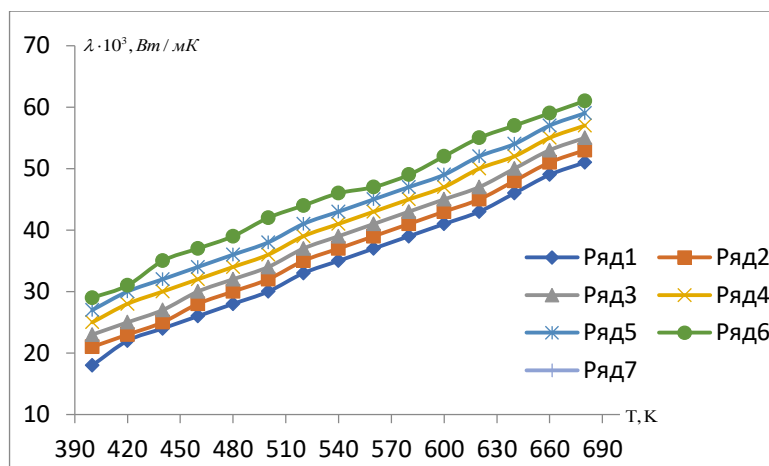


Рисунок 3.8.-Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы газообразного толуола и наночастиц с эффектами памяти “форм”с фракцией ($\phi=50\text{нм}$) при различных температурах, давления ($p=0,101\text{МПа}$) и концентрации нано наполнителя. Объекты исследование: №1- (толуол газообразный); №2- (толуол газообразный+ 0,1% TiO_2); №3- (толуол газообразный+0,2% TiO_2); №4- (толуолгазообразный+0,3% TiO_2); №5- (толуол газообразный+ 0,4 % TiO_2); №6- (толуол газообразный+0,5% TiO_2)

Таблица 3.16.- Расчетно-экспериментальное значение коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^4, \text{Вт}/(\text{мК})$) газообразного толуола [88,137] и внедренных наночастиц с эффектами памяти ”форм” фракции ($\phi =70\text{нм}$) в зависимости от температуры при атмосферном давлении ($p= 0,101 \text{ МПа}$).

Т, К	№1	№2	№3	№4	№5	№6
400	18,7	21,6	24,3	26,9	29,6	32,5
420	22,0	25,3	28,3	31,7	34,5	37,5
440	23,3	27,5	31,4	35,3	39,0	42,2
460	25,6	29,0	33,2	37,0	41,4	44,5
480	27,7	31,2	35,6	39,3	43,2	47,3
500	30,2	34,3	38,4	42,3	46,2	50,0
520	32,5	36,5	40,0	44,2	48,3	53,9
540	34,8	38,7	42,5	46,7	50,3	54,2

560	37,1	41,2	44,4	48,5	52,3	56,0
580	39,4	43,2	47,3	51,2	55,4	59,1
600	41,7	45,6	49,3	53,1	57,2	60,9
620	44,0	47,9	51,8	55,6	59,4	63,2
640	46,4	50,3	54,2	58,5	62,3	66,9
660	48,8	52,7	56,3	60,4	64,3	68,8
680	51,2	55,3	59,0	62,4	66,0	70,1

Объекты исследования: №1-(толуол газообразный); №2- (толуол газообразный+ 0,1% TiO_2); №3-(толуол газообразный+0,2% TiO_2); №4-(толуол газообразный+0,3% TiO_2); №5-(толуол газообразный+0,4% TiO_2); №6- (толуол газообразный+0,5% TiO_2)

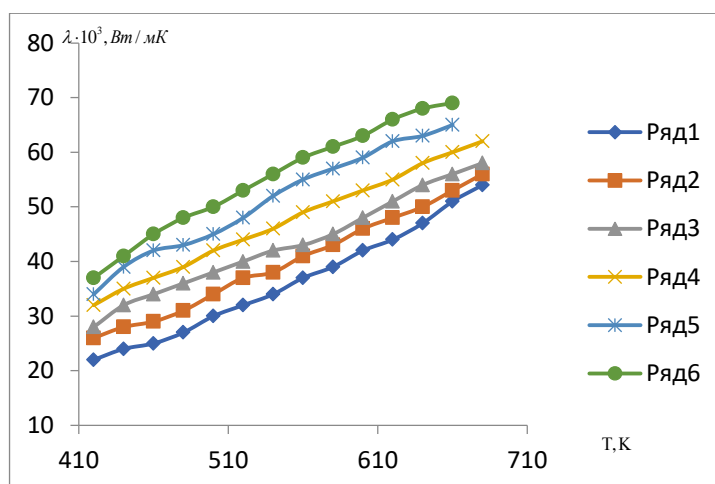


Рисунок 3.9.-Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы газообразного толуола и наночастиц с эффектом “памяти форм” с фракцией ($\phi=70$ нм) при различных температурах, давления ($p=0,101$ МПа) и концентрации нанонаполнителя. Объекты исследования: №1-(толуол газообразный); №2- (толуол газообразный+ 0,1% TiO_2); №3-(толуол газообразный+0,2% TiO_2); №4-(толуол газообразный+0,3% TiO_2); №5-(толуол газообразный+ 0,4 % TiO_2); №6- (толуол газообразный+0,5% TiO_2).

В таблицах 3.13-3.15 и на рисунках 3,7-3,9 представлены результаты экспериментально-теоретического исследования теплопроводности газооб-

разного толуола при различных температурах и атмосферном давлении и концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” различной фракции (30нм, 50нм, 70нм), которые было исследована с помощью установки профессора И.Ф. Голубева и модель Максвелла[142-А,143-А,144-А,149-А,151-А, 152-А].

Результаты измерение теплопроводности коллоидных растворов на основе толуола (газообразного), показало, что концентрации введенного наночастиц с эффектом “памяти форм” повышает теплопроводность растворов, а повышение температуры будет способствовать росту коэффициента теплопроводности исследуемых растворов (почти прямая линии). Повышение фракции наноразмерной частиц с эффектом “памяти форм”, также увеличивает коэффициент эффективной теплопроводности растворов во всем интервале температуры(400-680)К. Например, при температуры 400К при атмосферном давлении внедрение наночастиц с фракцией ($\phi=70$ нм), теплопроводность растет на 75,67%, при температуры 680К-этот изменение 36,91 %[142-А,143-А,144-А,149-А,151-А,152-А].

3.4.4. Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” с разными фракциями на изменение теплопроводности жидкого толуола при различных температурах и давлениях.

Теплопроводность химически чистого толуола при различных температурах (190-680)К и давлениях (0,101-150)МПа измерена и представлена в виде рекомендуемых таблиц и в работе [137].

Наши данные охватывают диапазон изменения температуры (300-440)К и давления (0,101-14,24)МПа (настоящая технико-экспериментальная возможность). Надо отметить, что для численных расчетов коэффициента эффективной теплопроводности растворов на основе толуола и наночастиц с эффектом “памяти форм” с различными фракциями (30нм, 50нм и 70нм), можно использовать теорию Максвелла, но в данной теории необходимо располагать значениями коэффициента теплопроводности наночастиц с эф-

фектом “памяти форм” с разными фракциями при высоких температурах, при этом в литературе отсутствует эффективная теплопроводность диоксида титана в данном диапазоне температуры. Поэтому мы не стали рассчитывать эффективную теплопроводность исследуемых растворов в выше перечисленных диапазонах температуры и давления. В таблицах ниже приводятся результаты экспериментально-теоретического исследования коэффициента эффективной теплопроводности растворов (таблица 3.17- 3.19) [142-А,143-А,144-А,149-А,151-А,152-А].

Таблица 3.17.- Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) жидкого толуола [88,137] как в чистом виде, так и с введением наночастиц с эффектом “памяти форм” фракцией ($\phi = 30\text{нм}$) в зависимости от температуры при давлении ($p = 2,94 \text{ МПа}$).

Т, К	№1 [137]	№2	№3	№4	№5	№6
300,2	135,0	140,3	145,1	150,5	155,3	160,4
320,5	130,0	136,7	141,9	147,7	153,0	159,2
340,4	125,0	131,5	137,2	143,3	149,2	155,3
360,7	120,0	126,7	132,3	138,5	144,6	150,2
380,4	115,0	121,8	127,0	133,2	139,2	145,3
400,5	111,0	117,7	122,9	128,1	134,5	140,5
420,4	106,0	112,7	118,1	124,2	130,4	136,4
440,3	102,0	108,2	114,3	120,4	126,3	132,4

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

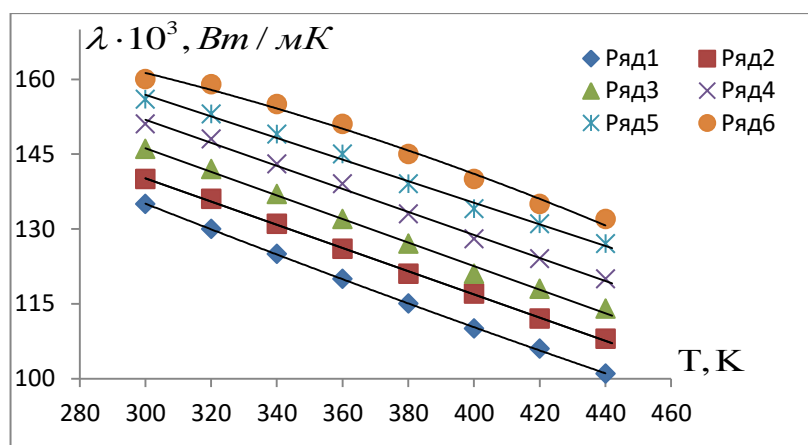


Рисунок 3.10. Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы жидкого толуола и наночастиц с эффектом “памяти форм” с фракцией ($\phi=30\text{нм}$) от температуры при давлении ($p=2,94\text{МПа}$) и различной концентрации нанонаполнителя. Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч.+0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3 % TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч +0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5 % TiO_2).

Таблица 3.18. Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) жидкого толуола [88,137] как в чистом виде, так и с введением наночастиц с эффектом “памяти форм” фракцией ($\phi = 50\text{нм}$) в зависимости от температуры при давлении ($p=2,94\text{МПа}$).

Т, К	№1 [137]	№2	№3	№4	№5	№6
300,2	135,0	146,3	151,1	156,5	161,3	166,4
320,5	130,0	142,7	148,2	153,7	159,0	164,2
340,4	125,0	137,5	143,2	149,3	155,2	161,3
360,7	120,0	132,2	138,3	144,5	150,6	156,2
380,4	115,0	127,3	133,5	139,2	146,2	151,4
400,5	111,0	123,2	128,3	134,3	140,4	146,5
420,4	106,0	118,3	124,2	130,2	136,4	142,4
440,3	102,0	115,2	120,3	126,4	132,3	138,6

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч.+ 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

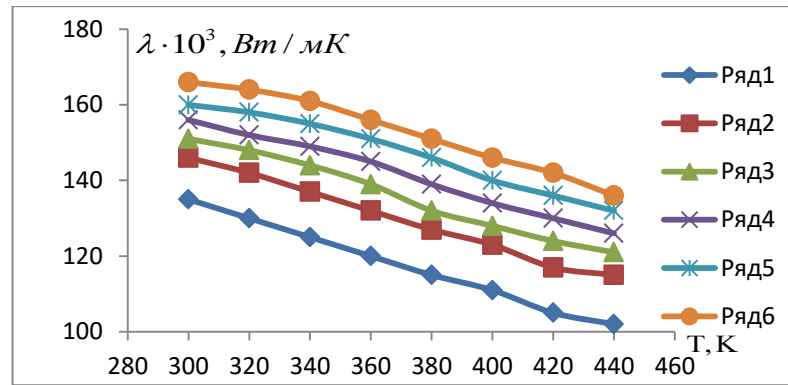


Рисунок 3.11. Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы жидкого толуола и наночастиц с эффектом “памяти форм” с фракцией ($\phi=50\text{нм}$) от температуры при давлении ($p=2,94\text{МПа}$) и различной концентрации нанонаполнителя. *Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2-(толуол жидкий х.ч.+0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6-(толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).*

Таблица 3.19. Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{мК})$) жидкого толуола [88,137] как в чистом виде, так и с введением наночастиц с эффектом “памяти форм” фракцией ($\phi = 70\text{нм}$) в зависимости от температуры при давлении ($p=2,94\text{МПа}$).

T, К	№1 [137]	№2	№3	№4	№5	№6
300,2	135,0	153,3	158,1	163,5	168,3	173,4
320,5	130,0	149,7	155,2	160,3	166,2	171,2
340,4	125,0	144,5	150,2	156,3	162,2	168,3
360,7	120,0	139,2	145,3	151,5	157,6	163,2
380,4	115,0	134,3	140,5	146,2	153,2	158,4
400,5	111,0	130,2	135,3	141,3	147,4	153,5
420,4	106,0	125,3	131,2	137,2	143,4	149,4
440,3	102,0	122,2	127,3	133,4	139,3	145,6

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2-(толуол жидкий х.ч.+0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6-(толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

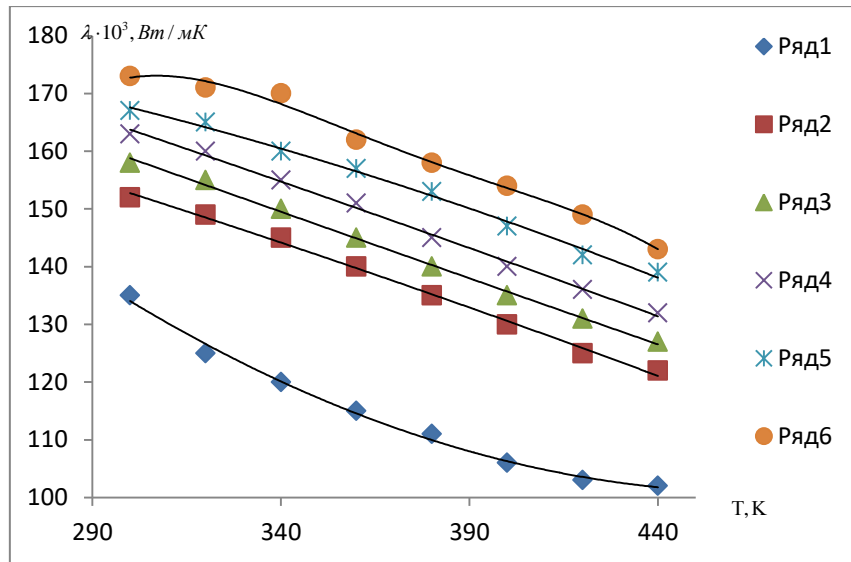


Рисунок 3.12. Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы жидкого толуола и наночастиц с эффектами “памяти форм” с фракцией ($\phi=70$ нм) от температуры при давлении ($p=2,94$ МПа) и различной концентрации нанонаполнителя. *Объекты исследования: №1- (толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO_2); №3- (толуол жидкий х.ч. + 0,2% TiO_2); №4- (толуол жидкий х.ч. + 0,3% TiO_2); №5- (толуол жидкий х.ч. + 0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч. + 0,5 % TiO_2).*

Как видно из таблиц 3.17-3.19 и рисунков 3.10-3.12 коэффициент эффективной теплопроводности исследуемых коллоидных двухкомпонентных растворов системы (жидкий толуол+наноразмерные частицы диоксида титана различной фракции (30 нм, 50 нм, 70 нм)) с повышением температуры уменьшается, добавка наноразмерной фракции диоксида титана и увеличение концентрации также повышает теплопроводности исследуемых растворов. Согласно результатам исследований было установлено, что рост температуры способствует уменьшению теплопроводности изучаемых растворов. Так, для образца №2 (таблица 3.11) в случае изменения температуры от 300 до 440 К при давлении ($p=2,94$ МПа) теплопроводность уменьшается на 25,45%, для образца №4 при тех же параметрах состояния теплопроводность уменьшается на 22,56%, а для образца №6 этот показатель доходит до 19,09%.

Таблица 3.20. Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{мК})$) жидкого толуола [88,137] как в чистом виде, так и с внедрением наночастиц с эффектом ”памяти форм” с фракцией ($\phi = 30\text{нм}$) в зависимости от температуры при давлении ($p=4,91$ МПа).

Т, К	№1 [137]	№2	№3	№4	№5	№6
300,2	135,5	142,3	152,1	157,5	162,3	167,4
320,5	130,3	137,7	148,9	154,7	159,0	164,2
340,4	126,2	133,5	140,2	150,3	156,2	162,3
360,7	121,0	127,7	134,3	145,5	152,6	157,2
380,4	116,3	123,4	130,0	141,2	147,2	152,3
400,5	112,0	119,7	127,9	135,1	142,5	147,5
420,4	107,2	114,7	123,1	131,2	137,4	143,4
440,3	103,0	110,2	117,3	127,4	133,3	139,4

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

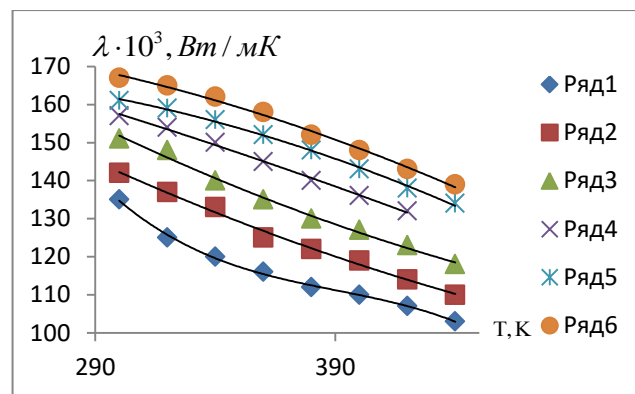


Рисунок 3.13. Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы жидкого толуола и наночастиц с эффектом “памяти форм” с фракцией ($\phi=30\text{нм}$) от температуры при давлении ($p= 4,94\text{МПа}$) и концентрации нанонаполнителя. Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч.+ 0,1 % TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5 % TiO_2).

Надо отметить, что в данные образцы представляют собой систему из жидкого толуола как в чистом виде, так и с добавлением 0,5% наночастиц с эффектом “памяти форм” фракции ($\phi = 70\text{нм}$) [142-А,143-А,144-А,149-А,151-А,152-А].

Таблица 3.21. Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) жидкого толуола [88,137] как в чистом виде, так и с внедрением наночастиц с эффектом ”памяти форм” с фракцией ($\phi = 50\text{нм}$) в зависимости от температуры при давлении ($p=4,91\text{МПа}$).

Т, К	№1 [137]	№2	№3	№4	№5	№6
300,2	135,5	143,3	160,1	165,5	170,3	174,4
320,5	130,3	138,7	153,4	159,7	164,0	169,2
340,4	126,2	134,5	142,2	154,3	160,2	167,3
360,7	121,0	130,2	138,3	149,5	156,6	165,2
380,4	116,3	128,4	135,0	145,2	152,2	162,3
400,5	112,0	127,7	133,6	143,1	149,5	159,5
420,4	107,2	123,7	131,1	139,2	146,4	156,4
440,3	103,0	119,2	129,3	136,4	142,3	153,4

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч.+ 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

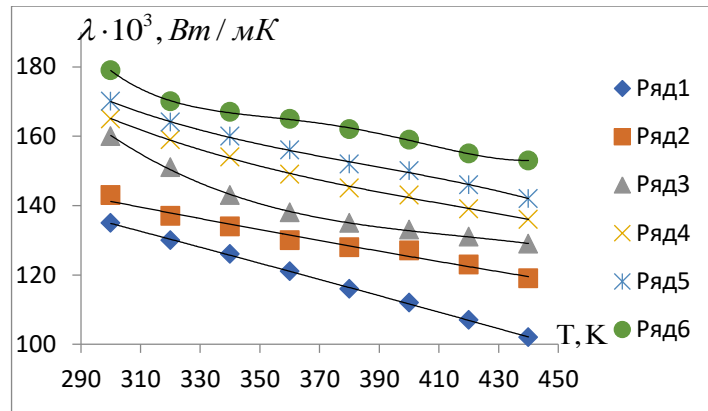


Рисунок 3.14. Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы жидкого толуола и наночастиц с эффектом “памяти форм” с фракцией ($\phi=50\text{нм}$) от температуры при давлении ($p=4,94\text{МПа}$) и концентрации нанонаполнителя. *Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2-(толуол жидкий х.ч.+ 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6-(толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).*

Таблица 3.23. Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) жидкого толуола [88,137] как в чистом виде, так и с внедрением наночастиц с эффектом “памяти форм” с фракцией ($\phi=70\text{нм}$) в зависимости от температуры при давлении ($p=4,91\text{МПа}$).

Т, К	№1 [137]	№2	№3	№4	№5	№6
300,2	135,5	148,3	169,1	174,5	179,3	185,4
320,5	130,3	143,4	165,4	171,7	176,0	182,2
340,4	126,2	141,5	156,2	167,3	173,2	179,3
360,7	121,0	139,2	147,3	164,5	169,6	175,2
380,4	116,3	137,4	144,0	156,2	163,2	169,3
400,5	112,0	134,7	142,6	151,1	159,5	164,5
420,4	107,2	131,4	139,1	148,2	154,4	160,4
440,3	103,0	126,2	134,3	144,4	150,3	156,4

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2-(толуол жидкий х.ч.+ 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6-(толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

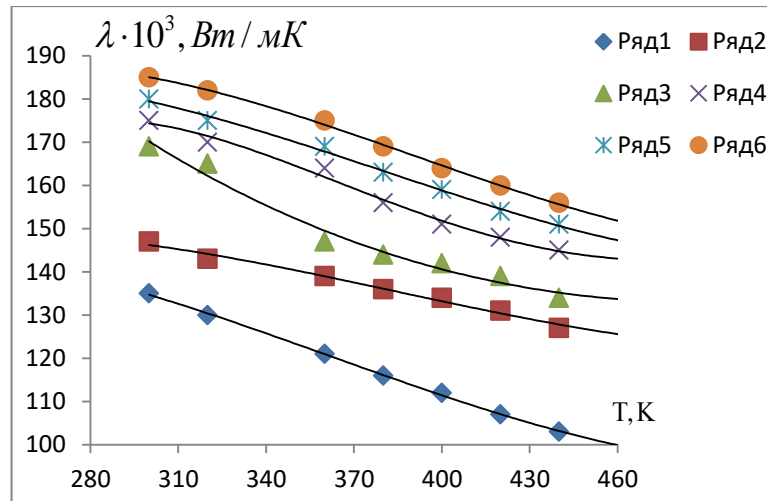


Рисунок 3.15. Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы жидкого толуола и наночастиц с эффектом “памяти форм” с фракцией ($\phi=70\text{нм}$) от температуры при давлении ($p=4,94\text{МПа}$) и концентрации нанонаполнителя. Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч.+0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5 % TiO_2).

Как видно из таблиц 3.19-3.21 и рисунков 3.13-3.15 коэффициент эффективной теплопроводности исследуемых коллоидных двухкомпонент-ных растворов системы (жидкий толуол+диоксид титана наноразмерных фракций) с повышением температуры уменьшается, а добавка наноразмерного диоксида титана и увеличение его концентрации повышает теплопроводность исследуемых растворов. Результаты исследования показали, что повышение температуры влечет уменьшение коэффициента теплопроводности исследуемых коллоидных растворов. Например, для образца №2 (таблица 3.21) при изменении температуры от 300 до 440К и давлении ($p=4,94\text{МПа}$) теплопроводность уменьшается на 14,34%, для образца №4 в этом же интервале параметров состояния теплопроводность уменьшается на 20,84%, а для образца №6 данное изменение доходит до 17,26%. Надо отметить, что данные образцы представляют собой систему из жидкого толуола как в чистом виде, так и с внедрением 0,5% наночастиц с эффектом ”памяти форм” фракции ($\phi=70\text{нм}$) [142-А,143-А,144-А,149-А,151-А,152-А].

Таблица 3.24. Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) жидкого толуола [88,137] как в чистом виде, так и с внедрением наночастиц с эффектом ”памяти форм” с фракцией ($\phi=30\text{нм}$) в зависимости от температуры при давлении ($p=9,81\text{МПа}$).

Т, К	№1 [137]	№2	№3	№4	№5	№6
300,2	136,1	155,3	170,1	175,5	180,3	187,4
320,5	131,3	148,7	163,4	171,7	177,0	183,2
360,7	122,0	140,2	148,3	155,5	170,6	175,2
400,5	113,0	133,7	141,6	147,1	160,5	165,5
440,3	104,0	122,2	130,3	138,4	146,3	154,4

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

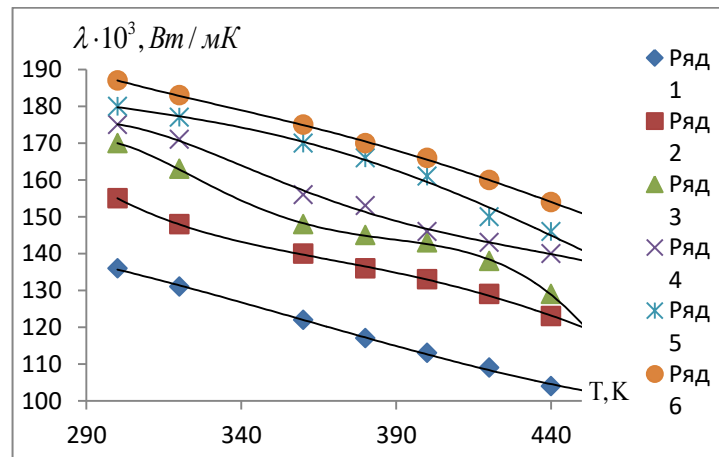


Рисунок 3.16. Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы жидкого толуола и наночастиц с эффектом “памяти форм” с фракцией ($\phi=30\text{нм}$) от температуры при давлении ($p= 9,81\text{МПа}$) и концентрации нанонаполнителя. Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч.+0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5 % TiO_2).

Таблица 3.25. Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) жидкого толуола [88,137] как в чистом виде, так и с внедрением наночастиц с эффектом ”памяти форм” с фракцией ($\phi=50\text{нм}$) в зависимости от температуры при давлении ($p=9,81\text{МПа}$).

Т, К	№1 [137]	№2	№3	№4	№5	№6
300,2	136,1	160,3	175,1	180,5	185,3	192,4
320,5	131,3	153,7	171,4	177,7	183,0	189,2
340,4	127,0	149,5	163,2	173,3	179,2	185,3
360,7	122,0	145,2	157,3	167,5	175,6	180,2
380,4	117,2	141,4	150,0	158,2	171,2	175,3
420,4	109,0	134,7	143,1	150,2	159,4	165,4
440,3	104,0	127,2	135,3	145,4	150,3	161,4

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

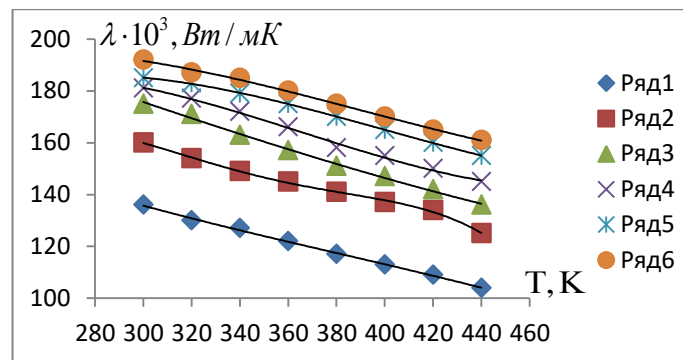


Рисунок 3.17. Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы жидкого толуола и наночастиц с эффектом “памяти форм” с фракцией ($\phi=50\text{нм}$) от температуры при давлении ($p= 9,81\text{МПа}$) и концентрации нанонаполнителя. Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2-(толуол жидкий х.ч.+0,1% TiO_2); №3 -(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6-(толуол жидкий х.ч.+0,5 % TiO_2).

Таблица 3.26. Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) жидкого толуола [88,137] как в чистом виде, так и с внедрением наночастиц с эффектом ”памяти форм” с фракцией ($\phi=70\text{нм}$) в зависимости от температуры при давлении ($p=9,81\text{МПа}$).

Т, К	№1 [137]	№2	№3	№4	№5	№6
300,2	136,1	166,3	181,1	186,5	191,3	198,4
320,5	131,3	159,7	174,4	183,7	189,0	196,2
360,7	122,0	151,2	159,3	172,5	181,6	186,2
380,4	117,2	147,4	156,0	167,2	177,2	181,3
400,5	113,0	144,7	152,6	162,1	171,5	176,5
420,4	109,0	140,7	149,1	157,2	166,4	171,4
440,3	104,0	136,2	145,3	153,4	161,3	167,4

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

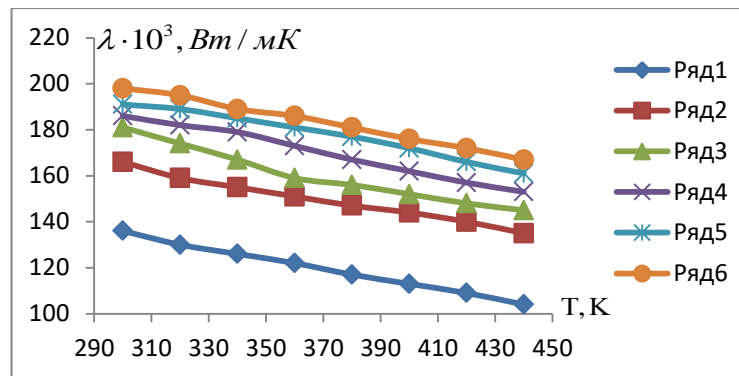


Рисунок 3.18. Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы жидкого толуола и наночастиц с эффектом “памяти форм ” с фракцией ($\phi=70\text{нм}$) от температуры при давлении ($p= 9,81\text{МПа}$) и концентрации нанонаполнителя. Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2-(толуол жидкий х.ч.+0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5 % TiO_2).

Таблица 3.27. Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{мК})$) жидкого толуола [88,137] как в чистом виде, так и с внедрением наночастиц с эффектом ”памяти форм” с фракцией ($\phi = 30\text{нм}$) в зависимости от температуры при давлении ($p=14,42\text{МПа}$).

Т, К	№1 [137]	№2	№3	№4	№5	№6
300,2	136,1	173,3	188,1	194,5	198,3	205,4
320,5	131,3	165,7	180,4	188,7	194,0	203,2
340,4	127,0	162,5	170,2	183,3	190,2	198,3
360,7	122,0	158,2	166,3	175,5	188,6	192,2
380,4	117,2	153,4	162,0	171,2	184,2	188,3
400,5	113,0	151,7	159,6	167,1	180,5	184,5
420,4	109,0	146,7	155,1	162,2	176,4	181,4

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

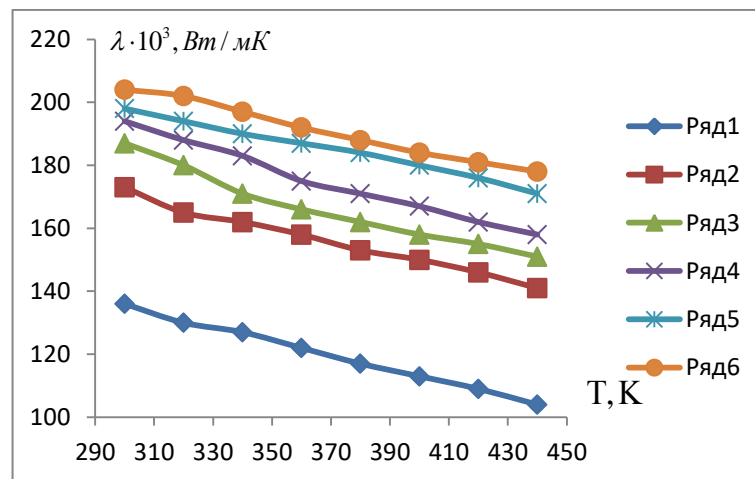


Рисунок 3.19. Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы жидкого толуола и наночастиц с эффектом “памяти форм” с фракцией ($\phi=30\text{нм}$) от температуры при давлении ($p=14,42\text{МПа}$) и концентрации нанонаполнителя. Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2-(толуол жидкий х.ч.+0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6-(толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

Таблица 3.28. Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{мК})$) жидкого толуола [88,137] как в чистом виде, так и с внедрением наночастиц с эффектом ”памяти форм” с фракцией ($\phi=50\text{нм}$) в зависимости от температуры при давлении ($p=14,42\text{МПа}$).

Т, К	№1 [137]	№2	№3	№4	№5	№6
300,2	136,1	180,3	195,1	201,5	205,3	212,4
320,5	131,3	172,7	189,4	197,7	203,0	210,2
340,4	127,0	169,5	182,2	190,3	199,2	205,3
360,7	122,0	165,2	173,3	182,5	195,6	200,2
380,4	117,2	160,4	169,0	178,2	191,2	195,3
400,5	113,0	158,7	166,0	174,1	187,5	192,5
420,4	109,0	153,7	162,1	169,2	182,4	187,4
440,3	104,0	148,2	157,3	165,4	176,3	183,4

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2- (толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5% TiO_2).

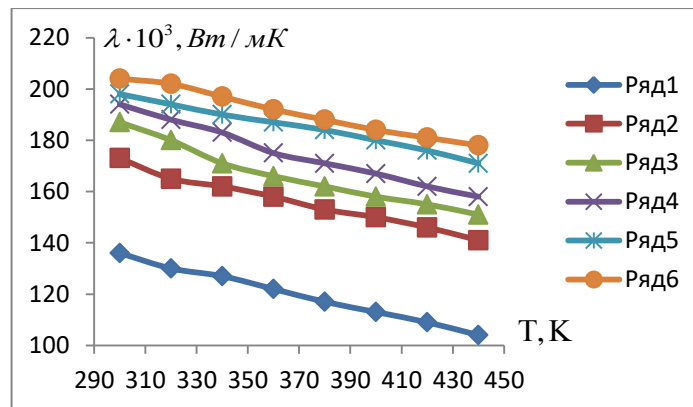


Рисунок 3.20. Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы жидкого толуола и наночастиц с эффектом “памяти форм” с фракцией ($\phi=50\text{нм}$) от температуры при давлении ($p=14,42\text{МПа}$) и концентрации нанонаполнителя. Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2-(толуол жидкий х.ч.+0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч.+0,4% TiO_2); №6- (толуол жидкий х.ч.+0,5 % TiO_2).

Таблица 3.29. Расчетно-экспериментальные значения коэффициента эффективной теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{мК})$) жидкого толуола [88,137] как в чистом виде, так и с внедрением наночастиц с эффектом "памяти форм" с фракцией ($\phi=70\text{нм}$) в зависимости от температуры при давлении ($p=14,42\text{МПа}$).

Т, К	№1 [137]	№2	№3	№4	№5	№6
300,2	136,1	187,3	202,1	208,5	212,3	219,4
320,5	131,3	179,7	198,4	205,7	209,0	217,2
340,4	127,0	176,5	194,2	200,3	206,2	212,3
360,7	122,0	171,2	186,3	197,5	202,6	207,2
380,4	117,2	165,4	182,0	191,2	198,2	202,3
400,5	113,0	161,7	176,6	187,1	194,5	197,5
420,4	109,0	156,7	169,1	180,2	189,4	193,4
440,3	104,0	152,2	162,3	174,4	182,3	188,4

Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2-(толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч. + 0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч. + 0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч. + 0,4% TiO_2); №6-(толуол жидкий х.ч. + 0,5% TiO_2).

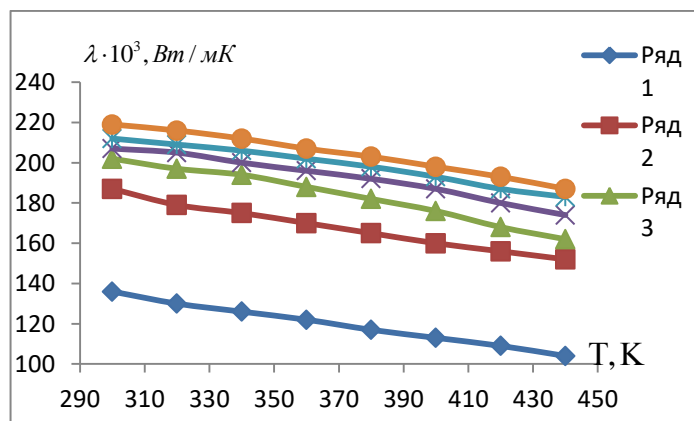


Рисунок 3.21. Зависимость эффективной теплопроводности коллоидного раствора системы жидкого толуола и наночастиц с эффектом "памяти форм" с фракцией ($\phi=70\text{нм}$) от температуры при давлении ($p=14,42\text{МПа}$) и концентрации нанонаполнителя. Объекты исследования: №1-(толуол жидкий х.ч.); №2-(толуол жидкий х.ч. + 0,1% TiO_2); №3-(толуол жидкий х.ч. + 0,2% TiO_2); №4-(толуол жидкий х.ч. + 0,3% TiO_2); №5-(толуол жидкий х.ч. + 0,4% TiO_2); №6-(толуол жидкий х.ч. + 0,5% TiO_2).

3.5. Корреляция между плотностью и теплопроводностью толуола с добавкой наночастиц с эффектом “памяти форм” при различных температурах и давлениях

3.5.1. Корреляция между плотностью и теплопроводностью толуола в чистом виде и добавкой наночастиц с эффектом ”памяти форм” при различных температурах и атмосферном давлении

На экспериментальных установках, представленных на рисунке 2.2-2.3, измерена плотность растворов системы толуола и наноразмерного диоксида титана (от 0-0,5% TiO₂) различной фракции (30нм, 50нм и 70нм) в интервале температур (293-650)К при давлении (0,101-14,42)МПа (таблицы 3.9-3.5) [137,138]. При измерениях плотности шаг температуры составлял 10-20К [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154 -А,155-А].

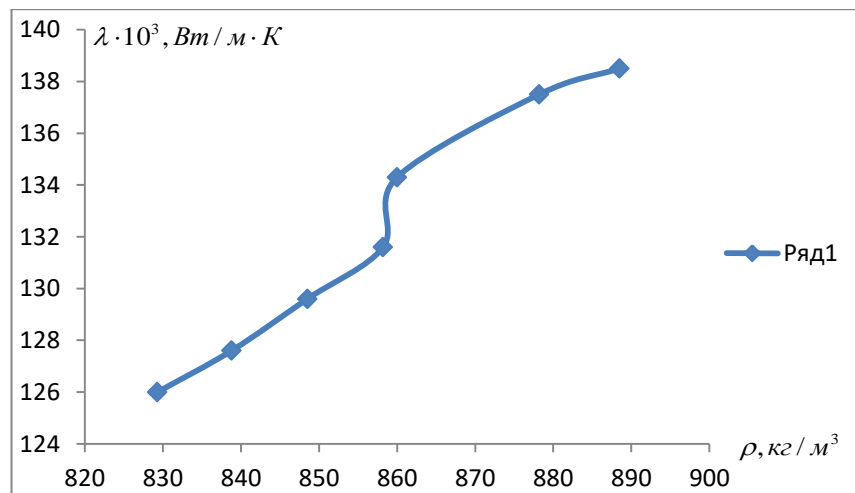


Рисунок 3.22. Взаимосвязь между (корреляция) плотностью и теплопроводностью толуола при различных температурах и атмосферном давлении.

Таблица 3.30. Плотность (ρ , кг/м³) химически чистого толуола (жидкий) в зависимости от температуры при атмосферном давлении [137,138].

T, К	273	283	293	303	313	323	333
ρ , кг/м ³	888,5	878,2	860,0	858,2	848,5	838,8	829,3
$\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	138,5	137,5	134,3	131,6	129,6	127,6	126,0

Влияние плотности на изменение теплопроводности х.ч. толуола в зависимости от температуры при атмосферном давлении, показано на рисунке 3.22 [88,137,138] и [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А, 146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154 -А,155-А].

Как видно из рисунка 3.22, и таблицы 3.27 с повышением температуры плотность толуола уменьшается по линейному закону. Как видно из рисунка 3.22 и таблицы 3.27 с повышением плотности химически чистого толуола при атмосферном давлении его теплопроводность до температуры 293К, растет по линейному закону, при температуре 303 К имеет скачок в сторону повышения, а затем теплопроводность растет по линейному закону [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154-А, 155-А].

3.5.2. Корреляция между плотностью и теплопроводностью толуола с добавкой наночастиц с эффектами “памяти форм” при различных температурах и давлениях

На экспериментальной установке, разработанной в 70-е годы прошлого столетия, работающая методом гидростатического взвешивания в лаборатории кафедры “Общей физики“ Таджикского государственного педагогического университета имени С.Айни, позволяющей провести измерения плотности жидкостей, наножидкостей, растворов и электролитов при различных температурах и атмосферном давлении, нами исследована плотность коллоидных растворов системы (толуол и TiO_2 с эффектом “памяти форм” различной фракции (30нм,50нм и 70нм)) при различных температурах и давлениях. Результаты определения экспериментальными методами перечисленного свойства, т.е. плотности, показаны в таблицах 3. 28 -3.30 и на рисунках 3.23-3.25 [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А, 147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154 -А,155-А].

Таблица 3.31. Плотность (ρ , кг/м³) двухкомпонентных систем (толуола+ диоксида титана с фракцией (30нм)) в зависимости от температуры при атмосферном давлении.

Образцы Т, К	№1	№2	№3	№4	№5	№6
273	888,5	892,2	896,5	901,4	905,8	909,3
283	878,2	882,2	886,5	890,4	895,8	900,3
293	860,0	864,5	870,2	874,3	879,0	884,2
303	858,2	862,3	866,5	870,2	874,6	878,4
313	848,5	852,4	856,0	861,6	865,4	870,7
323	838,8	842,2	846,3	850,0	855,5	860,6
343	-	821,4	824,3	828,5	832,0	836,5
353	-	811,6	815,5	819,3	823,5	828,5

Объекты исследования: Образец №1 – (100г. толуола); Образец №2 – (100г. толуола+0,1%TiO₂; Образец №3 – (100г.толуола + 0,2%TiO₂ (30нм); Образец №4 – (100г. толуола + 0,3%TiO₂ (30нм); Образец №5 – (100г. толуола + 0,4%TiO₂ (30нм); Образец №6 – (100г. толуола+0,5%TiO₂ (30нм).

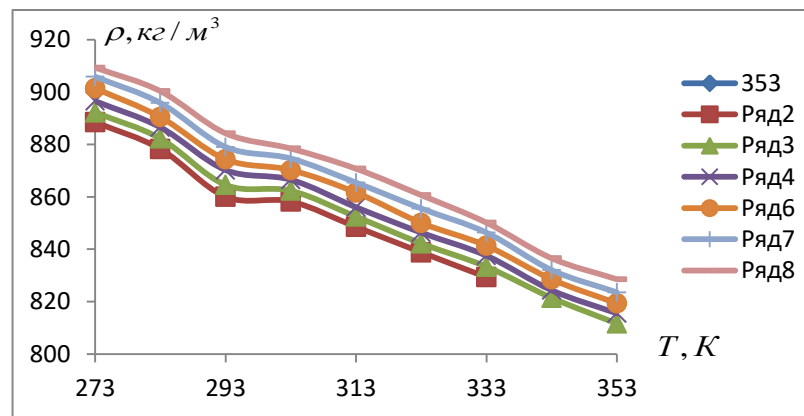


Рисунок 3.23. График зависимости плотности двухкомпонентных растворов системы (100г.толуола + (0-0,5)% диоксида титана (30нм)) при различных температурах и атмосферном давлении: Образец №1 – (100г. толуола); Образец №2 – (100г. толуола+0,1%TiO₂; Образец №3 – (100г.толуола + 0,2%TiO₂ (30нм); Образец №4 – (100г. толуола + 0,3 % TiO₂ (30нм); Образец №5 – (100г. толуола + 0,4%TiO₂ (30нм); Образец №6 – (100г. о-ксилола+0,5%TiO₂ (30нм).

Таблица 3.32. Плотность (ρ , кг/м³) двухкомпонентных систем (толуол+ диок-сид титана с фракцией (50нм)) в зависимости от температуры при атмосферном давлении.

Образцы Т, К	№1	№2	№3	№4	№5	№6
273	888,5	897,2	901,5	906,4	911,8	914,3
283	878,2	887,2	891,5	895,4	900,8	905,3
293	860,0	869,5	876,2	879,3	884,0	889,2
303	858,2	867,3	871,5	875,2	879,6	883,4
313	848,5	857,4	861,0	866,6	870,4	875,7
323	838,8	847,2	851,3	855,0	860,5	865,6
333	829,3	838,3	842,5	846,3	851,3	855,1
343	-	826,4	829,3	832,5	836,0	842,5
353	-	816,6	821,5	824,3	827,5	833,5

Объекты исследования: Образец №1 – (100г. толуола); Образец №2 – (100г. толуола+0,1%TiO₂ (50нм)); Образец №3 – (100г.толуола + 0,2%TiO₂ (50нм)); Образец №4 – (100г. толуола + 0,3%TiO₂ (50нм) ; Образец №5 – (100г. толуола + 0,4%TiO₂ (50нм)); Образец №6 – (100г. толуола+0,5%TiO₂ (50нм)).

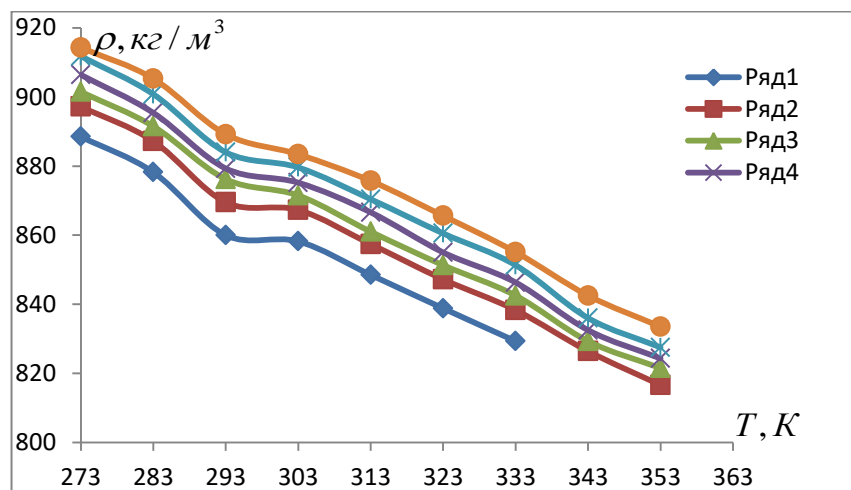


Рисунок 3.24. График зависимости плотности двухкомпонентных растворов системы (100г.толуола + (0-0,5)% диоксида титана (50нм)) при различных температурах и атмосферном давлении: Образец №1 – (100г. толуола); Образец №2 – (100г. толуола +0,1%TiO₂; Образец №3 – (100г.толуола + 0,2%TiO₂ (30нм)); Образец №4 – (100г. толуола + 0,3 % TiO₂ (30нм)); Образец №5 – (100г. толуола + 0,4%TiO₂ (30нм)); Образец №6 – (100г. толуола+0,5%TiO₂ (30нм)).

Таблица 3.33. Плотность (ρ , кг/м³) двухкомпонентных систем (толуол + диоксид титана с фракцией (70нм)) в зависимости от температуры при атмосферном давлении.

Образцы Т, К	№1	№2	№3	№4	№5	№6
273	888,5	900,2	907,5	913,4	917,8	920,3
283	878,2	891,5	896,5	901,4	905,8	911,3
293	860,3	875,5	883,4	887,5	890,3	895,2
303	858,2	872,5	877,5	881,4	885,2	890,4
313	848,5	863,4	867,2	872,5	877,1	882,7
323	838,8	854,2	858,3	862	867,5	872,6
333	829,3	845,3	848,5	852,3	858,3	862,1
343	-	832,4	837,3	839,5	843	849,5
353	-	823,6	828,5	832,3	834,5	840,5

Объекты исследования: Образец №1 – (100г. толуола); Образец №2 – (100г. толуола+0,1%TiO₂ (70 нм)); Образец №3 – (100г.толуола + 0,2%TiO₂ (70нм)); Образец №4 – (100г. толуола + 0,3%TiO₂ (70нм)); Образец №5 – (100г. толуола + 0,4%TiO₂ (70нм)); Образец №6 – (100г. толуола+0,5%TiO₂ (70нм)).

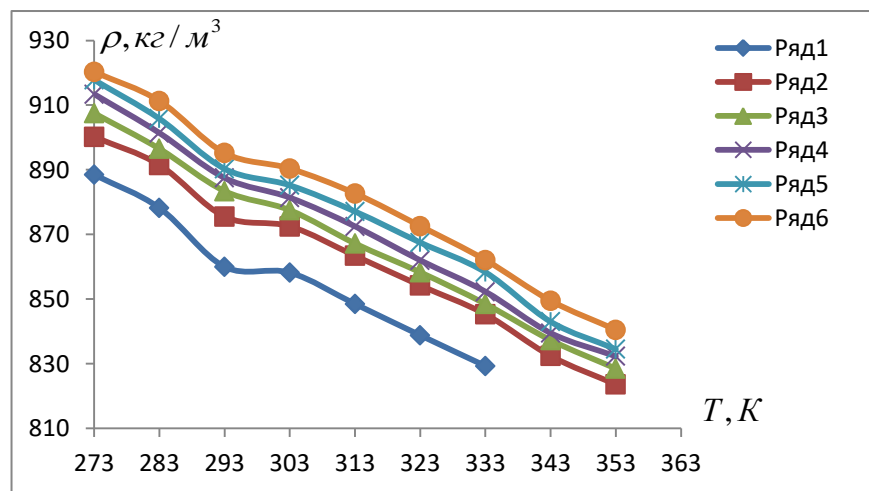


Рисунок 3.25. График зависимости плотности двухкомпонентных растворов системы (100г.толуола + (0-0,5)% диоксида титана (30нм)) при различных температурах и атмосферном давлении: Образец №1 – (100г. толуола); Образец №2 – (100г. толуола+0,1%TiO₂; Образец №3 – (100г.толуола + 0,2%TiO₂ (30нм)); Образец №4 – (100г. толуола + 0,3 % TiO₂ (30нм)); Образец №5 – (100г. толуола + 0,4%TiO₂ (30нм)); Образец №6 – (100г. толуола+0,5%TiO₂ (30нм)).

Согласно значению экспериментального определения плотности растворов системы (100г. толуола + (0-0,5)% диоксида титана (30нм)) установлено, что при повышении температуры, плотность уменьшается по линейному закону (таблицы 3.31-3.33 и рисунки 3.23-3.25). Добавка от 0 до 0,5% диоксида титана (30нм) в химически чистый толуол изменяет плотность исследуемых систем [140-А,141-А,143-А,145-А,146-А,147-А,150-А,152-А,154 - А,155-А].

Согласно экспериментально определенным значениям плотности растворов системы (100г.толуола + (0-0,5)% диоксида титана (30нм)) установлено, что при повышении температуры плотность уменьшается по линейному закону (таблица 3.31 и рисунок 3.23). Добавка 0,5% диоксида титана (30нм) в химически чистый толуол изменяет плотность данных растворов следующим образом: при температуре 273К плотность толуола (х.ч.) повышается на 2,34%, при температуре 303К плотность толуола (х.ч.) растет на 2,35%, а при температуре 333К плотность толуола (х.ч.) растет на 2,52% [140-А,141-А,143-А,145-А,146-А,147-А,150-А,151-А,152-А,154-А, 155-А].

Известно, что плотность исследуемых растворов на линии насыщения уменьшается до температуры 293К, а затем растет по параболическим законам, и далее уменьшается по линейному закону. Надо отметить, что такая закономерность наблюдается только в растворах системы толуола и наночастиц с эффектами “памяти форм” (TiO_2).

3.6. Заключение по третьей главе.

1. Результаты экспериментального исследования плотности, коэффициента эффективной теплопроводности наночастиц (диоксид титана) на основе толуола показали, что с ростом температуры ρ , λ исследуемых образцов уменьшаются.

2. На экспериментальных стендах, по методу гиростатического взвешивания, метода цилиндрического бикалориметра и метода нагретой нити были получены данные по плотности и коэффициенту эффективной теплопроводности наножидкостей системы «толуол + диоксид титана» с различ-

ными концентрациями наночастиц диоксида титана и различных фракций (30нм, 40нм,50нм), которые показали, что с ростом температуры до 343К плотность системы падает и коэффициент эффективной теплопроводности также уменьшается по линейному закону.

3. Согласно опытно полученным результатам по коэффициенту эффективной теплопроводности и плотности наножидкостей, был выполнен соответствующий расчет ряда калорических и термодинамических свойств исследуемых растворов, а также их внутренняя энергия.

4. Проведен расчет плотности и коэффициента эффективной теплопроводности азотосодержащих жидкостей типа «толуол + диоксид титана с различными фракциями» коллоидных наножидкостей и показана применимость численного метода расчета ТФС исследуемых систем.

5. Получены результаты по изменению (увеличению) температуры кипения растворов системы исследуемых двухкомпонентных коллоидных растворов в зависимости от концентрации диоксида титана наноразмерной фракции.

Глава 4. АНАЛИЗ, ОБОБЩЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЛОТНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НАНОЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ТОЛУОЛА

Масштабное использование растворов и жидкостей нуждается в достаточно мощной и основательной базе данных по свойствам, в частности по плотности и теплопроводности, а также составлении соответствующих физико-математических моделей. Настоящая проблема не находит окончательного решения в силу того, что из-за все возрастающего количества веществ и материалов исследования требует расчетно-теоретические способы прогнозирования перечисленных свойств.

Эмпирические уравнения и обобщенные варианты различных зависимостей, которые получены для какой-либо группы веществ не способны удовлетворять требования касательно другой группы или категории веществ, т.е. они имеют узкую направленность. Главное препятствие в данном направлении является современный темп развития материаловедения, результатами которого являются новые и все более сложные по структуре материалы и вещества, усложняющие решение прикладных задач по свойствам реальных растворов. Поэтому возникает необходимость в создании методов, способных дать максимально точный прогноз для описания ТФС при минимальной исходной информации [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154 -А,155-А].

В настоящей главе нами представлены аппроксимационные зависимости, с помощью которых устанавливается связь между параметрами состояния и другими свойствами: $\lambda = f(\rho)$; $\lambda = f(T, m)$; $\rho = f(T, m)$ и др., позволяющие выполнить соответствующие вычисления перечисленных величин [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А, 151- А, 152-А,154-А,155-А].

На основе экспериментальных данных, полученных нами на основе вышеизложенных опытных устройств (глава 2 настоящей диссертации) по

плотности и коэффициенту эффективной теплопроводности растворов системы (толуол + наноразмерный диоксид титана) были выведены соответствующие корреляционные соотношения.

4.1. Анализ экспериментальных данных по теплофизическим свойствам наножидкостей

Растворы и электролиты как и химические соединения, участвуют практически во всех процессах всех форм существования сложных соединений в природе. Растворы являются представителями однородных веществ, свойства которого во всем объеме одинаковы, а молекулы подавляющего количества веществ могут формировать соединения (асоциаты), что позволяет отнести их к [15,16,45,71,72]. Согласно теории строения жидкости предлагаются два основных подхода.

Первый – «формально строгий», опирается на основные положения статистической механики, который приводит к строго определенным выражениям, характеризующим молекулярную функцию распределения, и соответственно термодинамических свойств.

Второй – «модельный подход», по которому статистико-механический расчет свойств жидкостей выполняется при помощи заранее заданных моделей. Наиболее распространенные среди существующих теорий являются «ячеечная» и «дырочная».

В молекулярных теориях водных растворов особое внимание уделяется именно процессам взаимовлияния растворяемого вещества и растворителя, таких как гидротация. Существует два пути описания данного явления, т.е. термодинамический и кинетический [16, 101].

Первый способ включает понятия, так называемой термодинамической устойчивости самого гидратного комплекса, т.е. совокупность молекул растворяемого вещества и растворителя. Второй способ включает определение степени влияния молекул растворенного вещества на трансляционное движе-

ние молекул растворителя, в среде которых они находятся, а также их влияние на кинетические параметры самого раствора (плотность и др.).

В данном направлении большой вклад оказали работы А.Г. Пасынкого [71,72]. Согласно его работе молекулы растворителя (воды включительно), участвующие в гидратных комплексах, не поддаются сжатию, поскольку они уже находятся под влиянием «давления», оказываемого со стороны электростатического поля ионов. Поэтому давление извне способно оказывать воздействие только на те молекулы, которые не входят в соответствующие комплексы. Белинский предположил, что сжимаемость жидкости это ничто иное как изменение лишь свободного межчастичного пространства. При высоких давлениях межмолекулярное расстояние изменяется не равномерно, а при $T = \text{const}$ оно не изменяется, но приводит к изменению численности так называемых дырок, поскольку изменяются соответствующие параметры состояния рассматриваемого вещества [16,83].

4.2. Обобщение экспериментальных данных по плотности и теплопроводности исследуемых растворов системы (толуол + наночастицы TiO_2) при различных температурах и атмосферном давлении.

Для обобщения соответствующих данных по плотности, полученных опытным путем, а также и теплопроводности изучаемых образцов при атмосферном давлении (0,101) МПа и изменении температуры опыта от 293 до 433К (пункт 4.1, таблиц 4.1-4.3), мы воспользовались нижеследующим функциональным выражением [59, 96,118,123-128] и [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154 -А,155-А]:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.1)$$

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.2)$$

где ρ , λ , ρ_1 , λ_1 - плотность, коэффициент теплопроводности исследуемых растворов при температурах T и T_1 : $T_1 = 353\text{K}$.

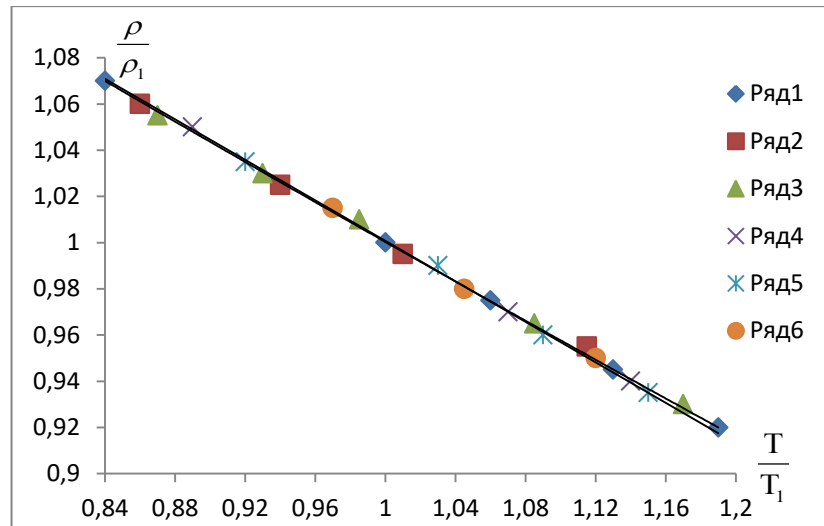


Рисунок 4.1. Зависимость относительной плотности (ρ/ρ_1) от относительной температуры (T/T_1) для растворов системы жидкого толуола + диоксида титана. Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%.TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%.TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%.TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%.TiO₂).

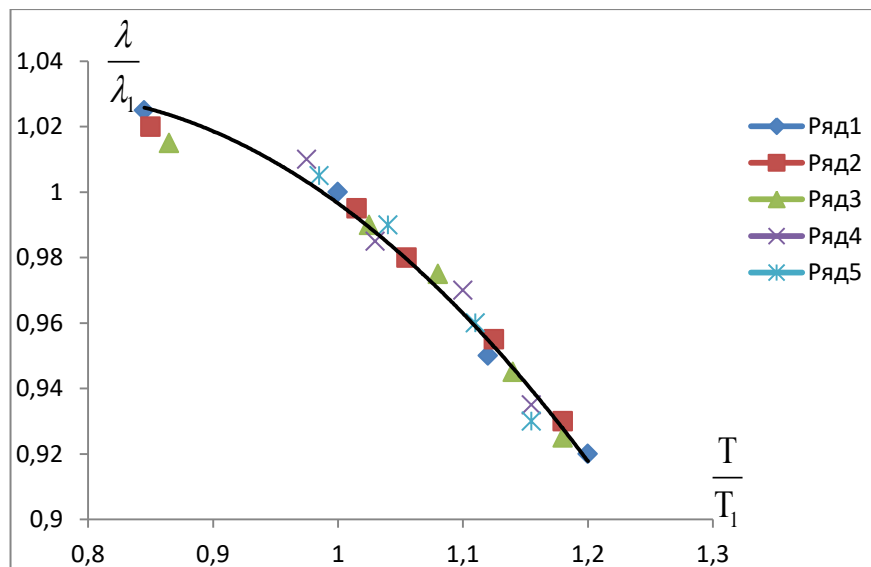


Рисунок 4.2. Зависимость относительной теплопроводности (λ/λ_1) от относительной температуры (T/T_1) для растворов системы жидкого толуола + диоксида титана. Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%.TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%.TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%.TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%.TiO₂).

Методика обобщения экспериментальных данных по теплофизическим свойствам жидкостей, газов, твердых тел, растворов и др. успешно использована многими авторами, как [59,96,118,123-128].

Выполняемость зависимостей (4.1),(4.2) для категории изучаемых веществ представлена на рисунках 4.1 и 4.2, согласно которым наблюдается хорошая согласованность опытных значений вдоль общих прямых.

Используя пакет программы Matlab и графики, приведенные на рисунках 4.1 и 4.2, находим аппроксимационные зависимости [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154 -А,155-А].

$$\frac{\rho}{\rho_1} = 1,4389 - 0,4381\left(\frac{T}{T_1}\right) \quad (4.3)$$

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = -0,5781\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 0,8778\left(\frac{T}{T_1}\right) + 0,6969 \quad (4.4)$$

В уравнение (4.3) и (4.4) оказалось, что значения ρ_1 , λ_1 являются функциями концентрации наночастиц диоксида титана с эффектом “памяти форм” и их фракции (рисунки 4.3, 4.4 и таблица 4.1).

Таблица 4.1. Значения (ρ_1 , λ_1) от концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” и их фракции.

Значение $\rho_1, \text{кг/м}^3$						
Образцы	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Фракция						
30нм	807	811	813	817	820	824
50нм	809	813	818	822	827	831
70нм	812	817	823	827	832	837
Значение ($\lambda_1 10^3, \text{Вт/(м*К)}$)						
30нм	125,2	130,4	135,5	140,6	144,8	149,7
50нм	131,2	136,4	141,5	146,6	150,8	155,7
70нм	138,2	143,0	148,5	153,6	157,8	162,7

Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%.TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%.TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%.TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%TiO₂).

Из уравнений (4.3) и (4.4) находим:

$$\rho = [1,4389 - 0,4381(T/T_1)]\rho_1^* \quad (4.5)$$

$$\lambda = [-0,5781(T/T_1)^2 + 0,8778(T/T_1) + 0,6969]\lambda_1^*, \quad (4.6)$$

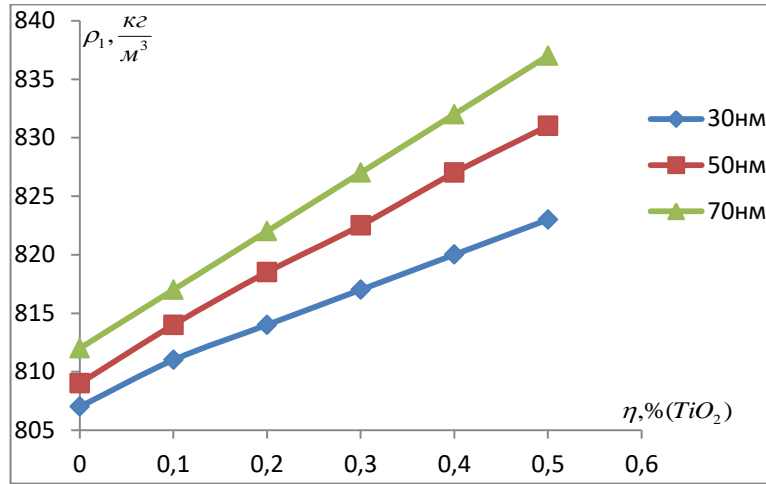


Рисунок 4.3. Зависимость плотности образцов при температуре $T_1=353\text{K}$ (ρ_1) от концентрации диоксида титана (η_{TiO_2}). Объекты исследования: №1-(толуол х.ч. + TiO_2), $d=30\text{нм}$; №2-(толуол х.ч. + TiO_2), $d=50\text{нм}$; №3-(толуол х.ч. + TiO_2), $d=70\text{нм}$.

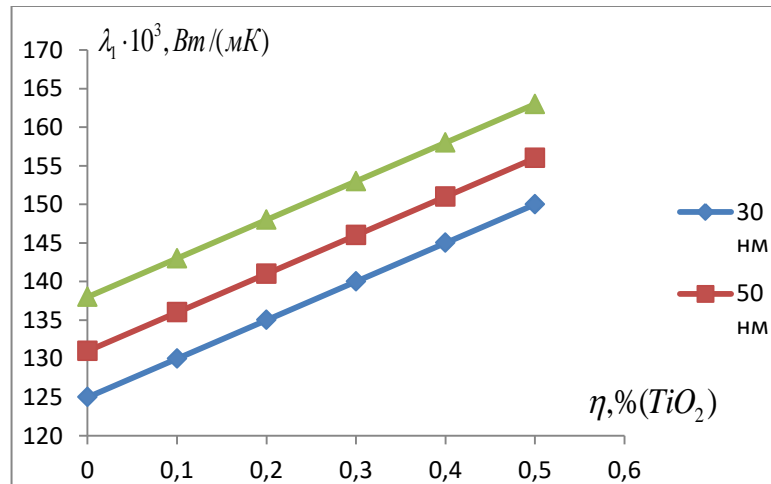


Рисунок 4.4. Зависимость коэффициента эффективной теплопроводности при температуре $T_1=353\text{K}$ (λ_1) от концентрации диоксида титана (η_{TiO_2}). Объекты исследования: №1-(толуол х.ч. + TiO_2), $d=30\text{нм}$; №2-(толуол х.ч. + TiO_2), $d=50\text{нм}$; №3-(толуол х.ч. + TiO_2), $d=70\text{нм}$.

Как видно, из графиков, приведенных на рисунках 4.3, 4.4 и таблицы 4.1, значения (ρ_1, λ_1) с повышением концентрации диоксида титана (n_{TiO_2}) монотонно растут.

Для обобщения или объединения графиков, приведенных на рисунках 4.3, 4.4 и в таблице 4.1, значения (ρ_1, λ_1) использовали следующие функциональные зависимости [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А,155-А].

$$\rho_1/\rho_1^* = f(n_{TiO_2}/n_{TiO_2}^*) \quad (4.7)$$

$$\lambda_1/\lambda_1^* = f(n_{TiO_2}/n_{TiO_2}^*) \quad (4.8)$$

В выражениях все параметры по плотности, коэффициенту эффективной теплопроводности использованы при $T_1=353K$ и $n_{TiO_2}=0,3\%$.

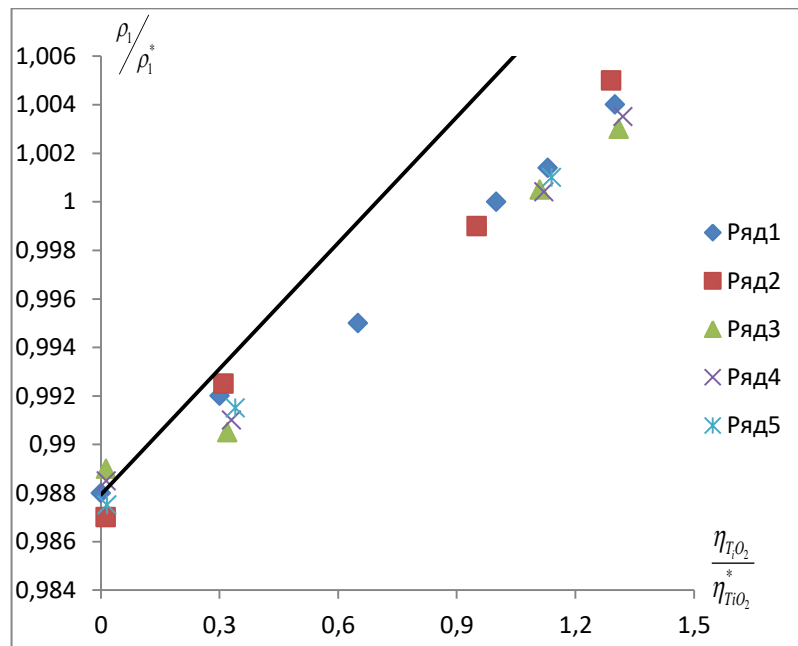


Рисунок 4.5. Зависимость относительной плотности $\left(\frac{\rho_1}{\rho_1^*}\right)$ от относительной концентрации нанонаполнителей $\left(\frac{n_{TiO_2}^*}{n_{TiO_2}}\right)$ для исследуемых растворов: *Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1% TiO₂); №3-(толуол х.ч. + 0,2 %, TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4% TiO₂); №6-(толуол х.ч.+ 0,5 % TiO₂).*

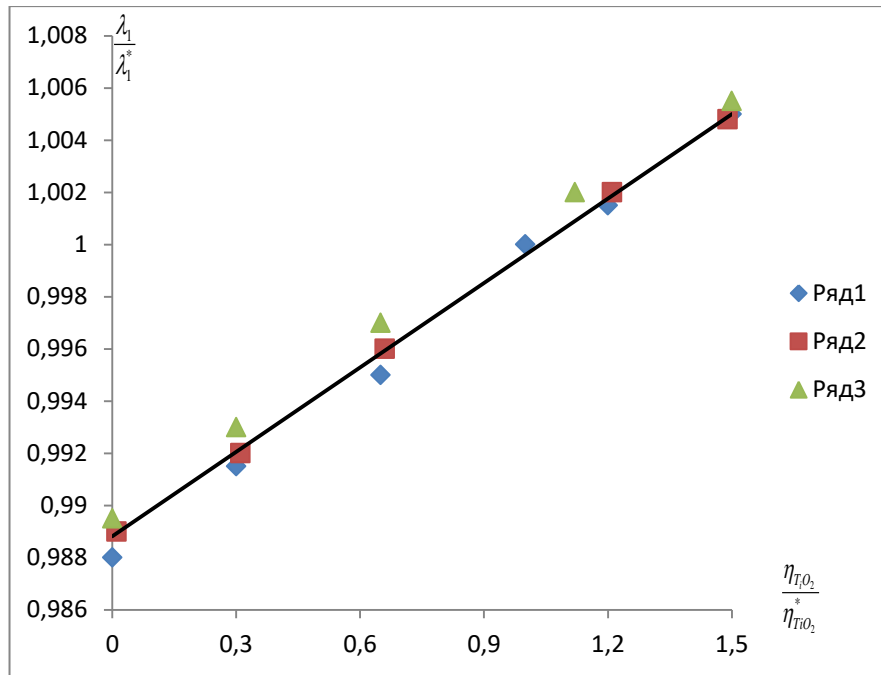


Рисунок 4.6. Зависимость относительного коэффициента теплопроводности $\left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right)$ от относительной концентрации нанонаполнителя $\left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*}\right)$ для исследуемых растворов: *Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1% TiO_2); №3-(толуол х.ч.+0,2% TiO_2); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO_2); №5-(толуол х.ч.+ 0,4% TiO_2); №6-(толуол х.ч.+0,5% TiO_2).*

Формулы для расчета графиков, приведенных на рисунках 4.3, 4.4 и в таблице 4.1 имеют следующий вид [140-А,141-А, 142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А,155-А]:

$$\rho_1 / \rho_1^* = 0,012(n_{(TiO_2)} / n_{TiO_2}^*) + 0,9879 \quad (4.9)$$

$$\lambda_1 / \lambda_1^* = 0,0108(n_{(TiO_2)} / n_{TiO_2}^*) + 0,9888 \quad (4.10)$$

Из уравнений (4.9) и (4.10) получим следующие выражения:

$$\rho_1 = \{0,012(n_{(TiO_2)} / n_{TiO_2}^*) + 0,988\} \rho_1^* \quad (4.11)$$

$$\lambda_1 = \{0,0108(n_{(TiO_2)} / n_{TiO_2}^*) + 0,9888\} \lambda_1^* \quad (4.12)$$

В уравнениях (4.11) и (4.12) значения (ρ_1^*, λ_1^*) являются функциями размеров наночастиц введенных в жидком толуоле (рисунок 4.7 и 4.8).

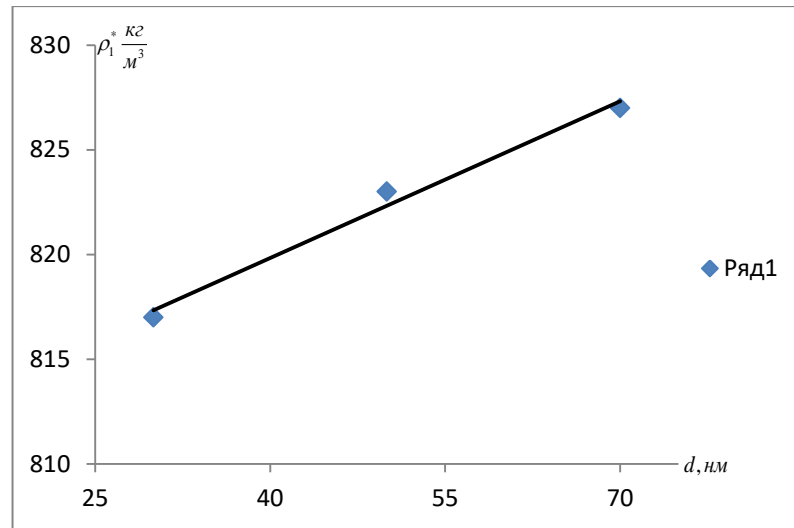


Рисунок 4.7. Зависимость (ρ_1^*) от размеров наночастиц, внедренных в теплоноситель (толуола) (d)

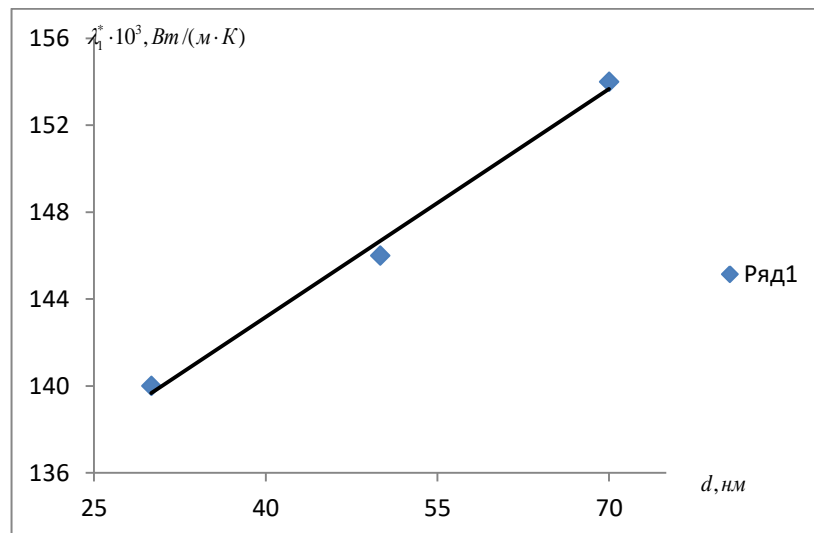


Рисунок 4.8. Зависимость (λ_1^*) от размеров наночастиц, внедренных в теплоноситель (толуола) (d).

Графики прямых линий, показанных на рисунках (4.7 и 4.8) описываются выражениями:

$$(\rho_1^*) = (0,25d + 809,83), \text{ кг/м}^3 \quad (4.13)$$

$$(\lambda_1^*) = (0,3375d + 129,88) \cdot 10^{-3}, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (4.14)$$

Уравнения (4.5) и (4.6) с учетом выражений (4.11) - (4.14) принимают вид [140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 144-А, 145-А, 146-А, 147-А, 149-А, 150-А, 151-А, 152-А, 154-А, 155-А]:

$$\rho = [1,4375 - 0,4375 \left(\frac{T}{T_1} \right)] * \left\{ 0,012 \left(\frac{n_{(TiO_2)}}{n_{TiO_2}^*} \right) + 0,988 \right\} \cdot (0,25d + 809,83), \text{кг/м}^3 \quad (4.15)$$

$$\lambda = [1,44 - 0,44 \left(\frac{T}{T_1} \right)] \cdot \left\{ 0,111 \left(\frac{n_{(TiO_2)}}{n_{TiO_2}^*} \right) + 0,899 \right\} (0,3375d + 129,88) 10^{-3}, \text{Вт/(м*К)} \quad (4.16)$$

С помощью выражений (4.15) и (4.16) можно численно определить плотность и теплопроводность наножидкостей на основе толуола, как в чистом виде, так и внедрением в него наночастиц с эффектом “памяти форм” с различными фракциями (30нм, 50 нм и 70нм), температуре (273-343)К и давлении (0,101) МПа. Для данного расчета по формулам (4.15) и (4.16) необходимо располагать значением Т,К и знать концентрацию диоксида титана внедренного в толуол (n_{TiO_2}) в процентном соотношении. Результаты численных расчетов по уравнениям (4.15) и (4.16) для некоторых наножидкостей на основе толуола, как в чистом виде, так добавленным наночастиц с эффектами памяти “форм” приведены в таблице 4.2.[140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А, 149 -А,150-А,151-А,152-А, 154 -А,155-А].

Таблица 4.2. Сравнение вычисленных значений плотности и теплопроводности коллоидных растворов на основе толуола с различными фракциями с экспериментальными данными по уравнением (4.15) и (4.16).

<i>Плотность (расчет по форм. (4.15))</i>								
Т,К	293	313	333	353	373	393	413	443
Образец №2-(х.ч. толуол+0,1%TiO ₂),30нм								
$\rho_{\text{экс.}}$, кг/м ³	870,2	851,4	832,1	811,8	790,4	770,0	750,3	-
$\rho_{\text{рас.}}$, кг/м ³	866,9	846,2	828,4	806,4	786,2	766,2	743,5	-
Δ ,%	0,38	0,61	0,44	0,67	0,53	0,49	0,9	-
δ ,%	<i>Среднеквадратическая погрешность расчета плотности по урав. (4.15) -0,57</i>							
Образец №6-(х.ч. толуол+0,5%TiO ₂),30нм								
$\rho_{\text{экс.}}$, кг/м ³	881,5	862,5	844,7	823,8	802,5	781,5	762,3	742,5
$\rho_{\text{рас.}}$, кг/м ³	884,9	860,0	841,9	820,2	799,6	779,8	758,4	738,6
Δ ,%	-0,38	0,28	0,33	0,44	0,36	0,22	0,51	0,5
δ ,%	<i>Среднеквадратическая погрешность расчета плотности по урав. (4.15) -0,32</i>							
<i>Коэффициент эффективной теплопроводности, расчет по форм. (4.16)-</i>								
Образец №2-(х.ч. толуол+0,1%TiO ₂),30нм								

$\lambda_{\text{экс}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	139,7	134,5	130,4	125,5	120,8	116,7
$\lambda_{\text{рас}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	140,8	137,6	134,5	130,4	127,7	124,5
Δ , %	-0,79	-2,3	-3,34	-3,9	-5,4	-6,2
δ , %	<i>Среднеквадратическая погрешность расчета плотности по урав. (4.16) -3,67</i>					
	Образец №6-(х.ч. толуол+0,5%TiO ₂),70нм					
$\lambda_{\text{экс}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	173,4	166,6	163,7	161,6	155,8	152,7
$\lambda_{\text{рас}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	178,3	174,1	170,3	165,9	161,8	157,7
Δ , %	-2,82	-4,3	-3,88	-2,59	-3,85	-3,27
δ , %	<i>Среднеквадратическая погрешность расчета плотности по урав. (4.16) -3,45</i>					

Как видно, из результатов численных расчетов по аппроксимационным зависимостям, полученных нами по уравнениям (4.15 и 4.16) (таблица 4.2) результаты расчета по плотности уравнением (4.15) первая половина таблицы со среднеквадратической погрешностью 0,45% совпадает с экспериментальными данными, а для расчета теплопроводности по уравнению (4.16), таблица погрешности показывает 3.45%. Результаты численных расчетов согласуются с экспериментальными данными.

4.3. Обобщение экспериментальных данных по теплопроводности исследуемых растворов системы (толуол + наночастицы TiO₂) при различных температурах на линии насыщения

Для обобщения экспериментальных данных по теплопроводности исследуемых растворов на основе толуола на линии насыщения в зависимости от температуры (180-550)К (пункты 3.4.1 и 3.4.2 и таблицы 3.8-3.10) при атмосферном давлении (0,101)МПа, нами использованы следующие функциональные зависимости [59,96,118,123-128] и [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154 -А,155-А].

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.17)$$

где λ , λ_1 - коэффициент теплопроводности исследуемых растворов при температурах T и T_1 ; $T_1 = 400\text{K}$.

Методика обобщения экспериментальных данных по теплофизическим свойствам жидкостей, газов, твердых тел, растворов и др. успешно использована многими авторами, как [59,96,118,123-128].

Выполнимость зависимостей (4.17), для исследуемых растворов показана на рисунке 4.9, из которого видно, что экспериментальные точки хорошо укладываются вдоль общих прямых.

Используя пакет программы Matlab или Excel и график, приведенный на рисунке 4.9, находим аппроксимационные зависимости [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А,155-А]:

$$\lambda/\lambda_1 = 1,6978 - 0,6765(T/T_1) \quad (4.18)$$

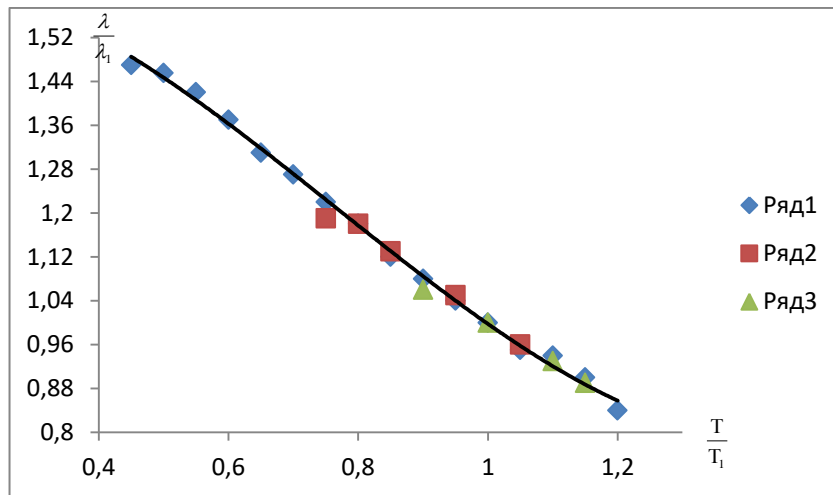


Рисунок 4.9. Зависимость относительной теплопроводности (λ/λ_1) от относительной температуры (T/T_1) для растворов системы жидкого толуола+ диоксида титана на линии насыщения. *Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%.TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%.TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%.TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%TiO₂).*

В уравнении (4.17) и (4.18) оказалось, что значение λ_1 являются функциями концентрации наночастиц диоксида титана с эффектом “памяти форм” и их фракции (рисунок 4.9 и таблица 4.2).

Таблица 4.2. Значение (λ_1) от концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” с различными фракциями на линии насыщения.

Значение ($\lambda_1 \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$)						
30нм	108	110	112	114	116	118
50нм	108	113	115	117	119	121
70нм	108	117	119	121	123	125

Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3%TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%TiO₂).

Из уравнения (4.18) находим [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А,155-А]:

$$\lambda = [1,6978 - 0,6765(T/T_1)]\lambda_1^*, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}) \quad (4.19)$$

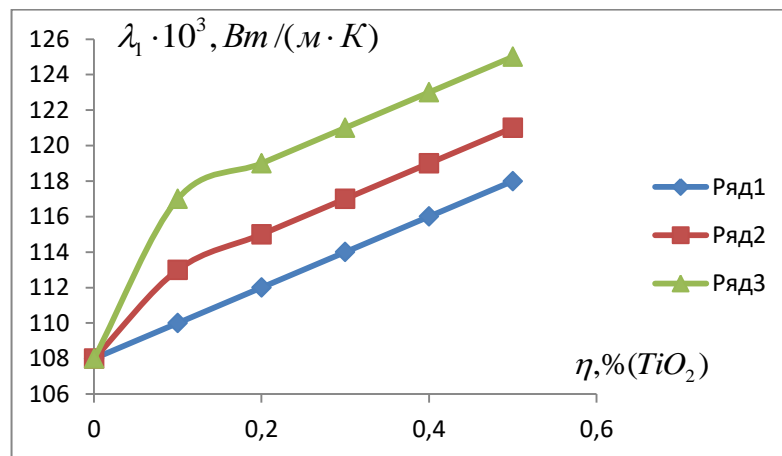


Рисунок 4.10. Зависимость коэффициента эффективной теплопроводности при температуре $T_1=353\text{К}$ (λ_1) от концентрации диоксида титана (η_{TiO_2}). Объекты исследования №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3%TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%TiO₂).

Как видно, из графика, приведенного на рисунке 4.10 и таблицы 4.2 значение (λ_1) с повышением концентрации диоксида титана (η_{TiO_2}) монотонно растет.

Для обобщения или объединения значений, приведенных на рисунке 4.10 и в таблице 4.2 значение (λ_I) использовали в следующей функциональной зависимости [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154 -А,155-А]:

$$\lambda_1/\lambda_1^* = f(n_{TiO_2}/n_{TiO_2}^*) \quad (4.20)$$

В выражениях все параметры по коэффициенту эффективной теплопроводности использованы при $T_1=353K$ и $n_{TiO_2}=0,3\%$.

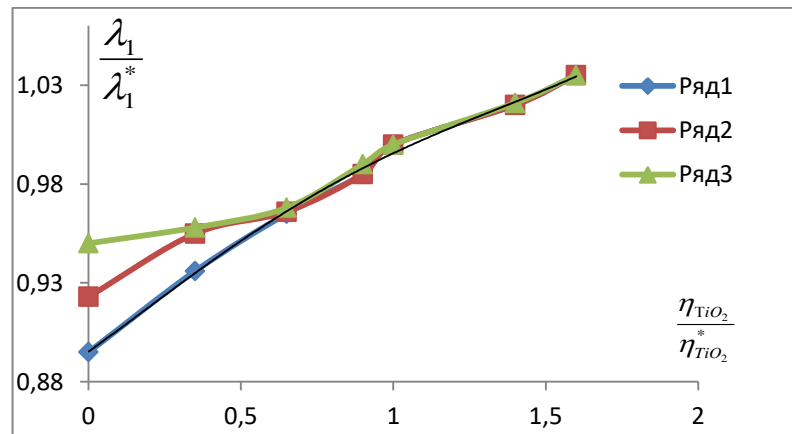


Рисунок 4.11. Зависимость относительного коэффициента теплопроводности ($\frac{\lambda_1}{\lambda_1^*}$) от относительной концентрации ($\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*}$) для исследуемых растворов:

Формула для расчета графиков, приведенных на рисунке 4.11 по таблице 4.2 применяли следующую функциональную зависимость [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154 - А,155-А]:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_1^*} = 0,0157 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right)^4 - 0,0475 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right)^3 + 0,0205 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right)^2 + 0,1118 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right) + 0,8952 \quad (4.21)$$

Из уравнения (4.21) получим следующее выражение [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А,155-А]:

$$\lambda_1 = \left\{ 0,0157 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right)^4 - 0,0475 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right)^3 + 0,0205 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right)^2 + 0,1118 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right) \right\} \lambda_1^* \quad (4.22)$$

В уравнениях (4.22) значения (λ_1^*) являются функциями размеров наночастиц введенных в жидкий толуол (рисунок 4.12).

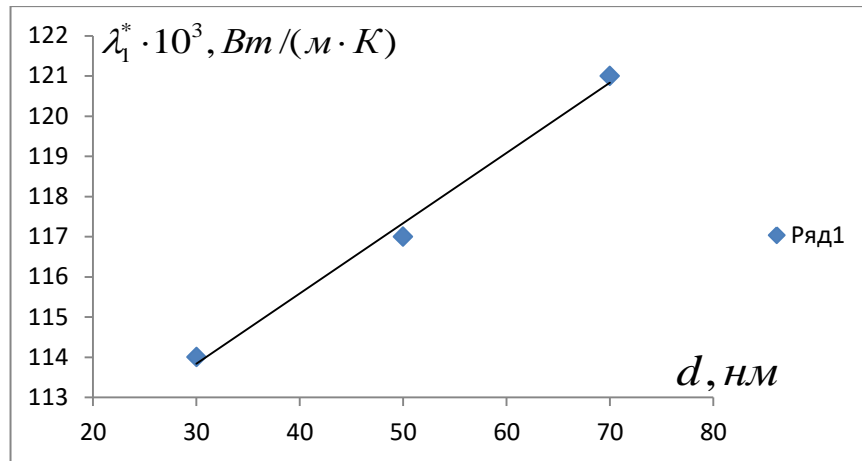


Рисунок 4.12. Зависимость (λ_1^*) от размеров наночастиц с внедрением в теплоноситель (толуола) (d).

График прямой линии, показанной на рисунке (4.12) описывается выражением [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154 -А,155-А]:

$$\lambda_1^* = (0.175d + 108,6) \cdot 10^3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad (4.23)$$

Уравнение (4.19) с учетом выражений (4.21)-(4.23) принимает вид:

$$\lambda = [1,6978 - 0,6765(T/T_1)] * \left\{ 0,0157 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right)^4 - 0,0475 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right)^3 + 0,0205 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right)^2 + 0,1118 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right) \right\} (0,175d+108,6) 10^{-3} \text{ ,Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad (4.24)$$

С помощью выражения (4.24) можно численно определить теплопроводность наножидкостей на основе толуола, как в чистом виде, так и с внедрением в них наночастиц с эффектом “памяти форм” с различными фракциями (30нм, 50нм и 70нм), температурой (273-343)К при давлении (0,101) МПа. Для данного расчета по формуле (4.24), необходимо располагать значениями T, K и концентрацией диоксида титана (n_{TiO_2}) внедренного в толуол в процентном соотношении. Результаты численных расчетов по уравнению (4.24) для некоторых коллоидных наножидкостей на основе толуола, как в чистом виде, так и с добавлением наночастиц с эффектом “памяти форм” приведены в таблице 4.3 [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А,155-А].

Таблица 4.3. Сравнение вычисленных значений теплопроводности коллоидных растворов на основе толуола с различными фракциями с экспериментальными данными по уравнению (4.24).

Т,К	<i>Температура, К</i>							
	293	313	333	353	373	393	413	443
<i>Коэффициент эффективной теплопроводности расчит. по форм. (4.24)</i>								
Образец №2-(х.ч. толуол+0,1%TiO ₂),30нм								
$\lambda_{\text{экс}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	139,7	134,5	130,4	125,5	120,8	116,7		
$\lambda_{\text{рас}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	140,8	137,6	134,5	130,4	127,7	124,5		
Δ ,%	-0,79	-2,3	-3,34	-3,9	-5,4	-6,2		
δ ,%	<i>Среднеквадратическая погрешность расчета теплопроводности по урав. (4.24) -3,67</i>							
Образец №6-(х.ч. толуол+0,5%TiO ₂),70нм								
$\lambda_{\text{экс}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	173,4	166,6	163,7	161,6	155,8	152,7		
$\lambda_{\text{рас}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	178,3	174,1	170,3	165,9	161,8	157,7		
Δ ,%	-2,82	-4,3	-3,88	-2,59	-3,85	-3,27		
δ ,%	<i>Среднеквадратическая погрешность расчета теплопроводности по урав. (4.24) -3,45</i>							

Как видно, из результатов численных расчетов теплопроводности по полученным нами аппроксимационным зависимостям (уравнение 4.24) (таблица 4.3) результаты расчета со среднеквадратической погрешностью совпадают с экспериментальными данными по теплопроводности, величина среднеквадратической погрешности составляет 3.45%. Результаты численных расчетов согласуются с экспериментальными данными.

4.4. Обобщение экспериментальных данных наночастиц с эффектами “памяти форм” с различными фракциями, внедренных в толуол и их влияние на изменение теплопроводности исследуемых наножидкостей при атмосферном давлении

Обобщение данных по теплопроводности, полученных опытным путем для изученных растворов в интервале температуры (293-383)К при атмосферном давлении (0,101)МПа (пункт 3.4.2 и таблицы 3.11-3.13), мы воспользовались следующими зависимостями [59,96,118,123-128]и[140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154 -А, 155-А]:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.25)$$

где λ , λ_1 - коэффициент теплопроводности исследуемых растворов при температурах T и T_1 : $T_1 = 333\text{K}$.

Выполняемость функциональной зависимости (4.25) представлена на рисунке 4.13, согласно которому все экспериментальные точки хорошо ложатся вдоль общей кривой.

Применив пакет программы Сигмаплат, Matlab или Exsel, а также график, изображенных на рисунке 4.13, выводим соответствующую аппроксимационную зависимость:

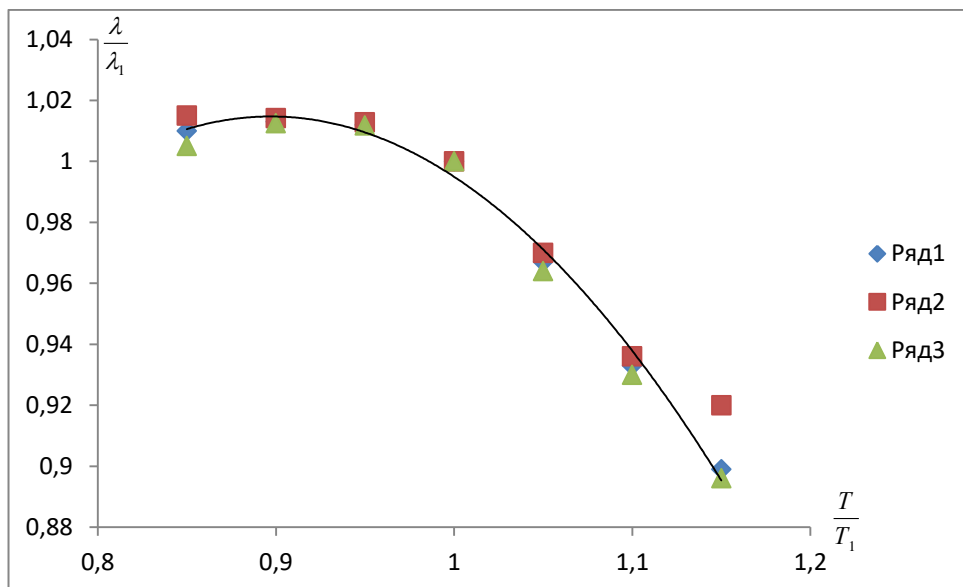


Рисунок 4.13. Зависимость относительной теплопроводности (λ/λ_1) от относительной температуры (T/T_1) для растворов системы жидкого толуола+ диоксида титана на линии насыщения. *Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%TiO₂).*

$$\lambda/\lambda_1 = 1,8667(T/T_1)^2 + 3,345(T/T_1) - 0,4874 \quad (4.26)$$

В уравнении (4.26) оказалось, что значения λ_1 являются функциями концентрации наночастиц диоксида титана с эффектом “памяти форм” и их фракции (рисунок 4.13 и таблиц 4.4).

Таблица 4.4. Значения (λ_1) от концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” с различными фракциями на линии насыщения.

Значение ($\lambda_1 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$)						
30нм	125,2	130,1	135,3	140,6	144,8	149,3
50нм	131,4	136,4	141,6	146,5	150,5	154,7
70нм	138,6	142,0	148,8	153,9	157,3	162,5

Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3%TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%TiO₂).

Из уравнения (4.26) находим [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А,155-А]:

$$\lambda = [1,6978 - 0,6765(T/T_1)]\lambda_1^*, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}) \quad (4.27)$$

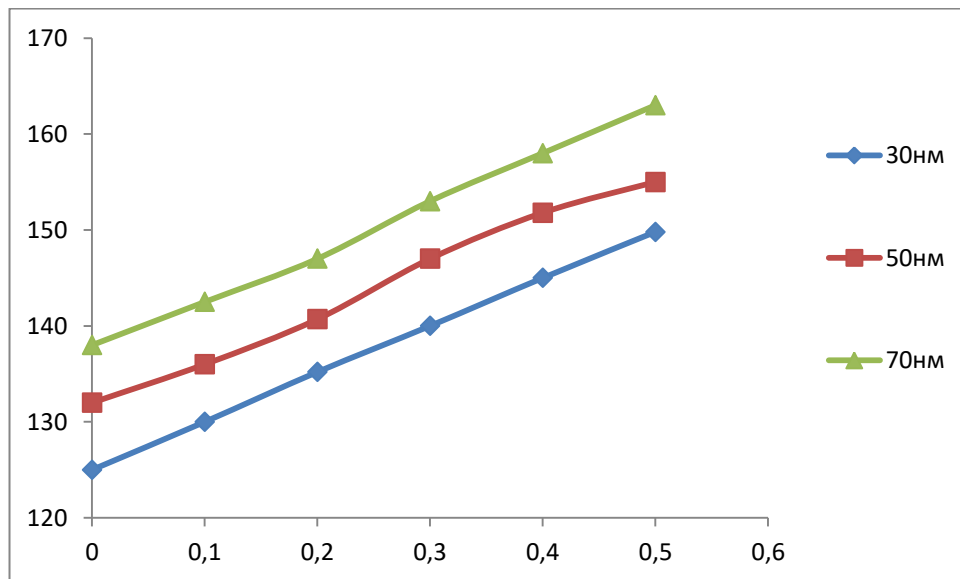


Рисунок 4.14. Зависимость коэффициента эффективной теплопроводности системы толуола при температуре $T_1=333\text{К}$ (λ_1) от концентрации диоксида титана (n_{TiO_2}). Объекты исследования №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3%TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%TiO₂).

Как видно, из графиков, приведенных на рисунке 4.14 и в таблице 4.4 значения (λ_l) с повышением концентрации диоксида титана (n_{TiO_2}) монотонно растут.

Для обобщения или объединения значений, приведенных на рисунке 4.14 и в таблице 4.4 значения (λ_l) использовали в следующей функциональной зависимости [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154 -А,155-А]:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_1^*} = f\left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*}\right) \quad (4.28)$$

В выражениях все параметры по коэффициенту эффективной теплопроводности использованы при $T_1=333K$ и $n_{TiO_2}=0,3\%$.

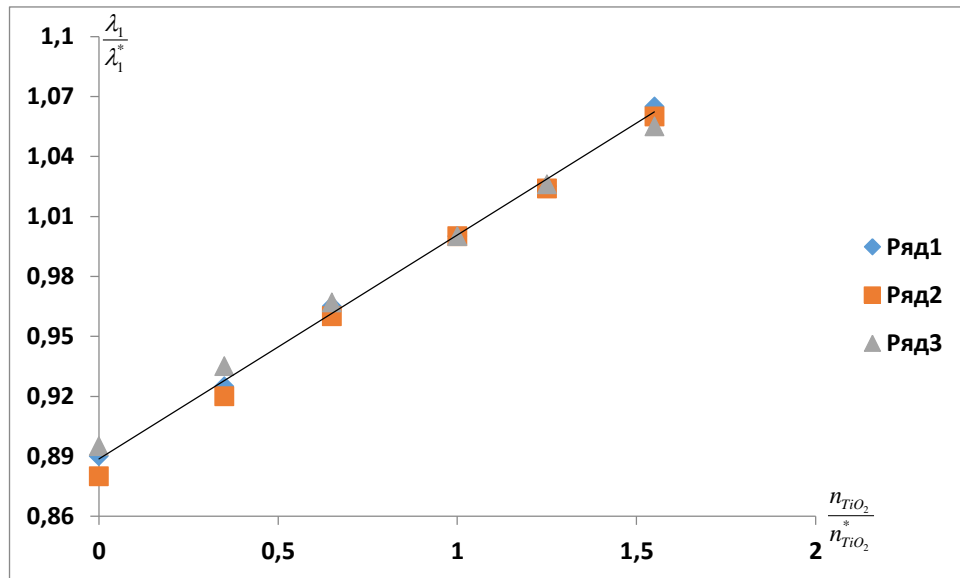


Рисунок 4.15. Зависимость относительного коэффициента теплопроводности $\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_1^*}\right)$ от относительной температуры $\left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*}\right)$ для исследуемых растворов:

Формула для расчета графиков, представленных на рисунке 4.15 (таблица 4.4) имеет следующий вид:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_1^*} = 0,112\left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*}\right) + 0,889 \quad (4.29)$$

Из уравнения (4.29) получим следующее выражение:

$$\lambda_1 = \left\{ 0,112 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right) + 0,889 \right\} \lambda_1^* \quad (4.30)$$

В уравнении (4.30) значения (λ_1^*) являются функциями размеров наночастиц введенных в жидкий толуол (рисунок 4.16).

График прямой линии, показанный на рисунке (4.16) описывается выражением [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154 -А,155-А]:

$$(\lambda_1^*) = (0,0015d^2 + 0,167d + 134,32) \cdot 10^{-3}, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)} \quad (4.31)$$

Уравнение (4.31) с учетом выражений (4.27)-(4.30) принимает вид [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154 -А,155-А].

$$\lambda = \left[-1,8667 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 3,345 \left(\frac{T}{T_1} \right) - 0,4874 \right] \cdot \left\{ 0,112 \left(\frac{n_{TiO_2}}{n_{TiO_2}^*} \right) + 0,889 \right\} (0,0015d^2 + 0,167d + 134,32) \cdot 10^{-3}, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)} \quad (4.32)$$

С помощью выражения (4.32) можно численно определить теплопроводность наножидкостей на основе толуола, как в чистом виде, так и с внедрением в него наночастиц с эффектом “памяти форм” с различными фракциями (30нм, 50нм и 70нм), при температурах (273-343)К и давлении (0,101) МПа [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154-А,155-А].

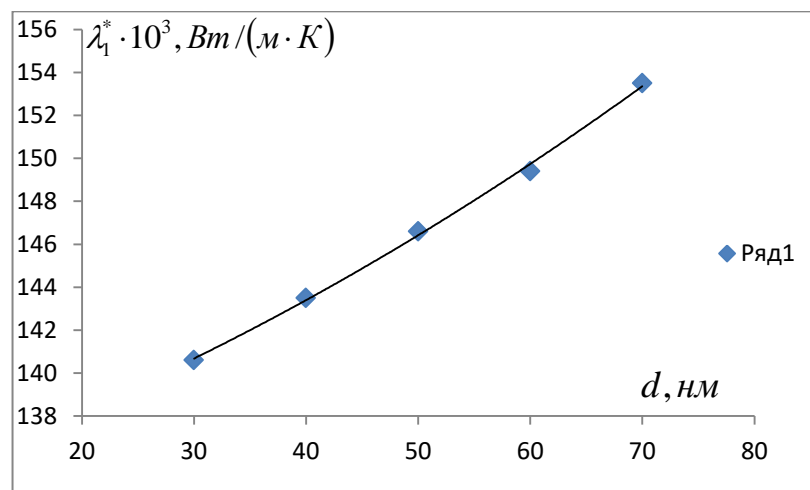


Рисунок 4.16. Зависимость (λ_1^*) от размеров наночастиц(d), внедренных в теплоноситель (толуола).

Для данного расчета по формуле (4.32) необходимо располагать значениями T , K и концентрацией диоксида титана (n_{TiO_2}), внедренного в толуол в процентном соотношении. Результаты численных расчетов по уравнению (4.32) для некоторых коллоидных наножидкостей на основе толуола, как в чистом виде, так и с добавлением наночастиц с эффектом “памяти форм” приведены в таблице 4.5 [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А, 151 -А,152-А, 154 -А,155-А].

Таблица 4.5. Сравнение вычисленных значений теплопроводности коллоидных растворов на основе толуола с добавлением диоксида титана различной фракции с экспериментальными данными по уравнению (4.32).

	<i>Температура, К</i>							
T, K	293	313	333	353	373	393	413	443
	<i>Коэффициент эффективной теплопроводности расчит. по форм. (4.24)</i>							
	Образец №2-(х.ч. толуол+0,1%TiO ₂),30нм							
$\lambda_{\text{экс}} \cdot 10^3, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	139,7	134,5	130,4	125,5	120,8	116,7		
$\lambda_{\text{рас}} \cdot 10^3, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	140,8	137,6	134,5	130,4	127,7	124,5		
$\Delta, \%$	-0,79	-2,3	-3,34	-3,9	-5,4	-6,2		
$\delta, \%$	<i>Среднеквадратическая погрешность расчета теплопроводности по урав. (4.24) -3,67</i>							
	Образец №6-(х.ч. толуол+0,5%TiO ₂),70нм							
$\lambda_{\text{экс}} \cdot 10^3, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	173,4	166,6	163,7	161,6	155,8	152,7		
$\lambda_{\text{рас}} \cdot 10^3, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	178,3	174,1	170,3	165,9	161,8	157,7		
$\Delta, \%$	-2,82	-4,3	-3,88	-2,59	-3,85	-3,27		
$\delta, \%$	<i>Среднеквадратическая погрешность расчета теплопроводности по урав. (4.24) -3,45</i>							

Как видно, из результатов численных расчетов теплопроводности по полученным нами аппроксимационным зависимостям по уравнению (4.32) (таблица 4.5) со среднеквадратической погрешностью совпадают с экспериментальными данными, которая составляет 3.99%. Результаты численных расчетов согласуются с экспериментальными данными.

4.5. Обобщение экспериментальных данных изученных наночастиц с эффектом “памяти форм” с разными фракциями, внедренные в газообразный толуол в зависимости от температуры при атмосферном давлении

Обобщение данных по теплопроводности изучаемых образцов, полученных на основе опыта при атмосферном давлении и изменяющейся температуре от 400 до 680К (пункт 3.4.2 и таблиц 3.14-3.16), нами было выполнено на основе нижеприведенной функциональной зависимости [59,96,118,123-128]и[140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154 -А,155-А]:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.33)$$

где λ, λ_1 - коэффициент теплопроводности исследуемых растворов при температурах T и T_1 : $T_1 = 520\text{К}$.

Выполнимость выражения (4.33), для представленной категории изучаемых веществ проиллюстрирована на рисунке 4.17, согласно которому, опытные точки хорошо совпадают с своей общей прямой [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А, 155-А].

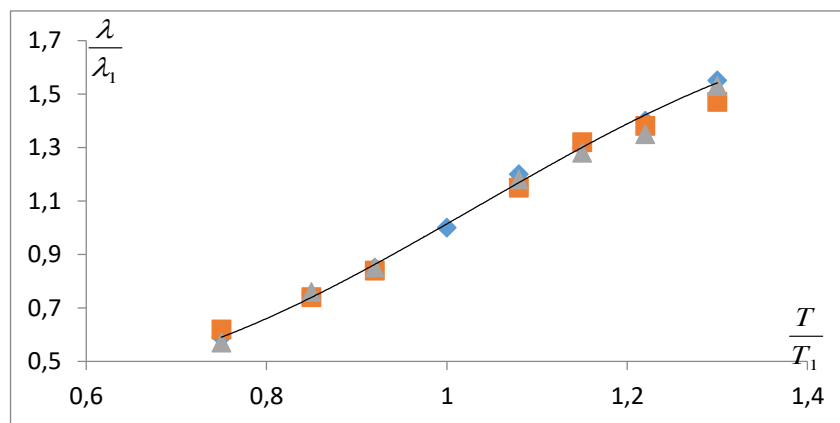


Рисунок 4.17. Зависимость относительной теплопроводности (λ/λ_1) от относительной температуры (T/T_1) для системы газообразного толуола+диоксида титана. Объекты исследования: №1-(толуол газообразный); №2-(толуол газообразный + 0,1 %TiO₂); №3-(толуол газообразный + 0,2%TiO₂); №4-(толуол газообразный + 0,3% TiO₂); №5-(толуол газообразный + 0,4%TiO₂); №6-(толуол газообразный + 0,5%TiO₂).

Используя пакет программы Matlab или Excel и график, приведенный на рисунке 4.17, находим аппроксимационную зависимость [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154 -А,155-А]:

$$\lambda/\lambda_1 = -2,756(T/T_1)^3 + 8,5227(T/T_1)^2 - 6,8482(T/T_1) + 2,096 \quad (4.34)$$

В уравнении (4.34) оказалось, что значения λ_1 являются функциями концентрации наночастиц диоксид а титана с эффектом “памяти форм” и их фракции (рисунок 4.18 и таблица 4.6).

Таблица 4.6. Значение (λ_1) от концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм” с различными фракциями при газообразном состоянии толуола.

Значение ($\lambda_1 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$)						
Образцы №1-№6 (d=30нм)	32,5	33,7	34,9	36,1	38,3	40,5
Образцы №7- №12 (d=50нм)	32,5	34,7	36,9	39,7	40,6	43,0
Образцы №13- №18 (d=70нм)	32,5	36,5	40,0	44,2	48,3	53,9

Объекты исследования: №1-(толуол газообразный); №2-(толуол газообразный +0,1%TiO₂(30нм)); №3-(толуол газообразный +0,2%TiO₂(30нм)); №4-(толуол газообразный +0,3%TiO₂(30нм)); №5-(толуол газообразный +0,4 % TiO₂ (30нм)); №6-(толуол газообразный +0,5%TiO₂(30нм)); №7-(толуол газообразный); №8-(толуол газообразный +0,1% TiO₂ (50нм)); №9-(толуол газообразный + 0,2 % TiO₂ (50нм)); №10-(толуол газообразный +0,3%TiO₂ (50нм)); №11-(толуол газообразный +0,4 % TiO₂ (50нм)); №12-(толуол газообразный +0,5%TiO₂ (50нм)); №13-(толуол газообразный); №14-(толуол газообразный+ 0,1% TiO₂ (70 нм)); №15-(толуол газообразный + 0,2%TiO₂ (70нм)); №16-(толуол газообразный+0,3%TiO₂(70нм)); №17-(толуол газообразный+0,4 %TiO₂ (70 нм)); №18-(толуол газообразный + 0,5% TiO₂ (70нм)).

Из уравнения (4.34) находим [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154 -А,155-А]:

$$\lambda/\lambda_1 = -2,756(T/T_1)^3 + 8,5227(T/T_1)^2 - 6,8482(T/T_1) + 2,096, \quad (4.35)$$

Как видно, из графика, приведенного на рисунке 4.18 и таблицы 4.6 значение (λ_1) с повышением концентрации диоксида титана (n_{TiO_2}) монотонно растет.

Для обобщения или данных, приведенных на рисунке 4.18 и в таблице 4.6 значение (λ_1) использовали в следующей функциональной зависимости [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А, 152-А,154 -А,155-А]:

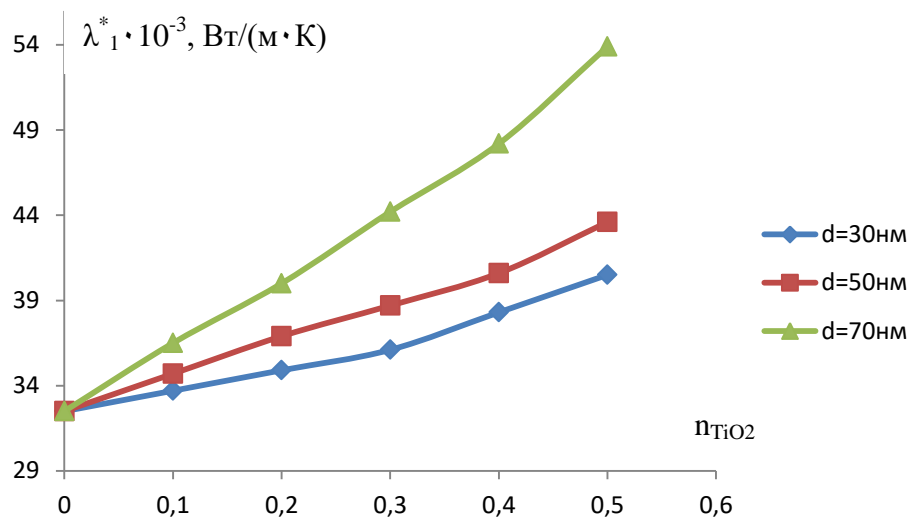


Рисунок 4.18. Зависимость коэффициента эффективной теплопроводности системы толуола при температуре $T_1=520K$ (λ_1^*) от концентрации диоксида титана (n_{TiO_2}). Объекты исследования: №1-(толуол газообразный); №2-(толуол газообразный+0,1%TiO₂(30нм)); №3-(толуол газообразный +0,2%TiO₂(30нм)); №4-(толуол газообразный +0,3% TiO₂ (30нм)); №5-(толуол газообразный+0,4 %, TiO₂ (30нм)); №6-(толуол газообразный +0,5%TiO₂(30нм)); №7-(толуол газообразный); №8-(толуол газообразный+0,1% TiO₂(50нм)); №9-(толуол газообразный+ 0,2 % TiO₂ (50нм)); №10-(толуол газообразный+0,3%TiO₂(50нм)); №11-(толуол газообразный+0,4% TiO₂ (50нм)); №12-(толуол газообразный+ 0,5% TiO₂ (50нм)); №13-(толуол газообразный); №14-(толуол газообразный+ 0,1%TiO₂ (70 нм)); №15-(толуол газообразный+ 0,2%TiO₂ (70нм)); №16-(толуол газообразный+0,3%TiO₂(70нм)); №17-(толуол газообразный +0,4%TiO₂ (70нм)); №18-(толуол газообразный + 0,5% TiO₂ (70нм)).

$$\lambda_1^* = f(n_{TiO_2}) \quad (4.36)$$

В выражении все параметры по коэффициенту эффективной теплопроводности использованы при $T_1=520K$ и $n_{TiO_2}^*=0,3\%$.

График выражения (4.36) приведен на рисунке 4.18. Как видно из рисунка 4.18 коэффициент теплопроводности исследуемых газодисперсных смесей толуола+наночастиц с эффектом “памяти форм” (диоксид титана) при различных размерах наночастиц (фракций) с ростом концентрации наночастиц (0-0.5% масс.) растет по линейному закону.

Формула для расчета уравнения прямой линии, приведенной на рисунке 4.18 и таблице 4.7 имеет следующую функциональную зависимость:

$$\lambda^*_1 = (A \cdot n_{\text{TiO}_2} + B) \cdot 10^3, \text{ Вт/(мК)} \quad (4.37)$$

Константы А и В уравнения (4.37) приведены в виде таблицы 4.7.

Таблица 4.7. Значение константы А и В уравнения 4.37 [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А, 146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А,155-А]:

Образец системы (толуол + наночастицы с эффектом “памяти форм”)	Фракция, нм	А, Вт/(мК)%	В,Вт/(мК)
№1	30	14,5	32,15
№2	50	24,75	31,125
№3	70	40,75	32,125

В уравнении (4.37) значения (λ^*_1) являются функциями размеров и концентрации наночастиц, введенных в газообразный толуол (таблица 4.7).

Уравнение (4.34) с учетом выражения (4.37) принимает вид [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А, 155 -А]:

$$\lambda = [-2,756(\frac{T}{T_1})^3 + 8,5227(\frac{T}{T_1})^2 - 6,8482(\frac{T}{T_1}) + 2,096] (A \cdot n_{\text{TiO}_2} + B) 10^{-3}, \text{ Вт/(мК)} \quad (4,3)$$

С помощью выражения (4.38) можно численно определить теплопроводность наножидкостей на основе толуола, как в чистом виде, так и внедренными в него наночастиц с эффектом “памяти форм” с различными фракциями (30нм, 50нм и 70нм), температурой (273-343)К и давлением (0,101) МПа. Для данного расчета по формуле (4.38) необходимо располагать значениями Т, К и

концентрацией диоксида титана (n_{TiO_2}), внедренного в толуол в процентном соотношении. Результаты численных расчетов по уравнению (4.38) для некоторых коллоидных наножидкостей на основе толуола, как в чистом виде, так и с добавлением наночастиц с эффектом “памяти форм” приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8. Сравнение вычисленных значений по уравнению (4.38) теплопроводности системы толуола + наноразмерного диоксида титана с различными фракциями, температурой и атмосферном давлении (0,101)МПа с экспериментальными данными.

	<i>Температура, К</i>					
Т,К	400	440	480	520	600	680
	<i>Коэффициент эффективной теплопроводности расчит. по ур.в. (4.38)</i>					
	Образец №2- (газообразный толуол+0,1%TiO ₂),30нм					
$\lambda_{\text{экс}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	19,9	24,5	28,8	33,7	42,9	52,4
$\lambda_{\text{рас}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	20,31	24,39	28,49	32,59	40,79	48,98
Δ ,%	2,06	0,45	1,09	3,29	4,91	6,5
δ ,%	<i>Среднеквадратическая погрешность расчета теплопроводности образцов по ур.в. (4.38) 3,05%</i>					
$\lambda_{\text{экс}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	32,5	42,2	47,3	53,7	60,9	70,1
$\lambda_{\text{рас}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	34,3	42,4	47,7	54,6	68,3	72,5
Δ ,%	5,5	0,47	0,84	1,68	12,15	0,19
δ ,%	<i>Среднеквадратическая погрешность расчета теплопроводности по ур.в. (4.38) 3,47%</i>					

Как видно по результатам численных расчетов теплопроводности по аппроксимационной зависимости, полученных нами по уравнению (4.38) (таблица 4.8), результаты расчета со среднеквадратической погрешностью совпадают с экспериментальными данными по теплопроводности толуола в пределе 3.26%. Результаты численных расчетов согласуются с экспериментальными данными.

4.6. Обработка экспериментальных данных по теплопроводности жидкого толуола с внедренными наночастицами с эффектом “памяти форм” при высоких параметрах состояния

Для получения расчетного уравнения по теплопроводности растворов (коллоидных) при различных температурах (300-440)К и давлениях $P=0.101$ МПа, $P=2.94$ МПа, $P=4.94$ МПа, $P=9.81$ МПа и $P=14.42$ МПа (пункт 3.4.4 и таблиц 3.16-3.27) было проведено соответствующее обобщение опытных данных в виде выражения (4.34). Кроме того плотность двухкомпонентных растворов системы толуола и наноразмерных частиц диоксида титана различной фракции (30нм, 50нм и 70нм) нами использовано эмпирическое уравнение типа Тейта, сущность которого мы не сочли необходимым подробно здесь раскрывать, а представили в виде ссылок на необходимую научную литературу [5,7,9,11,22,30,35,41,44,48,58,62-64,66,80,86,88,89,92,95, 99,112,116,119,120,129,131,133,135] и [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А,155-А]:

$$\frac{\rho_{P,T}}{\rho_{P_1,T_1}} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.39)$$

$$\frac{\lambda_{P,T}}{\lambda_{P_1,T_1}} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (4.40)$$

где $\rho_{P,T}$, $\lambda_{P,T}$ - плотность и теплопроводность при давлении P и температуре T ; ρ_{P_1,T_1} , λ_{P_1,T_1} - плотность, теплопроводность при давлении P_1 и температуре $T_1 = 360$ К; $P_1 = 2,94$; $4,91$; 9.81 и $P = 14,52$ МПа.

Выполнимость выражений (4.39) и (4.40) для рассматриваемых нами растворов проиллюстрирована на рисунках 4.19 и 4.20, согласно которым данные, полученные по итогам экспериментов хорошо ложатся вдоль общей кривой и прямой линий [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А,155-А]:

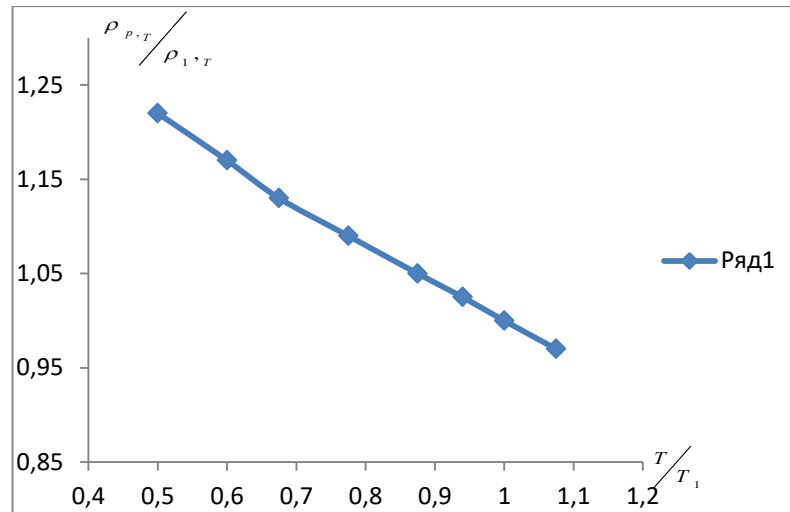


Рисунок 4.19. Зависимость относительной плотности $\left(\frac{\rho_{p,T}}{\rho_{1,T}}\right)$ от относительной температуры $\left(\frac{T}{T_1}\right)$ растворов системы толуола с наночастицами с эффектом «памяти форм» на основе диоксида титана.

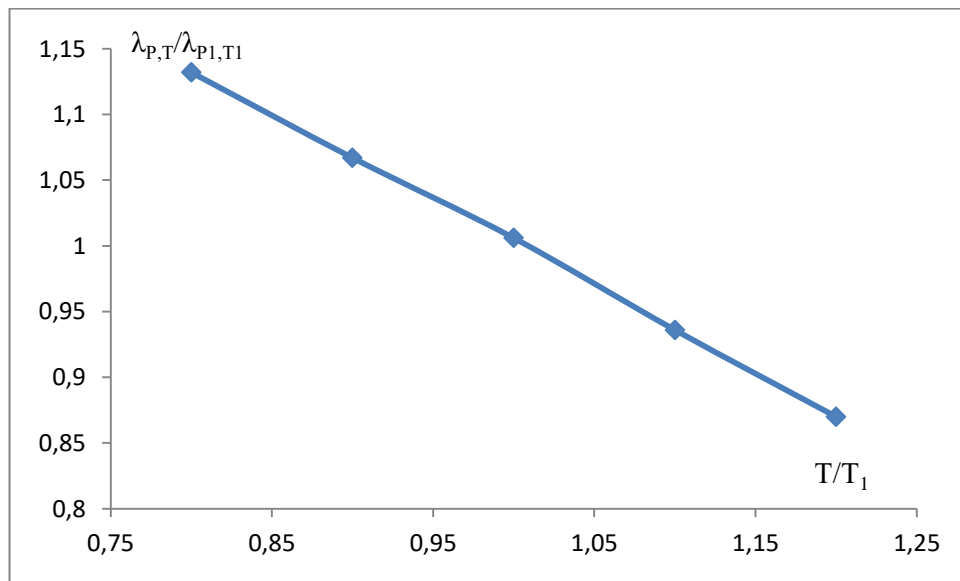


Рисунок 4.20. Зависимость относительного коэффициента теплопроводности $\left(\frac{\lambda_{p,T}}{\lambda_{p1,T1}}\right)$ от относительной температуры $\left(\frac{T}{T_1}\right)$ растворов системы толуола с наночастицами с эффектом «памяти форм» на основе диоксида титана.

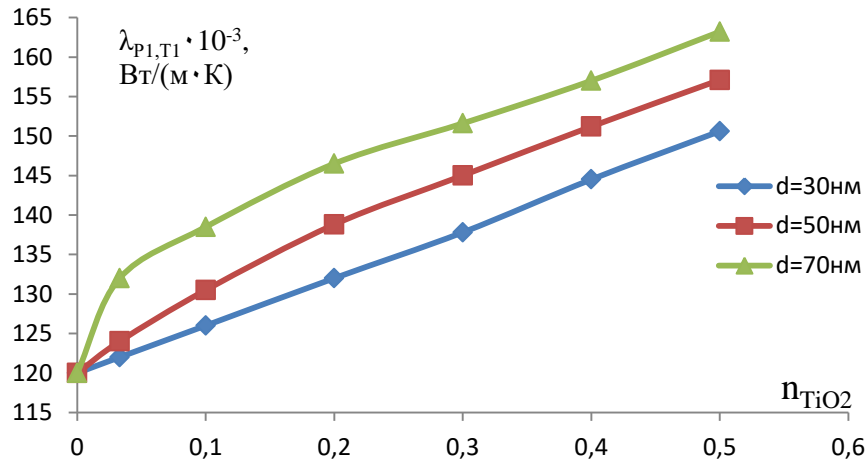


Рисунок 4.21. Зависимость коэффициента теплопроводности $\lambda_{p,T1}$ системы толуол от концентрации наночастиц n_{TiO_2} с эффектом “памяти форм” на основе диоксида титана для различных его фракций.

Прямые, показанные на рисунках 4.19 и 4.20 можно рассчитать следующими выражениями:

- для расчета плотности двухкомпонентных коллоидных растворов на основе толуола при высоких параметрах состояния [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-А,155-А]:

$$\frac{\rho_{p,T}}{\rho_{p_1,T_1}} = 1,4389 - 0,4381 \frac{T}{T_1} \quad (4.41)$$

- для расчета коэффициента теплопроводности двухкомпонентных растворов на основе толуола при высоких параметрах состояния [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А,154-,155-А]:

$$\frac{\lambda_{p,T}}{\lambda_{p_1,T_1}} = 1,636 - 0,63 \frac{T}{T_1} \quad (4.42)$$

Анализ значений ρ_{p_1,T_1} , λ_{p_1,T_1} показал, что они являются функциями фракции наночастиц и давления (таблиц 4.9).

Значения коэффициента эффективной теплопроводности исследуемых наножидкостей представляют собой функцию концентрации наночастиц и давления λ_{p_1,T_1} (таблица 4.9) [140-А,141-А,142-А,143-А, 144-А,145-А, 146-А,147-А,150-А,151-А,152-А,154-А,155-А]:

$$\lambda_{p,T} = f(n_{\text{TiO}_2}, d, p) \quad (4.43)$$

$$\lambda_{p,T} = (A(n_{\text{TiO}_2})^2 + B n_{\text{TiO}_2} + C) \cdot 10^{-3}, \text{ Вт/(м К)} \quad (4.44)$$

Таблица 4.9. Значение коэффициентов уравнения (4.44) прямых и кривых линий, приведенных на рисунке 4.21, для давления $p=2,94$ МПа.

Образцы	Фракция, нм	Массовая концентрация нанонаполнителя, % TiO ₂	A, Вт/(м.К)(%) ²	B, Вт/(м.К)(%)	C, Вт/(м.К)
№1	30	0-0,5	-	61,11	19,8
№2	50	0-0,5	-65,1	49,81	120,5
№3	70	0-0,5	-111,6	130,5	124,3

Из уравнений (4,42) и (4.44) получим следующую аппроксимационную зависимость [140-А,141-А,142-А,143-А,144-А,146-А,147-А,150-А,151-А, 152-А, 154 -А,155-А]:

$$\lambda_{p,T} = [1,636 - 0,63(T/T_1)] [A(n_{\text{TiO}_2})^2 + B n_{\text{TiO}_2} + C] \cdot 10^{-3}, \text{ Вт/(м К)} \quad (4.45)$$

Способ определения коэффициентов эмперических уравнений (4.44) и (4.45) успешно применяется и при других давлениях, при которых проводились измерения коэффициента эффективной теплопроводности наножидкостей на основе толуола и наночастиц диоксида титана с эффектом “памяти форм” (таблица 4.10-4.12) [140 -А,141-А,142-А,143-А,144-А,145-А,146-А,147-А,149-А,150-А,151-А,152-А, 154 -А,155-А].

Таблица 4.10. Значение коэффициентов уравнений прямых и кривых линий, приведенных на рисунке 4.21, для давления $p=4,91$ МПа в выражениях (4.44) и (4.45).

Образцы	Фракция, нм	Массовая концентрация нанонаполнителя, % TiO ₂	A, Вт/(м.К)(%) ²	B, Вт/(м.К)(%)	C, Вт/(м.К)
№1	30	0-0,5	-14,46	82,684	120,3
№2	50	0-0,5	-19,64	98,6	120,8
№3	70	0-0,5	-155,3	185,2	121,2

Таблица 4.11. Значение коэффициентов уравнения прямых и кривых линий, приведенных на рисунке 4.21, для давления $p=9,81$ МПа в выражениях (4.44) и (4.45).

Образцы	Фракция, нм	Массовая концентрация нанонаполнителя, % TiO ₂	A, Вт/(м.К)(%) ²	B, Вт/(м.К)(%)	C, Вт/(м.К)
№1	30	0-0,5	-123,2	168,2	122,0
№2	50	0-0,5	-204,6	216,0	122,6
№3	70	0-0,5	-235,7	240,2	123,8

Таблица 4.12. Значение коэффициентов уравнения прямых и кривых линий, приведенных на рисунке 4.21, для давления $p=14,42$ МПа в выражениях (4.44) и (4.45).

Образцы	Фракция, нм	Массовая концентрация нанонаполнителя, % TiO ₂	A, Вт/(м.К)(%) ²	B, Вт/(м.К)(%)	C, Вт/(м.К)
№1	30	0-0,5	-263,9	263,7	124,9
№2	50	0-0,5	-333,2	308,4	120,8
№3	70	0-0,5	-407,6	301,6	126,7

По уравнению (4.45), располагая данными о концентрации добавляемых наночастиц диоксида титана различной фракции (30 нм, 50 нм и 70 нм), можно произвести расчет плотности, теплопроводности (ρ , λ) экспериментально не исследованных систем толуола + наночастицы диоксида титана с различными фракциями (30 нм, 50 нм и 70 нм) при изменении температуры (300-440) К и давления (до 14,42 МПа) со средней погрешностью до 2,3% [140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 144-А, 145-А, 146-А, 147-А, 149-А, 150-А, 151-А, 152-А, 154-А, 155-А], а результат сравнения вычисленных значений термодинамических и теплофизических свойств при атмосферном давлении представлено в таблицах П.IV-П.VII

4.7. Заключение по четвертому главе.

Эмпирические уравнения и обобщенные варианты различных зависимостей, которые получены для какой-либо группы веществ, не способны удовлетворять требования касательно другой группы или категории веществ, т.е. они имеют узкую направленность. Сложности, возникающие при разработке соответствующих статистических теорий, главным образом возникают возрастающим количеством компонентов веществ и сложностей их структур (растворителя и растворенных в жидкости наночастиц), что приводит к дополнительным препятствиям для выполнения прикладных расчетов свойств реальных растворов. В связи со сказанным возникает необходимость к разработке методов прогноза, которые основываются на единых закономерностях и подходах к описанию теплофизических свойств, включая плотность и теплопроводность веществ, которым будет достаточно минимальной исходной информации об их параметрах

В данной главе приведены аппроксимационные зависимости, устанавливающие взаимосвязь: $\lambda = f(\rho)$; $\lambda = f(T, m)$; $\lambda = f(n_{TiO_2}, T, P)$; $\rho = f(T, P, n_{TiO_2})$ и др., позволяющие провести расчет указанных величин.

На основе данных по плотности и коэффициенту эффективной теплопроводности, полученных опытным путем двухкомпонентных растворов системы, состоящей из толуола и наноразмерного диоксида титана нами был выведен ряд корреляционных зависимостей.

ВЫВОДЫ

1. Изучен коэффициент эффективной теплопроводности и плотности, жидкого, газообразного толуола и на линии его насыщения с внедрением наночастиц с эффектом “памяти форм” различной фракции (30нм, 50нм и 70нм) в зависимости от температуры и давления [140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 144-А, 145-А, 146-А, 147-А, 149-А, 150-А, 151-А, 152-А, 154-А, 155-А].

2. Впервые получены экспериментальные значения плотности, коэффициента эффективной теплопроводности системы толуол (в жидкой и газовой фазах) + наночастицы с эффектом “памяти форм”) при температуре ($T=293-433\text{K}$) и давлении ($P=0,101-14,42\text{МПа}$), которые используются проектными организациями для выполнения надлежащих инженерных расчетов [140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 144-А, 145-А, 146-А, 147-А, 149-А, 150-А, 151-А, 152-А, 154-А, 155-А].

3. Показано, что плотность, коэффициент эффективной теплопроводности исследуемых растворов, при заданной температуре увеличиваются с ростом давления, а с ростом температуры при постоянном давлении уменьшаются. Также выявлена закономерность изменения вышеперечисленных параметров в газовом состоянии базовой жидкости и на линии насыщения [140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 144-А, 145-А, 146-А, 147-А, 149-А, 150-А, 151-А, 152-А, 154-А, 155-А].

4. При обработке и обобщении экспериментальных данных по плотности, коэффициенту эффективной теплопроводности исследуемых систем (толуол + наночастицы с эффектом “памяти форм”), получены аппроксимационные и корреляционные выражения, устанавливающие взаимосвязь между этими характеристиками [140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 144-А, 145-А, 146-А, 147-А, 149-А, 150-А, 151-А, 152-А, 154-А, 155-А].

5. Полученную аппроксимационную зависимость и уравнение состояния, можно использовать для расчета и прогнозирования перечисленных параметров экспериментально неисследованных растворов на основе толуола с внедрением наночастиц TiO_2 (с различными фракциями 30, 50 и 70нм) в

широком интервале изменения параметров состояния (температуры, давления и массовой концентрации наноразмерного диоксида титана с эффектом “памяти форм”) [140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 144-А, 145-А, 146-А, 147-А, 149-А, 150-А, 151-А, 152-А, 154-А, 155-А].

6. Полученные аппроксимационные зависимости и уравнение состояния для наножидкостей используются студентами, магистрантами и аспирантами кафедры “Общая физика” ТГПУ имени С.Айни, и кафедры “Теплотехника и теплоэнергетика” ТТУ имени акд. М.С. Осими, для расчета калорических свойств исследуемых растворов [140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 144-А, 145-А, 146-А, 147-А, 149-А, 150-А, 151-А, 152-А, 154-А, 155-А].

7. Составлены подробные таблицы плотности и коэффициента теплопроводности исследуемых наножидкостей в широком интервале температур (293-433)К, давлений (0.101-14,42)МПа и массовой концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм”, которые могут быть использованы для соответствующего расчета различных технологических процессов и теплообменных устройств [140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 144-А, 145-А, 146-А, 147-А, 149-А, 150-А, 151-А, 152-А, 154-А, 155-А].

*Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы исследования
диссертационной работы*

1. Сформированы подробные таблицы данных о плотности и коэффициенте теплопроводности образцов исследования в интервале изменения температуры (300-440)К и давления (0,101-14,42)МПа, а также в зависимости от изменения массовой концентрации наночастиц с эффектом “памяти форм”, которые могут быть использованы для расчета различных технологических процессов и теплообменных аппаратов [140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 144-А, 145-А, 146-А, 147-А, 148-А, 149-А, 150-А, 151-А, 152-А, 153-А, 154-А, 155-А].

2. Полученные аппроксимационные зависимости и уравнение состояния для наножидкостей используются студентами, магистрантами и аспирантами кафедры “Общая физика” ТГПУ имени С.Айни, БГУ имени Носира Хусрава и кафедры “Теплотехника и теплоэнергетика” ТТУ имени академика М.С. Осими для расчета калорических свойств наножидкостей. [140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 146-А, 149-А, 150-А, 151-А, 154-А, 155-А].

3. Полученные значения плотности и уравнение состояния исследуемых образцов могут быть использованы для расчета разности теплоемкости ее растворов с другими растворителями. [140-А, 143-А, 149-А, 150-А, 151-А, 154-А, 155-А].

4. Получены экспериментальные и расчетные данные по коэффициенту эффективной теплопроводности и плотности жидких растворов с наночастицами (с эффектом “памяти форм”), которые могут служить основанием для развития микроскопической теории явления переноса тепла и массы в исследуемых материалах. [139-А, 140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 144-А, 145-А, 146-А, 147-А, 148-А, 149-А, 150-А, 151-А, 152-А, 154-А, 155-А].

5. Полученные эмпирические уравнения и уравнение состояния рекомендуются для расчета и соответствующего прогнозирования упомянутых выше характеристик опытно неизученных растворов системы толуола и наночастиц диоксида титана различной фракции (30,50 и 70нм) в широком ин-

тервале изменения параметров состояния, включая температуру, давление, а также массовую концентрацию нанонаполнителя (наноразмерный диоксид титана) [140-А, 141-А, 142-А, 143-А, 144-А, 145-А, 146-А, 147-А, 149-А, 150-А, 151-А, 152-А, 154-А, 155-А].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Lu, G.Q.**, Zhao, X.S. Nanoporous Materials Science and Engineering // Imperial College Press. – 2004. – 900 p.
2. **Юзова, В.А.**, Левицкий А.А., Харлашин П.А. Развитие технологии получения и исследования пористого кремния // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2011. – №4. – С. 92–112.
3. **Su, Z.**, Zhou W. Porous Anodic Metal Oxides // Science Foundation in China. – 2008. – Vol. 16. – № 1. – P. 1–162.
4. **Hagfeldt, A.** and Gratzel M. Light-induced redox reactions in nanocrystalline systems // Chem. Rev. – 1995. – Vol. 95. – P. 49.
5. **Varghese, O.K.**, Mor G.K., Grimes C.A., Paulose M., Mukherjee N. A Titania Nanotube-Array Room-Temperature Sensor for Selective Detection of Hydrogen at Low Concentrations // J. Nanosci. Nanotechnol. – 2004. – Vol. 4 – P. 733–737.
6. **Paulose, M.**, Varghese O.K., Mor G.K., Grimes C.A., Ong K.G. Unprecedented ultra-high hydrogen gas sensitivity in undoped titania nanotubes // Nanotechnology. – 2006. – Vol. 17. – P. 398–402.
7. **Chu, S.Z.**, Inoue S., Wada K., Li D., Haneda H., Awatsu S. Highly porous (TiO₂-SiO₂-TeO₂) / Al₂O₃ / TiO₂ composite nanostructures on glass with enhanced photocatalysis fabricated by anodization and sol-gel process // J. Phys. Chem. B. – 2003. – Vol. 107. – P. 6586–6589.
8. **Li, A.P.**, Muller F., Birner A., Nielsch K., Gosele U. Hexagonal pore arrays with a 50-420 nm interpore distance formed by self-organization in anodic alumina // Journal of Applied Physics. – 1998. – Vol. 84. – № 11. – P. 6023–6026.
9. **Ong, K.G.**, Varghese O.K., Mor G.K., Shankar K., Grimes C.A. Application of Finite Difference Time Domain to Dye-Sensitized Solar Cells: The Effect of Nanotube Array Negative Electrode Dimensions on Light Absorption // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2007. – Vol. 91. – P. 250-257.
10. **Tsuchiya, H.**, Macak J.M., Sieber I. and Schmuki P. Electrochemical Formation of Self-Organized High Aspect Ratio Porous Zirconium Oxide // Small 1 (2005) 722.

11. Macak, J.M., Albu S., Kim D.H., Paramasivam I., Aldabergerova S. and Schmuki P. Multilayer TiO₂-Nanotube Formation by Two-Step Anodization // *Electrochem. Solid-State. Lett.* – 2007. – Vol.10. – P. 28– P. 31.

12. Sieber, I.V., Kannan B. and Schmuki P. // *Electrochem. Solid-State. Lett.* – 2005. – Vol. 8. – P. 10.

13. Mukherjee, N., Paulose M., Varghese O.K., Mor G.K. and Grimes C.A. Fabrication of nanoporous tungsten oxide by galvanostatic anodization // *J. Mater. Res.* – 2003. – Vol. 18. – P. 2296–2299.

14. Tsuchiya, H. and Schmuki P. Self-organized high aspect ratio porous hafnium oxide prepared by electrochemical anodization // *Electrochem. Commun.* – 2005. – Vol. 7. – P. 49–52.

15. Марьева, Е.А. Электрохимический синтез диоксида и нитридов титана в водосодержащих органических электролитах/Дисс. ...канд. техн. наук. – Саратов, 2013.-164с.

16. Марьева, Е.А., Попова О.В. Электрохимическое модифицирование титана в водноорганических электролитах. Монография. Таганрог. Издательство Южного федерального университета. 2016.-166с.

17. Yang, J., Mei S., Ferreira J.M.F. Hydrothermal synthesis of TiO₂ nanoparticles from tetra alkyl ammonium hydroxide peptized sols // *Mater. Sci. Eng. C.* – 2001. – Vol. 15, № 1-2. – P.183–185.

18. Шабанова, Н.А., Ионов В.В., Саркисов П.Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов: Учебное пособие. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 309 с.

19. Артеменко, С. В. Сдвиг критических параметров классических жидкостей под влиянием добавок наночастиц. *Прикладная физика.* 6/5 (72) 2014,- С. 29-34.

20. Sarkar, J. A critical review of heat transfer correlations of nanofluids/ *J. Sarkar*// *Renewable and Sustainable Energy Review.* – 2011. – Vol. 15, Issue 6. – P. 3271–3277. doi: 10.1016/j.rser.2011.04.025

21. Nikitin, D. Thermodynamic and phase behavior of fluids embedded with nanostructured materials/ D. Nikitin, V. Mazur //International Journal of Thermal Sciences. – 2012. – Vol. 62. – P. 44–49. doi:10.1016 /j.ijthermalsci. 2012.02.021

22. Span, R. A new equation of state for carbon dioxide covering the fluid region from the triple-point temperature to 1100 K at pressures up to 800 MPa/ R. Span, W.Wagner//Journal of Physical and Chemical Reference Data.–1996.–Vol. 25, Issue 6. – P. 1509–1596. doi: 10.1063/1.555991

23. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит. 2009. -416 с.

24. Сорокин, П. Б. Теоретические исследования физико-химических свойств низкоразмерных структур: дис. ... док. физ.-мат. наук: 01.04.07 : защищена 3.12.14 / Сорокин Павел Борисович. – М.:, 2014. – 324 с.

25. Ohno, T. Crystal faces of rutile and anatase TiO₂ particles and their roles in photocatalytic reactions /T.Ohno, K. Sarukawa, M. Matsumura // New J. Chem. 2002. № 26. -P.1167 – 1170.

26. Чибисов, А. Н. Электронная структура наночастиц диоксида титана / А.Н. Чибисов, А.О.Бизюк // Вестник Амурского государственного университета. 2008. Вып. 43.-С. 22 – 23.

27. Katoh, Ryuzi. Transient absorption spectra of nanocrystalline TiO₂ films at high excitation density / Ryuzi Katoh, Miki Murai, Akihiro Furube // Chemical Physics Letters. 2010. Vol. 500. Issues 4 – 6, 19.- P. 309 – 312.

28.Zallen, R. The optical absorption edge of brookite TiO₂ / R. Zallen, M.P. Moret//Solid State Communications. 2006. № 137. -P. 154 – 157.

29. Мазуренко, В. В. Наночастицы, наноматериалы, нанотехнологии: учебное пособие / В.В. Мазуренко, А.Н. Руденко, В.Г. Мазуренко. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – 102 с.

30. <http://www.novsu.ru/file/1030787> – официальный сайт Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого.

31. http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_3772.html – электронный справочник химического портала.

32. TiO₂ thin film gas sensor for monitoring ammonia / B. Karunakaran et. Al. //Materials Characterization. 2007. V. 58. Iss. 8 – 9.- P. 680 – 684.

33. Моисеев, С. Г. Просветление поверхности диэлектрика наночастицами серебра/С.Г.Моисеев, С.В.Виноградов // Компьютерная оптика. 2010. Т. 34. № 4. -С. 538 – 544.

34. Дронов, А. А. Исследование и разработка технологий создания фотоэлектродов на основе наноструктурированного оксида титана: автореферат дис. канд. техн. наук: 05.27.06/Алексей Алексеевич Дронов.– М.,2012.– 22 с.

35. O’regan, B. A. low-cost high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films/B.O’regan, M. Gratzel//Nature.1991.V.353.№ 24. - P.737 – 740.

36. Гуров, А. А. Формирование фазового состава, микроструктуры и поверхности функциональных материалов при консолидации нанопорошка диоксида титана./Александр Алексеевич Гуров // 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы Дис. к. т. н.,Пермь,2018.122с.

37. Сергеев, Г.Б. Нанохимия. М. МГУ, 2003. -288 с.

38. Добровольский, И.П. Химия и технология оксидных соединений титана. Свердловск: УрО АН СССР,1988. -172 с.

39. Brinker, C.J., Scherer G.W. Sol-Gel Science. The physics and Chemistry of Sol-Gel Processing // San Diego. Academic Press, Inc. 1990.

40. Ремпель, А.А. Нанотехнологии, свойства и применение наноструктурных материалов // Успехи химии. 2007.Т.75. №5.-С. 474-500.

41. Урьев, Н.Б. Физико-химическая динамика дисперсных систем. //Успехи химии. М: Инс-т физ. химии РАН.2004. Т.73. 39 с.

42. Зольгель синтез гибридного материала диоксида кремния / полипропиленгликоль и электрореологические характеристики его дисперсий в полидиметилсилоксане /Т.А. Нефедова, А.В. Агафонов, О.И. Давыдова, А.С. Краев.// Механика композиционных материалов и приборов,2006.Т.12.- 391 с.

43. Kingston, H.M., Haswell S.J. Microwave-enhanced chemistry. Fundamentals, sample preparations and applications // Washington: American chemical society. 1999,- 479 p.

44. Solvo thermal synthesis of carbon coated N-doped TiO₂ nanostructures with enhanced visible light catalytic activity / X.-M. Yan, J. Kang, L. Gao, L. Xiong, P. Mei // Applied Surface Science. 2013. V. 265.- P. 778-783.

45. Зеликман, А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов // М.: Металлургия, 2001.- 432 с.

46. Влияние добавок водорастворимых полимеров на фазовый состав и размеры частиц диоксида циркония при осаждении из растворов солей / В.Н. Анциферов, С.Е. Порозова, В.Б. Кульметьева // Физика и химия стекла. 2012. Т. 38. № 3.- С.402-408.

47.Семухин, Б.С., Алтарева Л.М., Вотинов А.В., Опаренков Ю.В. Использование оксидов титана и циркония в производстве пеностекольных материалов строительного назначения. Строительные материалы и изделия. / Вестник ТГАСУ. № 5, 2015.-С.101-109.

48.Wang, J. Freestanding TiO₂ nanotube arrays with ultrahigh aspect ratio via electrochemical anodization / Wang J., Lin Z. // Chem. Mater.–2008.– № 20- – P.1257–1261.

49. Ahn, J.Y. Aero-sol-gel synthesis and photovoltaic properties of mesoporous TiO₂ nanoparticles./Ahn J.Y.,Cheon H.K.,Kim W.D., Kang Y.J., Kim J. M., Lee D.W., Cho C.Y., Hwang Y.H., Park H.S., Kang J.W., Kim S.H. // Chem. Eng. J.– 2012. – V. 188 – P.216–221.

50. Suciu, R. Metal propionate synthesis of TiO₂ nanomaterials / Suciu R., Marian I., Bratu I. // J. Alloys Compd. – 2014. – V. 584 – P.159–166.

51. Khomane, R.B. Microemulsion-mediated sol – gel synthesis of mesoporous rutile TiO₂ nanoneedles and its performance as anode material for Li-ion batteries / Khomane R.B.//J. Colloid Interface Sci.–2011.–V.356–№1– P. 369–372.

52. Wang, X. One-Dimensional Titanium Dioxide Nanomaterials: Nanowires, Nanorods, and Nanobelts / Wang X., Li Z., Shi J., Yu Y. // Chem. Rev.– 2014. – V. 114 – № 19 – P.9346–9384.

53. Wei, F. Various TiO₂ microcrystals: Controlled synthesis and enhanced photocatalytic activities /Wei F., Zeng H., Cui P., Peng S., Cheng T.// Chem. Eng. J.– 2008. – V. 144 – P.119–123.

54. You, Y. Preparation of continuous TiO₂ fibers by sol – gel method and its photocatalytic degradation on formaldehyde / You Y., Zhang S., Wan L., Xu D. // Appl. Surf. Sci.– 2012. – V. 258 – № 8 – P.3469–3474.

55. El-Sherbiny, S. Synthesis, characterization and application of TiO₂ nanopowders as special paper coating pigment /El-Sherbiny S., Fatma Morsy F., Samir M., Fouad O.A.//Appl Nanosci – 2014.– V.4 – P.305–313

56. Etgar, L. Mesoscopic CH₃NH₃PbI₃/TiO₂ heterojunction solar cells / Etgar L., Gao P., Xue Z., Peng Q., Chandiran A.K., Liu B., Nazeeruddin M.K., Grätzel M.//J. Am. Ceram. Soc.–2012.– V.134 – № 42 – P.17396–17399

57. Shieh, D. TiO₂ derived from TiC reaction in HNO₃: Investigating the origin of textural change and enhanced visible-light absorption and applications in catalysis /Shieh D., Huang S., Lin Y., Lin Y., Lin J., Yeh T., Teng H.// Microporous Mesoporous Mater. – 2013. – V. 167 – P.237–244.

58. Голубев, И.Ф., Назиев Я.М. //Труды ЭНИ им.Есьмена АН АзССР. – Баку, 1962.– Т.15.– С.70 –73.

59. Гусейнов, К.Д. Исследование термодинамических и переносных свойств ряда кислородосодержащих органических веществ в широком интервале параметров состояния: Автореферат дисс...д-ра техн.наук.– Баку, 1979.– 60 с.

60. Голубев, И.Ф. Определение удельного веса жидкостей и газов при высоких давлениях методом гидростатического взвешивания // Научн.труды ГИАП. – М., 1957. – Вып.УП. – С.47 – 61.

62. Байрамов, Н.М. Плотность бромалкилов и эфиров органических кислот в жидкой и паровой фазах: Дисс. ... канд.техн.наук. – Баку, 1983.-186 с

63. Timerkaev, B.A.,Ganieva G.R.,Kaleeva A.A.,Israfilov Z.K., Sofronits kii A.O. Growing of Carbon Nanotubes from Hydrocarbons in an Arc Plasma. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 92(5), 2019. pp.1248-1252, DOI 0.1007/s10891-019-02040-3

64. Timerkaev, B.A., Kaleeva A.A., Timerkaeva D.B., and Saifutdinov A.I. Synthesizing Germanium Nanotubes in an Electric Arc Plasma. Russian Journal of Physical Chemistry A, 2020, Vol. 94, № 3, pp. 613–617.

65. Timerkaev, B.A.,Andreeva A.A. Technology of growing silicon nanotubes Journal of Physics: Conf. Series 1058 (2018) 012071 doi :10. 1088 / 1742-6596/1058/1/012071

66. Timerkaev, B.A.,Kaleeva A.A.,Timerkaeva D.B, Saifutdinov A.I. Germanium Catalyst for Plasma-Chemical Synthesis of Diamonds. High Energy Chemistry 53 (5),. 2019. -pp 390-395.

67. Galeev, I G and Asadullin T. Ya. Obtaining fullerene-containing soot during combustion of gaseous hydrocarbons in an external electric field J. of Phys. Conf. Ser. 2016, 669 012016

68. Timerkaev,B.A.,Andreeva A.A. and Sofronitskiy A.O. Discharge creeping along the surface in the process for producing nanomaterials Journal of Physics: Conf. Series (2017) 012068 DOI: 10.1088/1742-6596/927/1/012068

69. Asadullin, T Y, Galeev I.G. The magnetic field application for the gas discharge plasma control in processes of surface coating and modification J. of Phys. Conf. Ser. 2017, 789(1) 012003

70. Timerkaev, B.A., Ganieva G.R.,Ziganchin D.I.,Auhadeev M.M. Электрические микрозаряды в жидкостях и перспективы их применения в плазмохимии Journal of Engineering Physics and Thermophysics, Vol. 87, №3, 2014.

71. Tazmeev, G. Kh.,Tazmeev Kh.K., Study of a DC Gas Discharge with a Copper Cathode in a Water Flow. 2017, Vol. 43, Plasma Physics Reports, № 7,-pp.756–762.

72. Saifutdinov, A.I.,Timerkaev B.A.,Saifutdinov A.A. Numerical Study of the Voltage Waveform Effect on the Spatiotemporal Characteristics of a Dielectric

Barrier Microdischarge in Argon Plasma Physics Reports, 2018, Vol. 44, No. 3, - pp. 359–368.

73. Saifutdinov, A.I., Timerkaev B.A., Ibragimov A.R. Numerical Simulation of Temperature Fields in a Direct-Current Plasmatron Technical Physics Letters.–2018.– V. 44, № 2.– P. 164–166. IF: 0.773; Q4; [https://doi.org/ 10.1134/ S 1063785018020281](https://doi.org/10.1134/S1063785018020281)

74. Asadullin, T.Y., Galeev I.G. Combined method of stabilization of the glow discharge in gas flow J. of Phys. Conf. Ser. 2017. 927(1) 012003

75. Galeev, I.G., Asadullin T.Y. Improving of stability of the volumetric glow discharge in the gas flow J. of Phys. Conf. Ser. 2017, 789(1) 012012

76. Galeev, I G, Asadullin T.Y. Enhancing of the glow discharge stability in chamber with cathode sections coated by a discontinuous dielectric coating J. of Phys. Conf. Ser. 2016. 669(1), 012015.

77. Райзер, Ю.П. Физика газового разряда. Научное издание. - 3-е изд. перераб. и доп. /Ю.П. Райзер – Изд-во: Интеллект, 2009, -736 с.

78. Корн, Г., Корн Т. Справочник по математике. - М.: Наука, 1984. - 832 с.

79. Галеев, И.Г., Асадуллин Т.Я., Цыбиков Р.О. Моделирование электрических характеристик положительного столба продольного тлеющего разряда в плоском канале с дополнительным вдувом газа через боковую стенку. Сборник трудов 1 Всероссийская конференция с международным участием “Газоразрядная плазма и синтез наноструктуры”, Казань, Россия, КНИТУ-КАИ, (2-5 декабря 2020).-С.155-158.

80. Теплопроводность жидкостей и газов/Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филиппов, А.А. Тарзиманов, Е.Е. Тоцкий. М.: Изд-во стандартов, 1978.-798с

81. Nieto de Castro, C.A., Calado J.G. et al.//Proc. VII Symp. Thermophys. Prop. 1977.N.Y.- P. 730-738.

82. Пугач, В.В. Исследование теплопроводности воды и некоторых органических жидкостей при высоких давлениях: Автореф. дис. ... канд, техн. наук. Одесса, 1970.- 21с.

83. Ильин, Б.И., Салохин В.Ф., Спирин Г.Г.//ИФЖ. 1976. Т. 30, № 6.- С. 972-978,

84. Kishiwagi, H., Oishi M., Tanaka Y. et al. //те. Г. Thermophys. 1982. Vol. 3, №2.- P. 101-116.

85. Нефедов, С.Н. Метод исследования комплекса теплофизических свойств жидкостей: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 1980.,-22с

86. Тарзиманов, А.А., Габитов Ф.Р., Шарафутдинов Р.А. Применение метода импульсного нагрева тонкой проволоки для измерения теплопроводности жидкостей и газов//Тепло- и массообмен в химической технологии / Межвуз. сб. Казань: КХТИ, 1985.-С. 14-17.

87. Шульга, В.М. Компенсационный метод периодического нагрева для измерения тепловых свойств жидкостей в широком интервале температур при давлении до 1000 МПа: Автореф. дис. ... канд. техн, наук, М., 1985.- 21с.

88. Габулов, Д.М. Теплопроводность органических соединений при высоких давлениях: Автореф. дис. ... канд. техн, наук. Грозный, 1978.-23с

89. Poitz, H.//Int. J. Heat Mass Transf. 1965. Vol. 5. P. 515-527; 1965. Vol. 8.- P. 609-620.

90. Расторгуев, Ю.Л., Ганиев Ю.А., Сафронов Г.А.//ИФЖ. 1977. Т. 33, № 2.- С. 275-279.

91. Leidenfrost, W.//High Temp High Pressures. 1979. Vol. 11, № 5. -P. 561-569.

92. Nagasaka, Y., Nagashima A.//Rev. Sci. Instrum. 1981. Vol. 52,№ 2.- P. 229-232.

93. Kitazawa, N., Nagashima A.//Bull. JSME. 1981. Vol. 24, № 188.-P. 374-379.

94. Kashiwagi, H., Hashimoto T., Tanaka Y, et al.//Int.J. Thermophys, 1982. Vol. 3, №3.-P. 201-215.

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

96.Сафаров, М.М. Р-р-Т зависимости водных растворов гидразина./ М.М.Сафаров,А.В.Картавченко.//Журнал Физ. химия,1993,М.,Т.67,№4.-С. 710 -712.

97.Васильев, Л.Л., Фрайман Ю.Б. Теплофизические свойства плохих проводников тепла. – Минск: Наука и техника, 1967. – 174 с.

98.Васильев, Л.Л., Танаева С.А. Теплофизические свойства пористых материалов. – Минск: Наука и техника, 1971. – 267 с.

99.Введенский, А.А., Масамиженов Т.Н. Термодинамические функции гидразина и его метилпроизводных./ИФЖ.-1966.-40.-№6.-С.1372-1377.

100.Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей.-М.: Наука, 1972.-720 с.

101.Michels, A., Botzen A. A method for the determination of thermal conductivity of gass at leilh prossurs // Physics. – 1952. – Vol.18.- P.605 –612.

102.Zaripova, M.A. Experimental study of the thermal conductivity of hydrazinehydrate at high values of the state parameters /М.М.Safarov, М.А. Zaripova //Measurement Techniques, 1993, Vol. 36, Number 4,- P. 435-438.

103.Арсланов, В.А., Тарзиманов А.А. Экспериментальная установка для исследования теплопроводности газов при температурах до 773 К и давлениях до 200 МПа // Труды КХТИ. – 1971.– Вып.47.– С.150–156.

104.Боровик, Е.Н. Формула для теплопроводности жидкостей// ЖЭТФ.–1948. – Т.18. – С.48.

105.Голубев, И.Ф. Бикалориметр для определения теплопроводности газов и жидкостей при высоких давлениях и различных температурах // Теплоэнергетика. – 1963. - № 12. – С.78 –82.

106. Кржижановский, Р.Е. Теплопроводность и электропроводность металлов и сплавов./ Р.Е. Кржижановский. //– М.: Металлургия, 1967. –285 с.

107. Мустафаев, Р.А. Прибор для измерения теплоемкости жидкостей при высоких давлениях в режиме монотонного разогрева.//Изв.ВУЗов СССР. Приборостроение.-1971.-№7.-С.103-106.

108. Мустафаев, Р.А., Курепин В.В. Динамический метод измерения теплоемкости жидкостей при высоких давлениях и температурах.//ТВТ.-1973.-№1.-11.-С.114-115.

109. Кей, Дж., Леби Т. Таблица физических величин.–1962.– 244 с.

110. Мустафаев, Р.А. Методы, аппаратура и исследования теплофизических свойств органических жидкостей и их паров при высоких параметрах состояния: /Рамиз Али огли Мустафаев// Дис....д-ра техн.наук.-Баку, 1973.-400с.

111.Тимрот, Д.Л., Варгафтик Н.Б., Ривкин С.Л. Экспериментальное изучение теплоемкости водяного пара при высоких давлениях и температурах.// Изв. ВТИ.-1948.-№4.-С.43.

112. Френкель, Я.И. Кинетическая теория жидкостей.Л.: Наука, 1975.-692 с.

113. Картавченко, А.В., Григорьев В.М., Дидык В.А. Разработка каталитического пакета разложения низкотемпературного топлива (типа гидразингидрата) для глубоководного аппарата “Океан “/ НПО ГИПХ,1987; Инв. №53 – 87.–28 с.

114. Коровин, Н.В. Гидразин./Н.В.Коровин.//–М.:Химия, 1980. –272 с.

115. Харламов, А.Г. Теплопроводность высокотемпературных теплоизоляторов. – М.: Атомиздат,1979.–100 с.

116. Цыкало, А.Л. Термодинамические свойства гидразина. /А.Л. Цыкало, В.К. Савенков и др. // – Рук. деп. в ВИНТИ № 536 .-74с.

117. Мустафаев, Р.А., Курепин В.В. Динамический метод измерения теплоемкости жидкостей при высоких давлениях и температурах// ТВТ.-1973 .-№1.-11.-С.114-115.

118. Зарипова, М.А. Автоматизированный теплофизический комплекс для измерения теплопроводности жидкостей при высоких параметрах состо-

яния/М.М.Сафаров,С.Б.Доброхотов,М.А.Зарипова//Метрология,№8,-М., 1994 , -С.13-19.

119. Сирота, А.М. Теплоемкость и энтальпия водяного пара при докритических давлениях.//Теплоэнергетика.-1958.-№7.-С.10-12.

120. Самойлов, О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратации ионов.-М.:Изд-во АН СССР. 1957.-182с.

121. Зарипова, М.А. Тепло- и температуропроводность магнитных жидкостей при атмосферном давлении/Д.С.Джураев, М.М.Сафаров, М.А. Зарипова, Х.А.Зоиров //Вестник Таджикского технического университета им. академика М.С.Осими. - Душанбе, 2009, 2(6).-С.6-10.

122. Зарипова, М.А. О механизме передачи тепла в водных растворах азрозина/М.М.Сафаров, М.А.Зарипова, М.Т.Тургунбоев//Сборник трудов Кургантюбинского государственного университета им.Н.Хисрав,1997.- С.14-15.

123. Сафаров, М.М. Теплофизические свойства простых эфиров и водных растворов гидразина в зависимости от температуры и давления. / Сафаров Махмадали Махмадиевич//Дисс. на соис.уч. степени д-ра т. н. Душанбе, 1993, 490 с.

124. Зарипова, М.А. Влияние оксида меди на изменение теплопроводности жидкого гидразина /М.М.Сафаров, М.А.Зарипова, А.С.Назруллоев, Н.Б.Давлатов, Х.А.Зоиров, А.Ф.Тошов //Девятой Международной теплофизической школы, Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий, 6-11 октября 2014, Душанбе,-С. 273-277.

125. Зарипова, М.А. Влияние нанометалла (Со) и УНТ на изменение теплопроводности диметилгидразина при различных температурах и давлениях/М.М.Сафаров, М.А. Зарипова, Иман Бахроми Маниш // Материалы 7 - Международной научно-практической конференции “Перспективы развития науки и образования, посвященной 20-летию Конституции Республики Таджикистан и 90 –летию г. Душанбе, 23-24 октября 2014.- С. 154-157.

126. Зарипова, М.А. Теплофизические и термодинамические свойства водных растворов гидразина и фенилгидразина./М.А.Зарипова, Бадалов А.Б., Сафаров М.М. //Монография. Душанбе, 2007.- 129 с.

127. Kraussold, N. //Fereschung Gebiete Yugh.W.–1934.–Vol.5. - № 4. – 186s.

128. Polts, H. Die Wärmeleitfähigkeit von Flüssigkeiten. III. Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Schichtdicke bei organischen Flüssigkeiten // International Journal of Heat and Mass Transfer.–1965. - Bd.8. - № 4.– S.609 –620.

129. Сафаров, М.М. и др. Устройства для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей. Патент Республики Таджикистан, № ТЈ 923, Душанбе, 2017.-5с

130. Мищенко, С.В.,Ткачев А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. М.: “Машиностроение”, 2008.-319с.

131. Зарипова, М.А. Теплопроводность и плотность водных растворов гидразина при высоких параметрах состояния. /М.М.Сафаров, М.А. Зарипова. //Тез. докл. Респ. науч. – техн. конф. по ТСВ., 1992, Баку.-С.48.

132. Зарипова, М.А. Теплоемкость водных растворов фенилгидразина./М.М.Сафаров,М.А.Зарипова.//Тез. науч. прак. конф. 28-30 октября 1993, Душанбе,- С.70.

133. Зарипова, М.А. Взаимосвязь теплопроводности и плотности водных растворов гидразина./М.М.Сафаров, М.А.Зарипова.//Тез. науч. прак. конф. 28-30 октября 1993, Душанбе,- С.74.

134. Зарипова, М.А. Вязкость, плотность водных растворов гидразина и фенилгидразина в зависимости от температуры при атмосферном давлении./М.М.Сафаров,А.В.Картавченко,М.А.Зарипова.//ИФЖ,Т.68,№2,1995, Минск, -С.287-290.

135. 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.

136. Физико-химические свойства индивидуальных водородов. Справочник под. ред. Татевского В.М., М.:-1960.-873с.

137. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов./Н.Б. Варгафтик,Н.П.Филиппов,А.А.Тарзиманов,Е.Е.Тоцкий.//-М.:,Энергоатомиздат.1990.-352с.

138. Краткий Справочник физико-химических величин под редакцией К.П. Мищенко и А.А. Равделя. Ленинград,1972.-200с.

139. М.М.Сафаров. Влияние монокарбида титана на изменение теплоемкости сплавов с эффектами памяти и применение их к солнечным коллекторам./, Ш.У.Умарзода, Матлаби Джабборзода// Вестник филиала МГУ имени М.В.Ломоносова в г. Душанбе,1,3 (3), 2019, -С.40-45.

[140-А]. Мирзоева К. Влияние микроразмерных частиц с эффектами памяти на поведение поверхностного натяжения жидкого толуола./М.М. Сафаров, Матлаби Джабборзода. К.Мирзоева, Ф.А.Сафарова// Материалы конференции 6 международная научно-техническая конференция “Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ, ”27-28 мая 2021. Санкт-Петербург.- С.60-63

[141-А]. Мирзоева, К. Экспериментальные исследования теплопроводности жидких углеводородных смесей при добавке в них наполнителей. /А.Р. Раджабов, К.Мирзоева, М.М.Сафаров, С.С. Джумъев, М.Джабборзода /Вестник филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе. *Серия естественных наук.2019.1,3-(3)- С.46-55*

[142-А]. Мирзоева, К. Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектами памяти “форм” и с разными фракциями на изменение теплопроводности жидкого толуола при различных температурах и давлениях/ К. Мирзоева //Вестник технологического университета Таджикистана 4(47)2021 -С.67-74

[143-А]. Мирзоева, К. Саидзода К.Б.,Сафаров М.М., Гуломов М.М., Сафаров Ш.Р.,Ойматова Х.Х.,Собиров Дж.Ф.,Тиллоева Т.Р.,Мирзоева К., Джумаев С.С., Умарзода Ш.У., Абдуназаров С.С., Хакимов Д.Ш. Способ оп-

ределения теплопроводности твердых тел. Патент Республики Таджикистан № 2101553 аз 03.05.2021, №ТJ 118 от 27 сентября 2021г. 7с.

[144-А]. Мирзоева, К. Сафаров М.М., Зарипова М.А., Тиллоева Т.Р. Влияние температуры, давления, концентрации наночастиц с различными фракциями на изменение плотности некоторых жидких углеводородов // Материалы международной научно-практической конференции “Роль Таджикского государственного педагогического университета имени С.Айни в подготовке педагогических кадров и развитии системы образования”, посвященной 30-летию Государственной независимости Республики Таджикистан и 90-летию ТГПУ имени С.Айни, 24-25 декабря 2021г. - С.113-119.

[145-А]. Мирзоева, К., Матлаби Джабборзода, Сафаров М.М. Плотность наножидкостей на основе толуола. // Сборник статей 2 Международной конференции “Газоразрядная плазма и синтез наноструктур”, Россия, г.Казань, КНИТУ-КАИ, (01-04 декабря 2021г.) - С.332-333

[146-А]. Мирзоева, К., Матлаби Джабборзода, Сафаров М.М. Влияние температуры, концентрации наночастиц с эффектами памяти на изменение плотности жидкого толуола. // Сборник статей 5 Международной научной конференции “Вопросы физической и координационной химии” посвященной памяти докторов химических наук, профессоров Якубова Хаида Мухсиновича и Юсуфова Зухуриддина Нуриддиновича (15-16 ноября 2021г.), Душанбе, С.72-77

[147-А]. Мирзоева, К., Матлаби Джабборзода, Тиллоева Т.Р., Зарипова М.А., Сафаров М.М. Влияние наночастиц с эффектами памяти на поведение поверхностных характеристик ксилола при (293-473) К, 0,101 МПа. // Сборник статей 5 Международной научной конференции “Вопросы физической и координационной химии” посвященной памяти докторов химических наук, профессоров Якубова Хаида Мухсиновича и Юсуфова Зухуриддина Нуриддиновича (15-16 ноября 2021г.), Душанбе, С.48-54

[148-А]. Мирзоева, К., Джабборзода М., Сафаров М.М. Влияние наночастиц с эффектами памяти на изменение коэффициента теплопроводности

толуола при атмосферном давлении.// Материалы республиканской научно-практической конференции “Фундаментальная наука-основа совершенствования технологии и материалов ”посвященной 30-летию Государственной Независимости Республики Таджикистан, Институт химия, НАНТ -3 ноября 2021- С.83-86

[149-А]. Мирзоева, К., Джабборзода М., Сафаров М.М. Влияние наночастиц с эффектами памяти “форм ” на изменение плотности толуола в зависимости от температуры при атмосферном давлении. // Материалы республиканской научно-практической конференции (с международным участием) «Теплоэнергетика и теплофизические свойства веществ», посвященной 30-летию государственной независимости Республики Таджикистан, 65-летию ТТУ имени акад. М.С. Осими и 50-летию МТФШ, 2021,- С.171-173.

[150-А]. Мирзоева, К., Джабборзода М., Сафаров М.М. Изменение теплопроводности толуола с учетом влияния наночастиц с эффектами памяти на линии насыщения. //Материалы республиканской научно-практической конференции (с международным участием) «Теплоэнергетика и теплофизические свойства веществ», посвященной 30-летию государственной независимости Республики Таджикистан, 65-летию ТТУ имени акад. М.С. Осими и 50-летию МТФШ, 2021,-С.160-163.

[151-А]. Мирзоева, К., Джабборзода М., Сафаров М.М. Влияние наночастиц с эффектами памяти “форм” на изменение теплофизических и поверхностных характеристик жидкого толуола. //Материалы республиканской научно-практической конференции (с международным участием) «Теплоэнергетика и теплофизические свойства веществ», посвященной 30-летию государственной независимости Республики Таджикистан, 65-летию ТТУ имени акад. М.С. Осими и 50-летию МТФШ, 2021,-С.163-167.

[152-А]. Мирзоева, К., Сафаров М.М., Зарипова М.А., Раджабова Д.Ш., Умарализода М.У., Матлаби Джабборзода, Раджабова С.М. Влияние нанопорошка с эффектами памяти на поведение динамической вязкости

теплоносителей при различных температурах и атмосферном давлении. //Теоретический и научно-практический журнал Кишоварз.ГАУ имени Ш. Шотемур, 2 (91), 2021.-С.85-88. ISSN 2074-5435.

[153-А]. Мирзоева, К., Сафаров М.М., Матлаби Джабборзода. Влияние наночастиц на поведение плотности жидкого толуола. //Материалы международной научно-практической конференции “Энергетика Таджикистана. Проблемы энергосбережения, энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии” посвященной 30-летию независимости РТ,90-летию МЭИ и 100-летию плана ГОЭЛРО. Филиал МЭИ в г.Душанбе-2021.-С. 191-194 РИНЦ

[154-А]. Мирзоева, К., Сафаров М.М.,Матлаби Джабборзода. Влияние наноразмерного диоксида титана на изменение плотности толуола в зависимости от температуры и давления. //Сборник научных трудов Третий международный Косыгинский форум «Современные задачи инженерных наук» международный научно-технический симпозиум «повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности», посвященный 110-летию А.Н. Плановского (20 октября 2021) (Т.2) М.(20 и 21 октября 2021г.)-С.233-235. РИНЦ. DOI. 10/37816/eeste-2021.-2-233-235

[155-А]. Мирзоева, К., Сафаров М.М., Абдуллоев М.А. Корреляция между теплопроводностью плотности некоторых коллоидных наножидкостей на основе толуола и диоксида титана//К. Мирзоева, М.М. Сафаров, М.А. Абдуллоев /.Сборник 13 МТФШ Душанбе - Тамбов, 2022,-116-119.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1.**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ
(№ТJ 1186)****МПК: G 01 N 25/00**

Изобретение относится к теплофизическим измерениям в области материаловедения для определения теплопроводности твердых тел.

Известен способ определения теплопроводности материалов, заключающийся в создании стационарного потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца. По данным измерений плотности теплового потока, температур противоположных лицевых границ и толщины образца рассчитывают теплопроводность материала [144-А].

Недостатками данного способа являются функциональная ограниченность, заключающаяся в проведении измерений только при стационарном тепловом режиме.

Известно устройство и способ комплексного определения теплофизических характеристик материалов [2], состоящий в том, что образец монотонно разогревается через одну из изотермических поверхностей при периодическом изменении теплового потока на другой поверхности с периодом, большим времени регуляризации температурного поля образца, включающий измерение теплового потока, температур в характерных сечениях образца, скорости изменения температуры и расчет характеристик по известным формулам, одновременно с монотонным нагревом перепад температур на образце последовательно устанавливается равным нулю и 5-50 К, а тепловой поток измеряют на изотермической поверхности, подвергаемой монотонному нагреву [144-А].

Недостатком данного способа и устройства является сложность измерений, требующая необходимость поддержания постоянства температур и скорости разогрева, многостадийность эксперимента, техническая сложность

устройства, к которой можно отнести использование датчика перепада температуры и регулятора.

Наиболее близкими к заявленному изобретению являются способ определения теплопроводности твердых тел. В заявленном способе исследуемый образец приводят в тепловой контакт по плоскости с нагревателем с одной стороны, а с другой стороны приводят в тепловой контакт по плоскости с теплоприемником. При постоянной мощности нагрева, с учетом скорости изменения температуры, перепада температуры на образце определяют теплопроводность твердого тела. Потери тепла учитывают за счет поправочного коэффициента, определяемого по измерениям на эталонных образцах, размеры исследуемого и эталонных образцов одинаковые.

Цель изобретения является упрощение способа и повышение точности определения теплопроводности [144-А].

Поставленная цель достигается тем, что эксперименты по определению теплопроводности твердых тел производятся на установки для автоматизированного определения теплопроводности твердых тел в отношении керамического образца и осуществляется в два этапа.

На первом этапе после подготовки всех элементов устройства от источника электроэнергии через ключ стабилизированного блока питания подают питание в нагревательный блок. Силу тока и напряжение контролируют соответственно по амперметру и вольтметру. При этом нагревается нихромовая спираль, которая в свою очередь нагревает алюминиевую пластину и исследуемый керамический образец. Нижний и верхний термодатчики, преобразовывая тепло в электрические сигналы, передают его двум нановольтамперметрам, которые соответственно направляют их двум компьютерам. При помощи специальных программ компьютеры считывают сигналы и пошагово регистрируют их каждые секунды, начиная с комнатной температуры до 130°C [144-А].

На втором этапе после завершения первого этапа выключают установку и прекращают подачу питания. Исследуемому образцу дают охладиться до

первоначальной температуры, а именно комнатной. При этом ход охлаждения образца аналогично его нагреву по первому этапу пошагово регистрируют каждые секунды при помощи компьютеров.

По завершению обоих этапов полученные данные с компьютеров обрабатываются и оформляются в виде таблиц и диаграмм (Фиг. 1, 2).

Используя модель теплового баланса теплоемкость твердых тел определяют по формуле [144-А]

$$C_p = k_1 Q/m (T_2 - T_1), \text{ (Дж/кг·К)} \quad (\text{п.1})$$

где

C_p – удельная теплоемкость (Дж/кг·К), k_1 – коэффициент, величина которого определяется на основе проведения контрольных измерений, Q – количество тепла (Дж), m – масса образца, (кг); T_1 – абсолютная температура спая нижней термопары (К), T_2 – абсолютная температура спая верхней термопары (К).

Используя расчет теплоемкости по формуле (п.1) теплопроводность твердых тел определяют по формуле [144-А]:

$$\lambda = k_2 C_p \rho \quad (\text{п.2}),$$

$$k_2 = \frac{\lambda}{C_p \rho}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (\text{п.3})$$

где

λ – теплопроводность (Вт/мк), k_2 – коэффициент величина которого определяется на основе проведения контрольных измерений, C_p – удельная теплоемкость (Дж/кг·К), ρ – плотность меди (кг/м³).

Количество тепла, которое расходуется при нагревании образца равна мощности нагревателя и определяется по формуле [144-А]

$$P = Q = I^2 R t, \text{ Вт} \quad (\text{п.4}),$$

где

P – мощность нагревателя (Вт), I - сила тока (А); R – сопротивление (Ом); t - время нагрева, (с).

формуле [144-А]

$$m = \frac{\ln\theta_1 - \ln\theta_2}{\tau_2 - \tau_1}, 1/c \quad (\text{п.5})$$

где

m - темп охлаждения (1/с); θ_1 – температура при τ_1 ; θ_2 – температура при τ_2 ; τ_1 – время охлаждения при θ_2 (с); τ_2 - время охлаждения θ_1 (с).

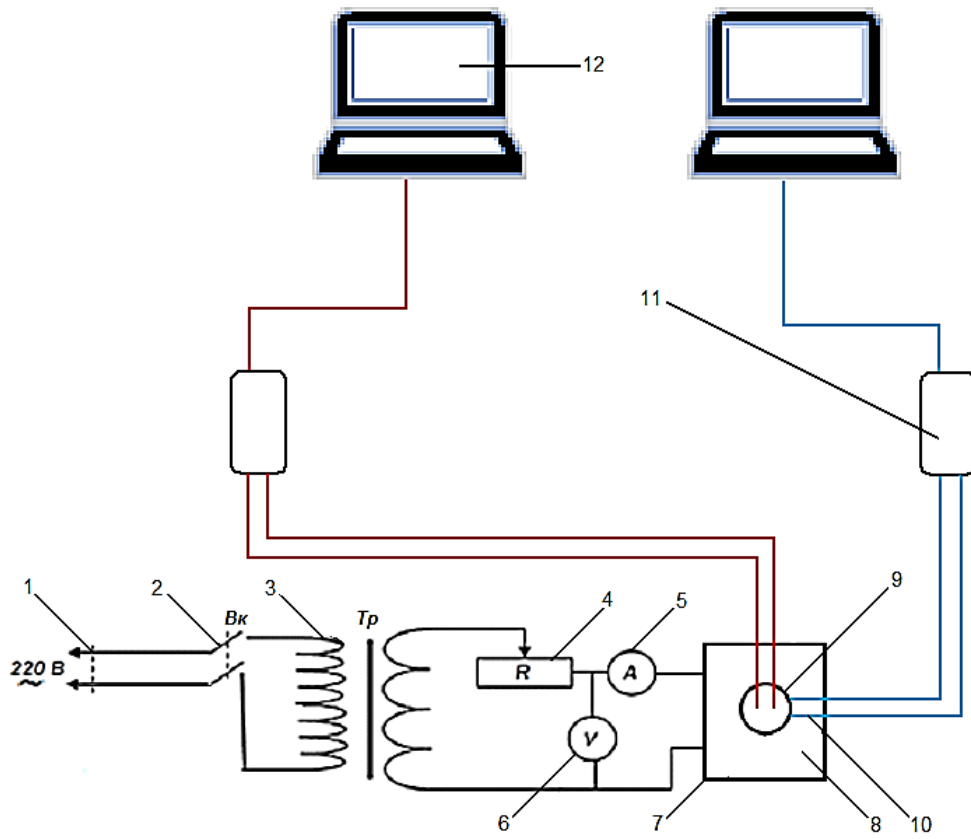
Значение m рассчитывается по диаграмме рисунки, данные для которого получают по результатам эксперимента.

Таким образом, предложенное техническое решение позволяет повысить точность определения теплопроводности твердых тел исследуемым объектам.

Источник информации

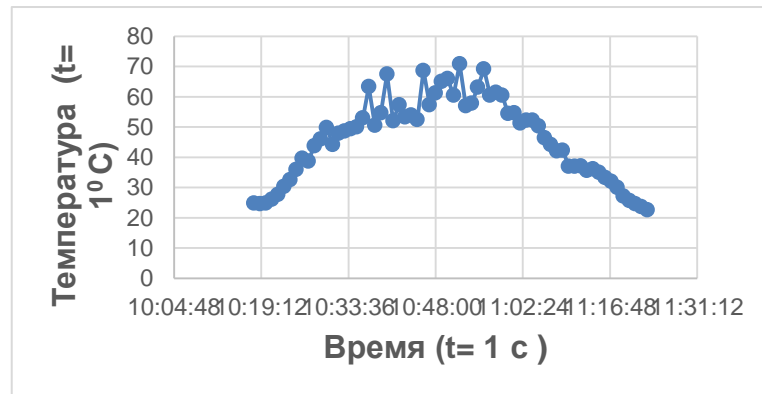
1. ГОСТ 7076-99. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. Введ. 01.04.2000. - М., 2000 - 12 с.
2. Авторское свидетельство СССР №949447 А1, МПК G01N 25/18, опубл. 07.08.1982.
3. Кырылов Е.Н. Способ определения теплопроводности твердых тел. Патент РФ № 2625599

УСТАНОВКА И СПОСОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

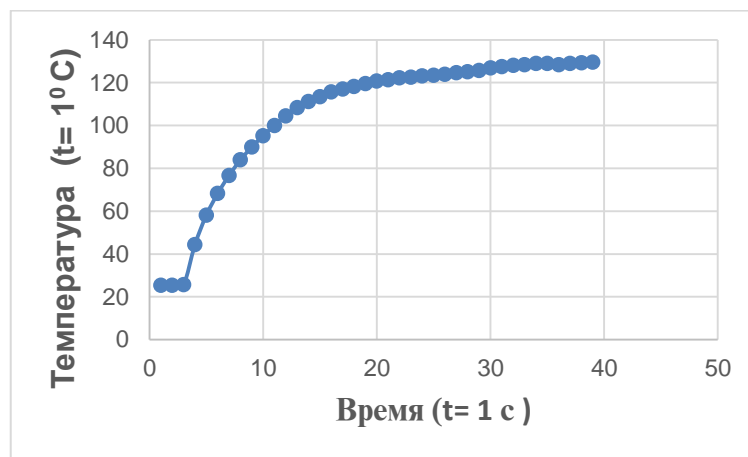


Фиг. П.1

УСТАНОВКА И СПОСОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

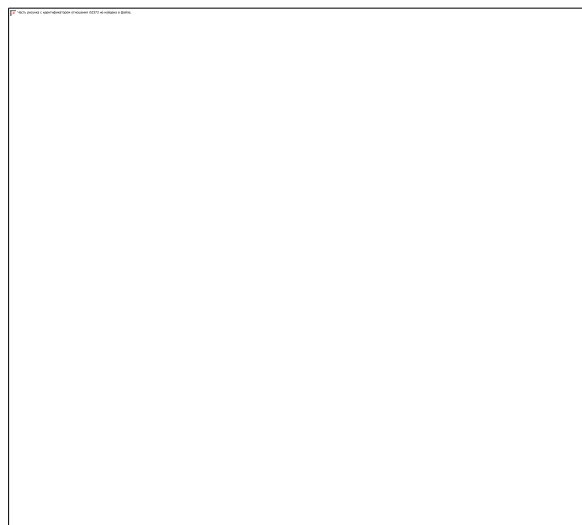


Фиг. п.2



Фиг.п. 3

УСТАНОВКА И СПОСОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ТЕЛ



Фиг.п. 4

Приложение П.2.

Согласно уравнению (2.1) доверительная граница погрешности результатов измерений теплопроводности определяется как

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial C^1}\right)^2 (\Delta C^1)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial \gamma}\right)^2 (\Delta \gamma^2)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial m}\right)^2 (\Delta m)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial C}\right)^2 (\Delta C)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial C_m}\right)^2 (\Delta C_m)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial R_1}\right)^2 (\Delta R_1)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial R_2}\right)^2 (\Delta R_2)^2}, \quad (\text{п.2.1})$$

$$\text{где } \frac{\partial\lambda}{\partial C_1} = \frac{\gamma m R_1^2 \ln(R_2 / R_1)}{2} \left[1 + \frac{CK_{II}^2}{Cm(1 + K_{II} + K_{II}^2)} \right] = 0,29 \cdot 10^{-4};$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial \gamma} = \frac{C^1 m R_1^2 \ln(R_2 / R_1)}{2} \left[1 + \frac{CK_{II}}{C_m(1 + K_{II} + K_{II}^2)} \right] = 0,13 \cdot 10^{-6};$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial m} = \frac{C^1 \gamma R_1^2 \ln(R_2 / R_1)}{2} \left[1 + \frac{CK_{II}}{(1 + K_{II} + K_{II}^2)} \right] = 7,64;$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial C} = \frac{C^1 K_{II}^2 \gamma m R_1^2 \ln(R_2 / R_1)}{2(1 + K_{II} + K_{II}^2)C_m} = 80,6 \cdot 10^{-6};$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial C_m} = \frac{m C C^1 K_{II}^2 \gamma R_1^2 \ln(R_2 / R_1)}{2C_m^2(1 + K_{II} + K_{II}^2)} \left[(1 + K_{II} + K_{II}^2)C_m + CK_{II} \right] = -27,4 \cdot 10^{-6};$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial R_1} = \frac{C^1 m \gamma / 2 R_1 \ln(R_2 / R_1) - 1/}{2(1 + K_{II} + K_{II}^2)C_M} \left[(1 + K_{II} + K_{II}^2)C_M + CK_{II} \right] = -1873;$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial R_2} = \frac{C \gamma m R_1^2 (1/R_2)}{2(1 + K_{II} + K_{II}^2)C_M} \left[(1 + K_{II} + K_{II}^2)C_M + CK_{II} \right] = 20,13.$$

Методическая погрешность измерения температуры рассчитывалась согласно [111]. Нами также учтена инструментальная погрешность при измерении ЭДС термопары потенциометром. Приведем пример расчета методической и инструментальной погрешностей.

Методическая погрешность $\Delta_t(x)$ состоит из двух слагаемых:

$$\Delta_t(x) = t_3(x) - t_0(x) = \Delta_L(x) + \Delta_B(x), \quad (\text{п.2.2})$$

где $t_0(x)$, $t_3(x)$ – действительная и измеренная температуры тела на расстоянии x . Из уравнения (п.2.2) первое слагаемое $\Delta_L(x)$ зависит от глубины погружения термопары L и разности между температурами t_{II} и t_B

поверхности тела и среды, а второе – определяется градиентом температур в исследуемом теле. Для нашего бикалориметра можно считать $\Delta_B(x) = 0$.

Для приближенной оценки первой составляющей используем следующее уравнение:

$$\Delta_L(x) = -\frac{t_{II} - t_B}{1 + F} \cdot \frac{\theta ch \theta (1 - \beta) + \xi Sh \theta (1 - \rho)}{\theta ch \theta + \xi_3 Sh \theta} \quad (\text{п.2.3})$$

Здесь

$$\theta = \beta L; \beta = \sqrt{\frac{K}{\varepsilon^S}}; K \approx \left(\frac{1}{\alpha_0} + \frac{h_3}{\lambda_3} + \frac{R}{4\lambda_{\text{эп}}} \right)^{-1}; \xi_3 = \frac{K_3 L}{\lambda_3}; \rho = \frac{\theta}{L}; \alpha = \frac{\lambda_0}{R};$$

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

где $\lambda_0, \lambda_3, \lambda_{\text{эп}}, \lambda_3$ – соответственно теплопроводность материала калориметра, материала термопары в продольном и поперечном направлениях, зазора (воздух); L_B – выступающая часть термопары, находящаяся в лучисто-конвективном теплообмене с окружающей средой; h_3 – эффективная толщина зазора между спаем термопары и стенкой цилиндрического канала; R, P, S – радиус, периметр и площадь поперечного сечения спая термопары.

Численные значения этих величин следующие:

$$h = 0,11 \text{ м}; R = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}; L_B = 0,1 \text{ м}; h_3 = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \lambda_3 = 356 \text{ Вт/(м·К)};$$

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

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

Подставляя эти данные в уравнения (2.28) и (2.29), получим

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

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

Определим относительную погрешность измерения температур при 400°C :

$$\delta = \frac{\Delta_t(x)}{t} \cdot 100 \% = 1,2 \% .$$

При измерении ЭДС термопары потенциометром инструментальная погрешность, т.е. предел допускаемой основной погрешности, определяется из выражения

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

где U – показания потенциометра. Для использованного нами потенциометра $\sigma_{Ucp} = \pm 0,01\%$.

Предел допускаемой основной погрешности измерения напряжения автокомпенсатором потенциометра составляет $\sigma_{AK} = 1\%$. Таким образом, суммарный предел допускаемой основной погрешности потенциометра (σ_U):

$$\sigma_u = \sigma_{Ucp} + \sigma_{AK} = 0,01\% + 1,0\% = 1,01\%.$$

Необходимая информация для количественной оценки погрешности теплопроводности по методу цилиндрического бикалориметра регулярного теплового режима содержится в табл. 2.1.

Приложение П.3.

Таблица 3.1- Исходные данные для количественной оценки доверительной границы погрешности измерения теплопроводности

№ n/n	Наименование	Величина
1	Диаметр ядра бикалориметра d , м	$1,72 \cdot 10^{-2}$
2	Погрешность определения радиуса ядра (микрометром) Δd , м	$5 \cdot 10^{-5}$
3	Внутренний диаметр бикалориметра d_2 , м	$1,81 \cdot 10^{-2}$
4	Погрешность определения диаметра бикалориметра Δd_2 , м (нутромер индикаторный НИ-50А)	$5 \cdot 10^{-5}$
5	Длина ядра бикалориметра L , м	$17 \cdot 10^{-2}$
6	Погрешность определения длины ядра Δl , м	$1 \cdot 10^{-3}$
7	Удельная теплоемкость материала измерительного цилиндра $C_{я}^1$, Дж/(кг·К)	391
8	Погрешность определения удельной теплоемкости измерительного цилиндра $\Delta C_{я}^1$, Дж/(кг·К)	4,5
9	Общая теплоемкость ядра (измерительного цилиндра) $C_{я}$, Дж/К	172,0
10	Погрешность определения общей теплоемкости (измерительного цилиндра) $\Delta C_{я}$, Дж/К	4,2
11	Общая теплоемкость исследуемого слоя $C_{сл}$, Дж/К	0,34
12	Погрешность определения теплоемкости исследуемого слоя $\Delta C_{сл}$, Дж/К	0,03
13	Время регулярного охлаждения τ , с	35
14	Погрешность определения времени охлаждения $\Delta \tau$, с	0,2
15	Масса ядра G , кг	0,44
16	Погрешность измерения массы ядра $\Delta G_{я}$, кг	$1 \cdot 10^{-4}$
17	Масса слоя G , кг	0,004

18	Погрешность определения массы слоя ΔG , кг	$1 \cdot 10^{-4}$
19	Коэффициент $K_{ц}$	0,974
20	Погрешность определения коэффициента $\Delta K_{ц}$	0,03
21	Критерий Ж	15,2
22	Погрешность определения критерия $\Delta Ж$	0,05
23	Плотность материала измерительного цилиндра ρ , кг/м ³	8590
24	Погрешность определения плотности материала измерительного цилиндра $\Delta \rho$, кг/м ³	25
25	Темп регулярного охлаждения m , 1/с	$14,710^{-3}$
26	Погрешность определения темпа регулярного охлаждения Δm , 1/с	$0,6 \cdot 10^{-3}$
27	Давление опыта P , МПа (грузопоршневой манометр типа МП-2500)	49,05
28	Погрешность измерения давления ΔP , МПа	0,005
29	Значение теплопроводности толуола λ , Вт/(м · К)	0,132
30	Доверительная граница погрешности измерений в относительной форме при $\alpha = 0,95$, %	1,2
31	Методическая погрешность, %	1,2
32	Инструментальная погрешность, %	1,8
33	Общая относительная погрешность измерений, %	4,2

Приложение П.4.

Таблица П.4.1.-Плотность (ρ , кг/м³) системы жидкого толуола и наноразмерных частиц диоксид титана (TiO_2 , ($\phi=50$ нм)), с эффектом “памяти форм” в зависимости от температуры при атмосферном давлении (0,101) МПа.

Образец	№1 [136]	№2	№3	№4	№5	№6
T, К						
293,2	867,5	873,6	875,8	878,6	881,6	884,5

303,6	858,2	867,3	869,5	872,7	874,5	877,6
313,2	848,3	856,9	857,5	860,6	863,6	865,5
323,0	838,8	844,3	848,3	851,5	854,3	857,8
333,6	829,3	836,4	839,6	841,4	845,5	849,7
343,7	819,7	825,0	828,3	831,5	834,3	837,6
353,4	809,9	812,8	818,0	821,3	824,4	827,8
363,5	800,0	804,5	809,3	812,3	814,5	817,9
373,4	790,0	793,4	797,2	800,3	803,4	806,5
383,7	779,8	783,3	786,7	789,5	792,6	796,8
393,0	-	773,2	777,6	780,3	783,5	785,5
403,8	-	763,4	767,7	771,4	774,6	777,8
413,5	-	753,3	756,1	760,3	763,8	768,3
423,4		743,5	747,3	750,4	753,5	756,6
433,2		733,6	737,6	740,5	743,0	746,5

Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5%TiO₂).

Таблица П.4.2.-Влияние концентрации наночастиц размеров ($\phi=50\text{нм}$) на изменение плотности жидкого толуола (химически чистый) при атмосферном давлении и $T_i = \text{Const}$.

Образец №1- химически чистый толуол			
$T_i = \text{const}, \text{K}$	(293)K	от (0-0,5%) TiO ₂ (нм)	Примечание
$\sigma, \%$	1,96%		Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана
$T_i = \text{const}, \text{K}$	(383)K	от (0-0,5%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	2,18%		Относительно к значениям плотности чистого

			<i>го толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const}, K$	(433)K	от (0,1-0,5%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	2,40%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №2- химически чистый толуол+0,1% TiO_2			
$T_i = \text{const}, K$	(293)K	от (0-0,1%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0,70%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const}, K$	(383)K	от (0-0,1%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0.45%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const}, K$	(433)K	от (0-0,1%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	1,89%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №3- химически чистый толуол+0,2% TiO_2			
$T_i = \text{const}, K$	(293)K	от (0-0,2%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0.97%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const}, K$	(383)K	от (0-0,2%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0,91%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>

			<i>го толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const, K}$	(433)K	от (0-0,2%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	2,44%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №4- химически чистый толуол+0,3% TiO_2			
$T_i = \text{const, K}$	(293)K	от (0-0,3%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	0,96%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const, K}$	(383)K	от (0-0,3%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	1,22%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const, K}$	(433)K	от (0-0,3%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	2,85%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №5- химический чистый толуол+0,4% TiO_2			
$T_i = \text{const, K}$	(293)K	от (0-0,4%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	1,66%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const, K}$	(383)K	от (0-0,4%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	1,68%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>

$T_i = \text{const}, K$	(433)K	от (0-0,4%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	3,18%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №6 - химически чистый толуол+0,5% TiO_2			
$T_i = \text{const}, K$	(293)K	от (0-0,5%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	1,94%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const}, K$	(383)K	от (0-0,5%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	2,18%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const}, K$	433)K	от (0-0,5%) TiO_2 (нм)	
$\sigma, \%$	3,68%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>

Таблица П.4.3.-Плотность ($\rho, \text{кг/м}^3$) системы жидкого толуола и наноразмерных частиц диоксид титана ($TiO_2, (\phi=30\text{нм})$), с эффектом “памяти форм” в зависимости от температуры при атмосферном давлении (0,101) МПа.

Образец T, K	№1 [136]	№2	№3	№4	№5	№6
293,2	867,5	870,6	872,8	875,3	878,3	881,5
303,6	858,2	861,5	864,4	867,6	870,3	873,6
313,2	848,3	851,4	854,5	857,4	860,4	862,5
323,0	838,8	841,2	844,3	847,5	850,3	853,8

333,6	829,3	832,1	835,2	838,3	841,5	844,7
343,7	819,7	821,0	824,3	827,5	830,3	833,6
353,4	809,9	811,8	814,0	817,3	820,4	823,8
363,5	800,0	801,5	804,3	807,3	810,5	813,9
373,4	790,0	790,4	793,2	796,3	799,4	802,5
383,7	779,8	780,3	782,8	785,4	788,6	791,8
393,0	-	770,0	773,6	776,2	779,5	781,7
403,8	-	760,2	763,4	767,1	770,6	773,0
413,5	-	750,3	753,1	756,3	759,4	762,3
423,4	-	740,3	743,3	746,4	749,5	752,6
433,2	-	730,4	733,6	736,6	739,0	742,5

Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%.TiO₂); №3-(толуол х.ч.+0,2%.TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3% TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%.TiO₂); №6-(толуол х.ч.+0,5% TiO₂).

Таблица П.4.4.-Влияние концентрации наночастиц размеров ($\phi=50$ нм) на изменение плотности жидкого толуола (химически чистый) при атмосферном давлении и $T_i = \text{Const}$.

Образец №1 - химически чистый толуол			
$T_i = \text{const}, \text{K}$	(293)K	от (0-0,5%) TiO ₂ (нм)	<i>Примечание</i>
$\sigma, \%$	1,62%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const}, \text{K}$	(383)K	от (0-0,5%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	1,55%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i = \text{const}, \text{K}$	(433)K	от (0,1-0,5%) TiO ₂ (нм)	

$\sigma, \%$	3,12%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №2- химически чистый толуол+0,1%TiO ₂			
T _i = const,К	(293)К	от (0-0,1%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	0,36%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
T _i = const,К	(383)К	от (0-0,1%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	0.07%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
T _i = const,К	(433)К	от (0-0,1%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	1,44%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №3- химически чистый толуол+0,2%TiO ₂			
T _i = const,К	(293)К	от (0-0,2%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	0.61%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
T _i = const,К	(383)К	от (0-0,2%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	0,39%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
T _i = const,К	(433)К	от (0-0,2%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	0,19%		<i>Относительно к значениям</i>

			<i>плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №4- химически чистый толуол+0,3%TiO ₂			
T _i = const,К	(293)К	от (0-0,3%) TiO ₂ (нм)	
σ,%	0,91%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
T _i = const,К	(383)К	от (0-0,3%) TiO ₂ (нм)	
σ,%	0,73%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
T _i = const,К	(433)К	от (0-0,3%) TiO ₂ (нм)	
σ,%	1,05%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №5- химически чистый толуол+0,4%TiO ₂			
T _i = const,К	(293)К	от (0-0,4%) TiO ₂ (нм)	
σ,%	1,24%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
T _i = const,К	(383)К	от (0-0,4%) TiO ₂ (нм)	
σ,%	1,13%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
T _i = const,К	(433)К	от (0-0,4%) TiO ₂ (нм)	
σ,%	2,64%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
Образец №6- химически чистый толуол+0,5%TiO ₂			

$T_i =$ const, К	(293)К	от (0-0,5%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	1,62%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i =$ const, К	(383)К	от (0-0,5%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	1,58%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>
$T_i =$ const, К	433)К	от (0-0,5%) TiO ₂ (нм)	
$\sigma, \%$	3,13%		<i>Относительно к значениям плотности чистого толуола при 0% наночастиц титана</i>

Приложение П.5.

Таблица П.5.1. Эффективный коэффициент теплопроводности (λ , Вт/(м.К)) чистого жидкого толуола и внедренных в нем наночастиц с эффектами памяти “форм” фракциями (70нм) на линии насыщения

Образец №1		Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5	Образец №6
T, К	** $\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10^3$
180	159	160,2*	161,8*	162,5*	164,5*	167,8*
200	157	158,3*	159,4*	161,4*	162,8*	164,4*
220	153	154,5*	157,2*	159,2*	160,3*	162,0
240	147	148,5*	152,0*	154,7*	157,0*	160,0*
260	142	143,5*	147,5*	150,4*	154,3*	158,3*
280	137	142,2*	144,6*	146,8*	149,8*	152,0*
300	132	141	143	144	147	149
320	127	136	138	140	142	144
340	122	131	133	135	137	139
360	117	126	128	130	132	134
370	115	124	126	128	130	132

380	112	121	123	125	127	130
390	110	119	121	123	125	127
400	108	117	119	121	123	125
410	105	113	115	117	120	122
420	103	111	113	115	119	120
430	101	110	112	114	116	118
440	99	108	110	112	114	116
450	97	106	108	110	112	114
460	94	103	105	107	109	111
470	92	101	104	105	107	109
480	90	99	101	103	105	107
490	88	97	99	101	103	106
500	85	94	96	98	101	102
510	83	92	94	96	98	100
520	81	90	92	94	96	98
540	78	87	89	91	93	95
550	76	85	87	89	91	94

Объекты исследования: №1-(толуол х.ч.); №2-(толуол х.ч.+0,1%TiO₂); №3-(толуол х. ч. + 0,2%TiO₂); №4-(толуол х.ч.+0,3%TiO₂); №5-(толуол х.ч.+0,4%TiO₂); №6-(толуол х.ч.+ 0,5 %TiO₂), (** - данные авторов работы [8]), (*- численный расчет по урав.3).

Приложение П.6.

Акты

«Утверждаю»
 Директор ГНУ «Научно-исследовательский институт промышленности»
 к.т.н. М. Баротов М. Баротов
 « » 2022 г.

АКТ

научно-технической комиссии о реализации и внедрении научных положений и выводов кандидатской диссертации Мирзоевой Кутос на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» на тему: **«Влияние наночастиц с эффектами памяти “форм” различной фракции на изменение теплопроводности и плотности толуола при фазового перехода»**. Комиссия в составе: д.х.н, доцента Раджабова С.И.-председатель, членов комиссии: с.н.с. Каюмова А.И., с.н.с. Таваровой Д. свидетельствуют о том, что по результатам исследования теплопроводности, температуропроводности и плотности были получены следующие научные результаты, указанные в кандидатской диссертации Мирзоевой Кутос:

- совершенствование экспериментальной установки для измерения теплопроводности, теплоемкости растворов при различных значениях параметров состояния;

- на основе экспериментальных данных по плотности и теплопроводности исследуемых наножидкостей при атмосферном давлении и различных температурах (т. е. на линии насыщения) составлено эмпирическое уравнение и уравнение состояния. Впервые для настоящего класса наножидкостей использованы уравнение типа Тейта, уравнение Мамедова и Ахундова и численно получены коэффициенты этих уравнений состояния;

- созданная аппаратура для измерения плотности, теплопроводности (метод нагретой нити, диламометрический) растворов жидкого диэтилового эфира как в чистом виде, так с внедренными в него наночастицами с эффектами памяти, используется в Таджикском государственном педагогическом университете им. Садриддина Айни, в Таджикском техническом университете им. академика М. С. Осими для специальности «Теплоэнергетика», а также в ГНУ «Научно-исследовательский институт промышленности» и др;

- составлены подробные таблицы ТФС и технически важных веществ (растворов жидкого х.ч. диэтилового эфира) в широком интервале температур ((293–433)К) и давлений ((0,101–14,42)МПа), которые могут быть

использованы проектными организациями в различных химических процессах в теплоэнергетике и машиностроении;

- на основе экспериментальных данных по плотности и теплопроводности исследуемых наножидкостей при атмосферном давлении и различных температурах (т. е. на линии насыщения) составлено эмпирическое уравнение и уравнение состояния. Впервые для настоящего класса наножидкостей использованы уравнение типа Тейта, уравнение Мамедова и Ахундова и численно получены коэффициенты этих уравнений состояния;

- использованы экспериментальные установки для измерения теплопроводности исследуемых наножидкостей системы (толуола жидкость и газообразных + наноразмерных диоксида титана);

- получены экспериментальные данные по коэффициент эффективного теплопроводности и плотности исследуемых растворов (до 0,5% наноразмерный диоксид титана различной фракции (30нм, 50нм и 70нм)) в интервале температур (293-433) К и давлений (0,101-14,42) МПа;

- получены аппроксимационные зависимости, описывающие $\lambda-P-T-m$ с помощью (уравнение состояния типа Тейта) и статическая обработка экспериментальных данных;


- установлена зависимость коэффициента эффективной теплопроводности и плотности коллоидных растворов системы толуола и наночастиц с эффектами памяти “форм” в широком интервале параметров состояния $T=(293-433)K$, $P = (0,101-14,42) MPa$, включая жидких и газообразных фаз теплоносителей.

Председатель комиссии:

 Раджабов С.И.

Члены комиссии:

 Каюмов А.И.

 Таварова Д.

Заверяю:

Старший инспектор ОК

 Шакирова Н.А.



«Утверждаю»

Ректор Таджикского государственного педагогического университета имени

Садриддина Айни

Профессор Ибодуллозода А.И.



« _____ » 2022г.

АКТ

научно-технической комиссии о реализации и внедрении научных положений и выводов кандидатской диссертации Мирзоевой Кутос на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» на тему: «ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ С ЭФФЕКТАМИ ПАМЯТИ “ФОРМ” РАЗЛИЧНОЙ ФРАКЦИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ТОЛУОЛА ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ».

Комиссия в составе: проректора по научной работе ТГПУ имени Садриддина Айни, профессора Сангинова Д.- председатель, членов: зав. кафедрой общей физики ТГПУ имени Садриддина Айни, доцента Сияхакова С.М., кандидата физико-математических наук, доцента кафедры общей физики Ньёматова А., зав. кафедрой теоретической физики ТГПУ имени Садриддина Айни, доцента Туйчиева Х.Ш., кандидата технических наук, доцента кафедры общей физики ТГПУ имени Садриддина Айни Мирзомамадова А.Г. - свидетельствует о том, что по результатам исследования теплопроводность, температуропроводность и плотность, углеводородных жидкостей были получены следующие научные результаты, указанные в кандидатской диссертации Мирзоевой Кутос:

- Составлены подробные таблицы ТФС и технически важных веществ (растворов жидкого х. ч. диэтилового эфира) в широком интервале температур ((293 – 433) К) и давлений ((0,101 – 14,42) МПа), которые могут быть использованы проектными организациями в различных химических процессах в теплоэнергетике и машиностроении.

- На основе экспериментальных данных по плотности и теплопроводности исследуемых наножидкостей при атмосферном давлении и различных температурах (т. е. на линии насыщения) составлено эмпирическое уравнение и уравнение состояния. Впервые для настоящего класса наножидкостей использованы уравнение типа Тейта, уравнение Мамедова и Ахундова и численно получены коэффициенты этих уравнений состояния.

- Использована экспериментальная установка для измерения теплопроводности исследуемых наножидкостей системы (толуола жидкость и газообразных + наноразмерных диоксида титана).

- Получены экспериментальные данные по коэффициенту эффективной теплопроводности и плотности исследуемых растворов (до 0,5% наноразмерный диоксид титана различной

фракции (30нм, 50нм и 70нм)) в интервале температур (293-433) К и давлений (0,101-14,42) МПа.

- Получены аппроксимационные зависимости, описывающие $\lambda-P-T-m$. С помощью (уравнение состояния типа Тейта) и статическая обработка экспериментальных данных.

- Установлена зависимость коэффициент эффективной теплопроводности и плотности коллоидных растворов системы толуола и наночастиц с эффектами памяти "форм" в широком интервале параметров состояния $T = (293-433)K$, $P = (0,101-14,42)$ МПа, включая жидких и газообразных фаз теплоносителя.

- Усовершенствована экспериментальная установка для измерения теплопроводности, теплоемкости растворов при различных значениях параметров состояния.

- На основе экспериментальных данных по плотности и теплопроводности исследуемых наножидкостей при атмосферном давлении и различных температурах (т. е. на линии насыщения) составлено эмпирические уравнение и уравнение состояния. Впервые для настоящего класса наножидкостей использованы уравнения типа Тейта, уравнение Мамедова и Ахундова и численно получены коэффициенты этих уравнений состояния.

Председатель комиссии:

Проректор по науке ТГПУ

имени Садриддина Айни, профессор

Сангинов Д.

Члены комиссии:

Зав. кафедрой общей физики ТГПУ

имени Садриддина Айни, доцент

Сияхаков С.М.

Доцент кафедры общей физики ТГПУ

имени Садриддина Айни

Неъматов А.

Зав. кафедрой теоретической физики

ТГПУ имени Садриддина Айни, доцент

Туйчиев Х.Ш.

Доцент кафедры общей физики

ТГПУ имени Садриддина Айни

Мирзомамадов А.Г.

Подписи проректора по науке, Сангинова Д., профессора ТГПУ имени Садриддина Айни, доцентов: Сияхакова С.М., Неъматова А., Туйчиева Х.Ш., Мирзомамадова А.Г., заверяю:



Начальник УК и СД
ТГПУ им. Садриддина Айни

А. Мустафозода