

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ, ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ И
ЭКОЛИГИИ НАНТ**

На правах рукописи

УДК 536.12.24:33



ДЖУМАЕВ Саиджахфар Сафаралиевич

**ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ИЗМЕНЕНИЕ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕПЛОЕМКОСТИ ХЛАДАГЕНТОВ ПРИ
РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ, ВКЛЮЧАЯ
КРИТИЧЕСКУЮ ОБЛАСТЬ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук по
специальности - 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника

Душанбе –2023

Работа выполнена в Институте водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ

Научный руководитель: **Сафаров Махмадали Махмадиевич** - Заслуженный деятель науки и техники Таджикистана, академик Международной инженерной академии (МИА), академик Инженерной академии (ИА) Республики Таджикистан, доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Баранов Игорь Владимирович** – доктор технических наук, профессор, директор мегафакультета биотехнологий низкотемпературных систем университета ИТМО (г. Санкт-Петербург)

Тургунбаев Мусажон Турсуналиевич – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой физики БГУ им. Носири Хусрава (г. Бохтар)

Ведущая организация: **Технологический университет Таджикистана**, кафедра физики, телекоммуникации и технических дисциплин

Защита диссертации состоится «27» марта 2023г. в «14⁰⁰» часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-041 при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими, по адресу: 734042, г. Душанбе, проспект акад. Раджабовых 10а, e-mail: [d.s6d.koa.041 @ yandex.ru](mailto:d.s6d.koa.041@yandex.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими и на официальном сайте университета <http://ttu.tj/>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2023 года.

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



Тагоев С.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проведение исследований в области теплофизических свойств (теплопроводность, удельная изобарная теплоемкость) веществ носит многолетний характер. С целью развития техники, технологии и оптимизации соответственных процессов, протекающих в них, необходимо обладать обоснованными научными положениями, достоверной информацией, пригодной для инженерно-конструкторских расчетов, а подобная информация в свою очередь нуждается в сведениях о теплофизических свойствах рабочего вещества, охватывающих значительный диапазон изменения параметров состояния. Исходя из этого следует, что дальнейшее развитие исследовательских работ в изучении теплопроводности и теплоемкости рабочих веществ закладывает основу для совершенствования соответственных процессов и позволяет обеспечить надежность конструктивных разработок. К наиболее значимым свойствам теплофизических характеристик веществ, входят: теплопроводность и теплоёмкость веществ. Растворы, включая растворы хладагентов либо жидких, либо гао-образных во всем своем многообразии, представляют собой достаточно распространенные рабочие тела во многих отраслях современной техники в качестве теплоносителей и химических реагентов. Главным источником теплофизических (теплопроводность и теплоемкость) характеристик хладагентов (изобутана), и в чистом виде, и с различным содержанием наночастиц, на сегодняшний день считаются экспериментальные данные. Экспериментально полученная информация носит практический и прикладной характер не только для производства, но и для науки при совершенствовании и разработке новых расчетно-теоретических способов изучения теплофизических характеристик. Значения теплоемкости и теплопроводности чистого изобутана и его смесей, т.е. с добавлением разной концентрации наночастиц, обеспечивают надежное развитие и создание передовых технологий, а также и современной теории двухфазных систем; способствует установлению механизма межмолекулярного взаимовлияния в чистых жидких веществах и с добавкой в них наночастиц других материалов, которые позволяют дать разумное объяснение множеству физико-химических и термических явлений, зависящих от молекулярного переноса. Как известно, инженерные расчеты нуждаются в достоверных сведениях по теплоемкости и теплопроводности рабочих тел, в нашем случае изобутана в жидкой и газовом состояниях, от которых в свою очередь зависит степень точности результатов расчетов аппаратов, узлов и систем создания модернизированных технологических процессов и устройств химического производства и летательных аппаратов.

Диссертационная работа: выполнена по плану координации научно – исследовательских работ в области естественных и общественных наук НАНТ на 2015-2022 годы по теме «Теплофизические свойства веществ» по проблеме 1.9.7– «Теплофизика».

Объект исследования: изобутан в газовом и жидком состояниях, одно- и многостенные углеродные нанотрубки.

Цель диссертационной работы: на основе комплекса экспериментальных исследований получение данных по теплопроводности и теплоемкости системы изобутан (жидкий и газообразный) + одно- и многостенные углеродные нанотрубки (до 2,5 %) в интервале температур (280-630)К и давлений (0,101-49,01) МПа.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Создание более совершенного варианта экспериментальной установки для непосредственного исследования теплопроводности, теплоемкости растворов при различных значениях параметров состояния.

2. Получение на основе экспериментальных исследований данных по теплопроводности и теплоемкости растворов изобутана с одностенными и многостенными углеродными нанотрубками в пределах изменения температуры (280-630)К и давления (0,101-49,01)МПа.

3. Установление зависимости теплопроводности и изобарной теплоемкости исследуемого чистого изобутана и его смесей с нанотрубками от температуры, давления, массовой концентрации одностенных и многостенных углеродных нанотрубок (до 2,5 %).

4. Получение эмпирических выражений, которые устанавливают связь между изменением температуры, давления, структурными особенностями образцов с их теплопроводностью и теплоемкостью.

5. Изучение переноса теплоты в рассматриваемых веществах (изобутан и одно-, многостенные углеродные нанотрубки) и связанных с ними процессов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Проведены опытные исследования по теплопроводности (λ), теплоемкости (C_p) образцов системы изобутан с добавкой одно- и многостенных углеродных нанотрубок (до 2,5%) в интервале изменения температуры (280-630)К и давлений (0,101-49,01)МПа.

2. Получены эмпирические и корреляционные зависимости $\lambda = f(C_p)$, P - λ - T .

3. По итогам опытных исследований и с помощью аппроксимационных зависимостей были реализованы тепловые расчеты парогенераторов и холодильных установок.

На защиту выносятся:

1. Результаты, полученные по итогам опытов по теплопроводности, теплоемкости растворов (изобутан и одно-, многостенные углеродные нанотрубки) при изменении диапазона исследуемых температур (280-630)К и давлений (0,101-49,01)МПа, способствующие описанию математической модели.

2. Параметризация результатов расчета теплопроводности образцов (модель Максвелла и Дульнева), а также анализ процесса переноса тепла в них.

3. Аппроксимационные зависимости, служащие для расчета теплопроводности и теплоемкости подобных систем (изобутан с углеродными нанотрубками) в сравнительно большом интервале изменения параметров состояния.

Основные методы научных исследований. Для проведения научного исследования мы воспользовались методом цилиндрического бикалориметра для изучения теплопроводности, а теплоемкость исследована на установке М.М.Сафарова и его учеников.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Составлены подробные таблицы ТФС технически важных веществ (растворов изобутана) при температурах от 293К и до 630К, а также изменении давления от 0,101МПа и до 49,01МПа, которые предложены для применения проектным организациям и в различных химико-технологических процессах в теплоэнергетической и машиностроительной промышленности.

2. Результаты проведенных исследований по теплопроводности и теплоемкости растворов изобутана внедрены в Институте промышленности Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан при выполнении

расчетов модельных реакторов и технологических процессов при создании холодильных установок, а результаты опытов представлены в качестве справочных (акт внедрения прилагается).

3. Предложенные установки для измерения теплоемкости и теплопроводности растворов используются в научной и учебной лабораториях кафедры «Теплотехника и теплоэнергетика» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими, на кафедре общей физики Таджикского государственного педагогического университета имени С. Айни различными деятелями разных уровней науки при выполнении диссертационных работ и студентами при выполнении дипломных, курсовых, а также лабораторных работ (акты внедрения прилагаются).

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность проведенных опытных работ обеспечивается:

-использованием испытанных и апробированных измерительных устройств, обладающих хорошей воспроизводимостью опытных результатов, а также согласованностью опытных данных, как с литературными, так и с результатами расчетных исследований;

-согласием полученных данных с известными параметрами, которые получены по итогам независимых исследований с применением других методик физико-химического анализа;

-полным метрологическим снабжением опытных устройств, адекватным применением теории измерений, теории погрешностей, с использованием традиционных устройств; повторимостью полученных результатов; соответствием расчетных данных теплопроводности и теплоемкости с экспериментальными данными;

-корректной математической моделью, отражающей физические процессы и проверенным математическим аппаратом, с помощью которого выполняется численное решение дифференциальных уравнений процесса тепло- и массопереноса;

Личный вклад автора заключается в установлении задач, выборе соответствующих методик при их решении, выявлении основных закономерностей протекающих процессов на момент исследования выбранных образцов, выполнении экспериментов на разработанных и апробированных устройствах по получению данных по их теплоемкости и теплопроводности. Все результаты настоящей работы получены автором под руководством научного руководителя - заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора технических наук, профессора М.М. Сафарова.

Степень научной разработки проблемы.

Степень разработанности темы исследования: вопросами исследования ТФС химически чистых жидких веществ и их растворов с добавками различных наночастиц и без них, а также под влиянием различных температур и давлений занимались и занимаются как зарубежные, так и отечественные ученые и исследователи. К таковым относятся экспериментальные работы Гусейнова К.Д., Рудяка В.Я., Терехова В.М., Чои, и др. и теоретические Гамильтона, Кроссера, Хашина–Штрикмана, Максвелла, Леннарда-Джонса, Вика–Чендлера–Андерсена и др.

Понятие критической точки известно еще с 19 века, а точки фазового перехода еще раньше, но работы, посвященные практическому использованию явлений проходящих в области выше критической точки и фазового перехода начали появляться во второй половине 20 века. Теоретическим основам явлений в сверхкритической области посвящены работы Ландау Л.Д., Левщитца Е.М., Анисимова М.А., Пакровского В.Д., Жузе Т.П., Абдулагатова И.М., Усманова А.Г., Амирхонова Д.Т., Кислева С.Б., и др.

Исследованию теплопроводности жидкостей при различных фазовых переходах посвящен ряд работ, в том числе Гобулова Д.М., Нагащими Т.С., Ахундова, Мустафоева Р.А., Гусейнова К.Д., Сафарова М.М., Маджидова Х.М., Тарзиманова А.А., Родель Дж. Н., Таузина Р.П., и др. (справочник по теплопроводности жидкостей и газов (под. Ред Н.Б.Варгафтика. М. Энергоатомиздат, 1990,-352с)).

Таким образом, процесс теплопереноса частично изучен, однако до сих пор остаются большое количество неизученных вопросов касательно изменения свойств отдельных классов органических жидкостей как с добавкой, так и без добавки наночастиц.

С учетом изложенного выше, нами выполнен ряд экспериментальных исследований по изучению теплопроводности и теплоемкости изобутана в жидкой и газовой фазах при изменении температуры, давления и концентрации нанодобавок (ОСУНТ и МСУНТ).

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

Международная научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосберегающие технологии и эффективность в технических системах”, Тамбов, (2019); Международная конференция “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, Махачкала, (2019); Rostoc-2020, Germany, (2020); 3 Международная конференция СПТЭ-2020. Москва, НИУ-МЭИ, (2020); IARIA, 2CFP, ICQNM-2020, 15-19 November, 2020, Ispane, Valenciya, (2020); Республиканская научно-теоретическая конференция на тему «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан», посвященная 60-летию химического факультета и памяти д.х.н., профессора, академика АН РТ Нуманова Ишанкула Усмановича (12-14 сентября 2020); Республиканская научно-практическая конференция, посвященная «20-летию изучения и развития естественных и математических наук», ТНУ, (2020); 3 Международный Косыгинский форум, Москва, (2021); Республиканская научно-практическая конференция (с международным участием), ТГУ им. акад. М.С. Осими (2021г); 12-я Международная теплофизическая школа, Тамбов, (2021).

По теме диссертации опубликовано 19 статей, из них **3 статьи** в журналах, включённых в список, рецензируемых ВАК при Президенте РТ, **15 тезисов докладов** и один малый патент.

Соответствие паспорту специальности. По тематике, методам исследования, пред-ложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» в части п. 5 «Экспериментальные и теоретические исследования однофазной, свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров теплопередающих поверхностей», в части п. 7 «Экспериментальные и теоретические исследования процессов совместного переноса тепла и массы в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси», в части п. 9 «Разработка научных основ и создание методов интенсификации процессов тепло- и массообмена».

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка использованной литературы и приложения. Работа изложена на **185** страницах компьютерного текста, содержит **79** рисунков, **44** таблиц, **193** наименований использованной литературы, **11** страниц приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлены основные положения работы: актуальность настоящего исследования, установленная цель работы, образцы исследования, задачи, научная новизна и практическая ценность.

Первая глава отведена обзору, соответствующему изложенной и разрабатываемой тематике, результатов теоретико-экспериментальных исследований Н-бутана, изобутана, одно- и многостенных углеродных нанотрубок.

Во второй главе дано полное описание схем, принципов и методик работ, основных и вспомогательных элементов опытных устройств, применяемых для соответствующих экспериментальных исследований. Также в главе изложена полная методика расчета погрешности измерений предложенных экспериментальных установках.

Экспериментальная установка для измерения теплопроводности жидкостей и растворов при различных давлениях и температурах

Изучение теплопроводности растворов, главным образом, выполняется на основе экспериментальных исследований с помощью стационарных методов. Мы также воспользовавшись этим методом и собрали опытное устройство для исследования теплопроводности образцов, описание которой представлено ниже. На основе разработанной группой таджикских исследователей под руководством профессоров Х. Маджидова и М.М. Сафарова, представляющих общую школу теплофизиков, была разработана и собрана установка для проведения экспериментов по изучению теплопроводности растворов, а также паров жидкостей с содержанием углерода (рисунок 1).

Установка содержит следующие элементы: бикалориметр цилиндрический, (1) сосуд пережимной высокого давления (13), манометр грузопоршневого типа марки МП-2500 (16), приборы измерения электрических параметров, комплекс измерения теплофизических параметров автоматизированный АТК (22). Бикалориметр выполнен в виде медного цилиндра (1), внутри которого установлен в коаксиальном порядке другой также медный цилиндр (2), диаметр которого меньше внешнего, в результате чего образуется пространство, применяемое для размещения опытного образца.

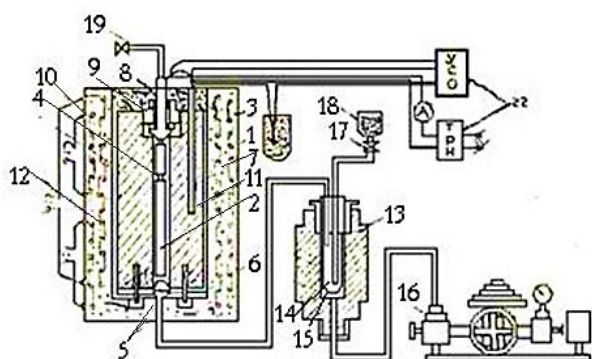


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки для измерения теплопроводности растворов в зависимости от температуры и давления. 1- внешний цилиндр, 2- измерительный цилиндр, 3- компенсационный цилиндр, 4- ниппель, 5- нижний конус, 6- фланец, 7, 11- термопары, 8- конусное уплотнение верхней головки, 9- гайка, 10, 12- электропечь, 13- пережимной сосуд, 14- полиэтиленовый мешочек, 15- глицерин, 16- грузопоршневый манометр типа МП- 2500, 17; 19- вентили, 18- стакан.

Оба цилиндра (измерительный и компенсационный) соединены друг с другом с помощью ниппеля на резьбе (4), а компенсационный с центрирующим конусом (8), уплотненным с внешним цилиндром с помощью гайки прижимной (9). В нижней части установлен конус уплотняющий (5) с фланцем (6) прижатым к корпусу цилиндра. Для установления термопар (7, 11) сверху наружного цилиндра сделаны отверстия. Горячий спай измерительной термопары (11), а также нагреватель устанавливаются в

бикалориметре таким образом, чтобы он оказался тщательно изолированным от среды с исследуемым веществом и находился под действием атмосферного давления. Температура в опытах изменялась с помощью электропечи, состоящей из трех основных узлов (10, 13, 14). Пережимной сосуд (13) изготовлен из нержавеющей стали (1X18H9T). Точность работы установки устанавливалась контрольными измерениями с помощью эталонов (толуол, воздух), которые проводились при $T=293$ до 573 К и атмосферном давлении при изменении толщины слоя и времени проведения опыта.

Метод численного определения изобарной теплоемкости исследуемых растворов при различных температурах и давлениях

Известно, что коэффициент теплопроводности материалов (твердых, жидких, газообразных, сплавов, композиционных, нитей, наножидкостей и др.) определяется с помощью следующей зависимости:

$$\lambda(p,T)=C_p(p,T)\cdot\rho(p,T)\cdot a(p,T), \quad \text{Вт/(м·К)} \quad (1)$$

где $\lambda(p,T)$ - эффективная теплопроводность, (Вт/(м·К)); $C_p(p,T)$ - удельная изобарная теплоемкость, (Дж/(кг·К)); $\rho(p,T)$ - плотность, (для сыпучих материалов) в зависимости от температуры и давления, (кг/м³); $a(p,T)$ - температуропроводность, (м²/с).

Из уравнения (1):

$$C_p(p,T)=\frac{\lambda(p,T)}{\rho(p,T)\cdot a(p,T)}, \quad \text{Дж/(кг·К)} \quad (2)$$

Чтобы вычислить удельную изобарную теплоемкость образцов, требуются значения всех трех параметров правой части уравнения (2).

В третьей главе приведены результаты экспериментов по теплопроводности и тепло-емкости чистых н-бутана и изобутана, а также с некоторым содержанием одно- и много-стенных углеродных нанотрубок в широкой области изменения параметров состояния (Т,Р).

Теплопроводность исследуемых образцов при различных температурах и давлениях

На разработанной профессором И.Ф. Голубевым (продублированы профессором Маджидовым Х. - ТГПИ имени Т.Г. Шевченко (имени С.Айни)) экспериментальной установке (рисунок 1) была выполнена серия измерительных мероприятий касательно исследования теплопроводности н-бутана, изобутана и в чистом виде, и с добавкой некоторых наночастиц (одностенных и многостенных углеродных нанотрубок) от 0,1% до 2,5% (с интервалом 0,1-0,5%) при разных параметрах состояния $T=(280-630)$ К и $P=(0,101-29,42)$ МПа, а температуропроводность была измерена с помощью установки, разработанной и запатентованной профессором М.М. Сафаровым и его учениками (Малый патент РТ №ТJ 292,2010).

Таблица 2. Теплопроводность ($\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)) системы (н-бутан+1,0% ОУНТ) при различных температурах и давлениях (в газообразной и жидкой фазах).

Т, К	Давление Р, МПа					
	0,101	1,96	4,96	9,82	19,61	29,42
280	17,8	119,0	121,2	126,3	130,8	136,7
300	20,2	111,1	112,4	117,3	122,0	128,3
320	22,4	102,3	104,5	109,0	115,6	122,4
340	24,8	95,2	97,2	102,8	110,4	116,3
360	27,3	88,2	90,1	96,3	102,8	111,0

370	28,5	85,2	87,4	93,4	100,0	108,3
380	29,7	82,0	84,5	90,2	97,7	106,0
390	31,1	-	81,8	87,3	95,6	103,5
400	32,4	-	78,8	84,7	93,5	101,5
410	33,7	-	76,6	82,8	91,6	99,8
420	35,0	-	-	-	90,0	98,6
430	37,4	-	-	-	89,3	97,5
440	37,8	42,6	-	-	87,8	96,4
450	39,2	43,5	-	76,8	88,6	95,4
460	40,6	45,4	55,4	75,0	86,8	93,8
480	43,5	42,3	55,1	72,2	84,1	91,5
500	46,4	49,5	55,6	69,3	81,6	89,4
520	49,5	51,3	56,1	68,3	80,6	88,0
540	52,6	54,2	57,9	68,4	80,1	87,5
560	55,7	57,5	60,1	69,3	80,5	87,5
580	59,9	60,5	62,7	70,4	81,3	87,9
600	62,0	63,7	65,5	72,5	81,7	88,3

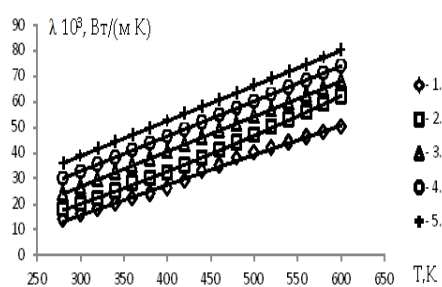


Рисунок 2. График зависимости коэффициента теплопроводности газообразного н-бутана ($p = 0,101 \text{ МПа}$) с различной концентрацией одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) и температуре: (Образец №1 - н-бутан); (Образец №2 - (н-бутан+1.0% ОУНТ)); (Образец №3 - (н-бутан +1.5% ОУНТ)); (Образец №4 - (н-бутан+ 2.0% ОУНТ)); (Образец №5 - (н-бутан+2.5% ОУНТ))

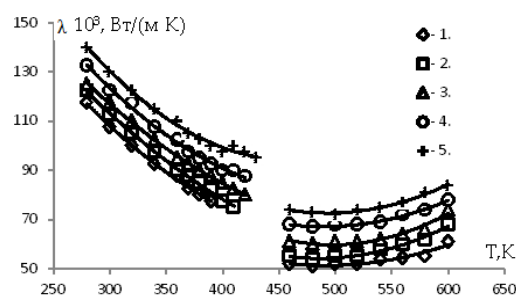


Рисунок 3. График зависимости коэффициента теплопроводности жидкого н-бутана ($p = 4,96 \text{ МПа}$) при различной концентрации одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) и температуре: (Образец №1-н-бутан); (Образец №2-(н-бутан+1.0% ОУНТ)); (Образец №3-(н-бутан+ 1.5%ОУНТ)); (Образец №4-(н-бутан+2.0% ОУНТ)); (Образец №5-(н-бутан+2.5% ОУНТ))

График, приведенный на рисунке 2, построен на основе экспериментальных и литературных данных для газообразного н-бутана при различных температурах, концентрациях одностенных углеродных нанотрубок и атмосферном давлении. Как видно из таблицы 2, по данным которой нами составлен график на рисунке 3, теплопроводность данной системы с ростом температуры и концентрации ОУНТ растет по экспоненциальному закону. На рисунке 3 представлен и показан график зависимости коэффициента теплопроводности коллоидных наножидкостей системы н-бутана с добавкой разной концентрации одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) (0-2,5%) при различных температурах и давлениях ($p = 4,96 \text{ МПа}$). Как видно из данного графика, при постоянном давлении ($p = 4,96 \text{ МПа}$) теплопроводность исследуемых наножидкостей, т.е. системы н-бутана и одностенных углеродных нанотрубок в жидкой фазе, с

повышением температуры до 410К уменьшается почти по линейному закону, а далее при увеличении температуры более чем на 460К, теплопроводность рассматриваемой системы повышается согласно экспоненциальному закону, это свидетельствует о том, что при данном температурном интервале раствор находится в газовой фазе. Находясь в жидком состоянии в интервале температуры от 280 до 400К теплопроводность системы изменяется следующим образом: при добавке в хладагент 2,5% ОУНТ и T=280К теплопроводность системы повышается на 20,1%, при T=390К на 28,6%, а при T=410К она увеличивается до 36,1%. Было установлено, что в жидкой фазе добавка ОУНТ в хладагент приводит к повышению теплопроводности растворов, а в паровое состояние хладагента (н-бутана) к понижению их теплопроводности. В интервале температур (460-600) К теплопроводность уменьшается по следующим закономерностям: при T=460К теплопроводность растет на 41,3%, при T=520К теплопроводность растет на 40,9%, при T=600К это изменение соответствует 39,9%.

Как видно из графика на рисунке 4, при постоянном давлении ($p=4,96\text{МПа}$) теплопроводность исследуемых наножидкостей системы изобутана (2-метилпропан) в жидкой фазе и одностенных углеродных нанотрубок с повышением температуры до 450 К уменьшается почти по линейному закону, а далее при повышении температуры более чем 460К их теплопроводная способность повышается по экспоненциальному закону, т.е. при данном температурном диапазоне (460-630)К наножидкость переходит в газовое состояние.

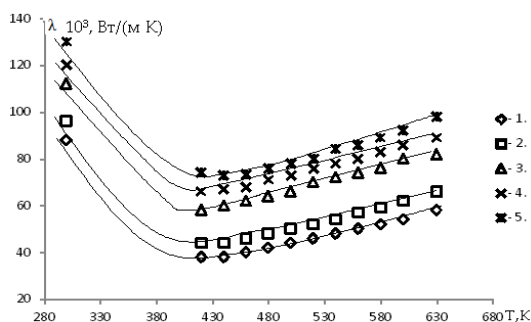


Рисунок 4. График зависимости коэффициента теплопроводности жидкого и газообразного изобутана ($p=4,96\text{МПа}$) при различной концентрации одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) и температуре: (Образец №1-изобутан); (Образец №2-изобутан +1.0%ОУНТ); (Образец №3-изобутан +1.5% ОУНТ); (Образец №4-изобутан+ 2.0 % ОУНТ); (Образец №5-изобутан+2,5% ОУНТ))

Повышение концентрации (ОУНТ) приводит к увеличению теплопроводности коллоидных наножидкостей. В жидкой фазе в интервале температуры (300-410)К, теплопроводность изменяется по следующим закономерностям: при температуре 300 К и добавке одностенных углеродных нанотрубок до 0,4г. теплопроводность растет на 44,9%. Для выявления разности теплопроводности между изобутаном и н-бутаном к нему добавили многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) в количестве от 0 до 2.5% (таблиц 3).

Согласно данным таблицы 3 (рисунок 5), по итогам увеличения концентрации нанодобавок и температуры опыта, наблюдается экспоненциальный рост теплопроводности изучаемых систем.

С добавкой МУНТ коэффициент теплопроводности коллоидных наножидкостей растет следующим образом: при добавке 0,4% одностенных и многостенных углеродных нанотрубок в химически чистый н-бутан при заданной температуре (280К) приводит к повышению значения коэффициента эффективной теплопроводности растворов хладагентов в 2,0 раза. График, изображенный на рисунке 5, получен на основе экспериментальных и литературных данных для газообразного изобутана (2-метилпропан) при различных температурах и концентрациях многостенных углеродных нанотрубок и атмосферном давлении.

Таблица 3. Теплопроводность ($\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м К)), системы (н-бутан + 0,1% МУНТ) при различных температурах и давлениях (в газообразной и жидкой фазах).

Т, К	Давление Р, МПа					
	0,101	1,96	4,96	9,82	19,61	29,42
280	21,5	123,0	125,2	130,3	134,8	140,7
300	24,2	115,1	116,4	121,3	126,0	132,3
320	26,4	106,3	108,5	113,0	119,6	126,4
340	28,8	101,2	101,2	106,8	114,4	120,3
360	31,3	92,2	94,1	100,3	106,8	115,0
370	32,5	89,2	91,4	97,4	104,0	112,3
380	33,7	86,0	88,5	94,2	101,7	110,0
390	35,1	-	85,8	91,3	99,6	107,5
400	36,4	-	82,8	88,7	97,5	105,5
410	37,7	-	80,6	86,8	95,6	103,8
420	39,0	-	-	-	94,0	102,6
430	41,4	-	-	-	93,3	101,5
440	41,8	46,6	-	-	90,8	100,4
450	43,2	47,5	-	80,8	92,6	99,4
460	44,6	49,4	59,4	79,0	90,8	97,8
480	47,5	46,3	59,1	76,2	88,1	95,5
500	50,4	53,5	59,6	73,3	85,6	93,4
520	53,5	55,3	60,1	72,3	84,6	92,0
540	56,6	58,2	61,9	72,4	84,1	91,5
560	59,7	61,5	64,1	73,3	84,5	91,5
580	63,9	64,5	66,7	73,4	83,3	91,9
600	66,0	67,7	69,5	75,5	82,7	92,3

Согласно данным рисунка 6, составленного на основе экспериментов, теплопроводность вышеуказанных систем как при росте температуры, так и при росте концентрации МУНТ повышается линейно.

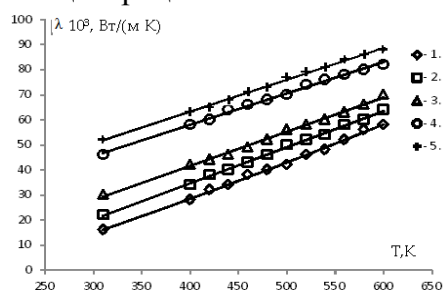


Рисунок 5. График зависимости коэффициента теплопроводности газобразного изобутана (2-метилпропан) ($p = 0,101$ МПа) при различной концентрации многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) и температуре: (Образец №1-изобутан (2-метилпропан)); Образец №2-изобутан (2-метилпропан)+1.0% МУНТ; Образец №3-изобутан (2-метилпропан)+1.5% МУНТ; Образец №4-изобутан (2-метилпропан)+2.0% МУНТ; Образец №5-изобутан (2-метилпропан)+2.5% МУНТ.

При добавлении МУНТ коэффициент эффективной теплопроводности коллоидных наножидкостей растет таким образом: добавка 2,5% многостенных углеродных нанотрубок в химически чистый изобутан (2-метилпропан) при температуре 300К приводит к увеличению эффективной теплопроводности растворов хладагентов в 2,6 раза; при 400К теплопроводность раствора растет в 1,17 раз, при $T = 500$ К

теплопроводность данного хладагента растет на 72,1%, при температуре 600К это увеличение достигает 51,9%.

Влияние наночастиц ОУНТ на изменение теплопроводность изобутана (2-метилпропан) (по истечению 50 часов после добавки наночастиц)

Для выявления влияния ОУНТ на изменение теплопроводности системы (изобутан (2-метилпропан) без добавки и с добавкой одностенных углеродных нанотрубок после истечения 50 часов при различных температурах (300-660)К и давлениях (0,101-50)МПа (в газообразном и жидком состояниях) нами использована вышеприведенная экспериментальная установка, а также использована математическая модель расчета эффективного коэффициента теплопроводности исследуемых наножидкостей. Результаты проведенных опытов сведены в таблице 4.

Таблица 4. Теплопроводность ($\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м К)), системы (изобутан (2-метилпропан) без добавки ОУНТ и с добавкой углеродных наночастиц) после истечения 50 часов при различных температурах и давлениях $p=2,5$ МПа (в газообразном и жидком состояниях).

Т,К	Образец					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
300	92,7	94,8	98,7	102,4	105,0	110,3
400	-	54,9	60,0	64,3	68,9	73,6
420	-	50,4	55,3	59,0	64,5	68,5
440	37,5	41,3	45,4	50,6	57,4	63,0
460	39,2	42,6	46,0	51,8	58,0	64,5
480	42,0	46,0	48,6	54,7	61,8	67,1
500	44,4	47,4	51,9	57,0	64,2	69,4
520	47,0	51,4	54,2	60,2	66,9	72,0
540	50,0	54,3	57,0	63,7	69,7	74,3
560	52,8	57,5	60,7	66,8	74,9	77,5
580	55,4	60,3	63,5	69,3	75,2	79,6
600	58,7	63,7	67,0	72,0	76,9	81,9
630	63,1	66,9	69,7	74,7	81,9	83,0
660	68,2	73,0	76,2	81,5	86,0	90,0

Обр.№1-изобутан (2-метилпропан) х.ч.; Обр.№2-изобутан (2-метилпропан) х.ч.+0,5%ОУНТ;Обр.№3-изобутан (2-метилпропан)х.ч.+1,0%ОУНТ;Обр.№4-изобутан(2-метилпропан)х.ч.+1,5%ОУНТ;Обр.№5-изобутан(2-метилпропан) х.ч.+2,0%ОУНТ; Обр.№6-изобутан (2-метилпропан) х.ч.+2,5%ОУНТ.

На рисунке 6 нанесены данные по теплопроводности газообразного и жидкого химически чистого изобутана (2-метилпропана) в интервале температур (293-598)К и давлений ($p=0,101-50,0$)МПа. Как видно из графика, теплопроводность газообразного изобутана в интервале температур (298-613)К растет по линейному закону, что соответствует закону молекулярной динамики. Теплопроводность химически чистого изобутана (2-метилпропана) выше атмосферного давления, т.е. в изобарах (2,5-50,0) МПа изменяется по закону гиперболы (рисунок 7). При температуре 293К тепло-проводность чистого жидкого изобутана (2-метилпропана) относительно газообразного при повышении давления на $p=2,5$ МПа растет в 4,7 раза, при $p=5,0$ МПа в 4,94 раза, при 50,0 МПа в 6,63 раза.

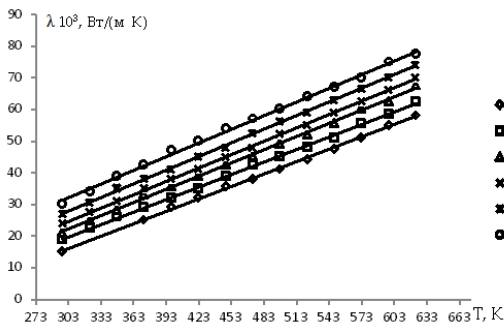


Рисунок 6. Теплопроводность жидкого и газообразного изобутана (2-метилпропан) без добавки ОУНТ при различных температурах и давлениях: 1-пар изобутана; жидкий изобутан 1- $p=0.101$ МПа; 2- $p=2,5$ МПа; 3- $p=5,0$ МПа; 4- $p=10,0$ МПа; 5- $p=20,0$ МПа; 6- $p=50,0$ МПа

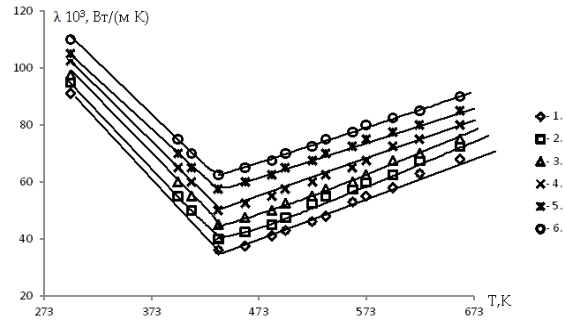


Рисунок 7. Теплопроводность изобутана (2-метилпропан) без добавки ОУНТ и с добавкой углеродных наночастиц после истечения 50 часов, при различных температурах, давлении $p=2,5$ МПа и концентрации ОУНТ (0-2,5%). 1-х.ч.изобутан (2-ме-тилпропан); 2-х.ч. изобутан (2-метилпропан)+0,5% ОУНТ); 3-х.ч.изобутан (2-метилпропан)+1,0%ОУНТ); 4-х.ч.изобутан(2-метилпропан)+1,5%ОУНТ); 5-х.ч. изобутан(2-метилпропан)+2,0%ОУНТ); 6-х.ч.изобу-тан(2-метилпропан)+2,5% ОУНТ)

Влияние наночастиц ОУНТ на изменение теплопроводности изобутана (2-метилпропана) в критической области

При выполнении технологического процесса в холодильных установках рабочее тело (хладагент) проходит критическую область. Для теплового расчета необходимо знать теплофизические характеристики рабочего тела. В связи с этим, одной из основных задач, стоящих перед нами, являлась исследование эффективного коэффициента теплопроводности рабочего тела (жидкого изобутана (2-метилпропана)) при различных температурах, т.е. в критической области ($p_{кр}=3,6$ МПа и $T_{кр}=407,9$ К). Для выполнения данной задачи нам послужило опытное устройство, работающее методом цилиндрического бикалориметра, а полученные данные по λ изобутана при разных показаниях концентрации добавляемых частиц и температуры после истечения 50 часов, представлены в таблице 5 и на рисунке 8.

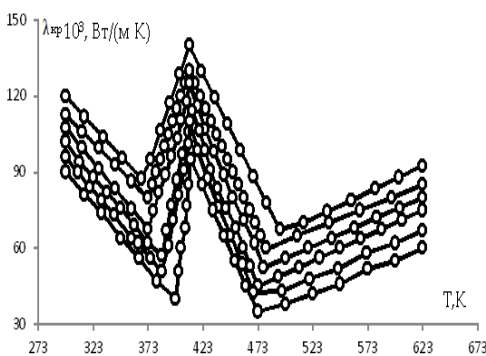


Рисунок 8. График зависимости коэффициента теплопроводности жидкого изобутана (2-метилпропан) х.ч. ($p_{кр}=3,6$ МПа и $T_{кр}=407,9$ К) при различной концентрации одностенных углеродных нанотрубок (ОСУНТ) и температуре: Образец №1-изобутан (2-метилпропан) х.ч.; Образец №2-х.ч.изобутан (2-метилпропан)+0.5%ОСУНТ; Образец №3-изобутан х.ч.(2-метилпропан)+1.0% ОСУНТ; Образец №4-х.ч.изобутан(2-метилпропан)+1.5% ОСУНТ; Образец №5-х.ч.изобутан(2-метилпропан)+2.0%ОСУНТ; Образец №6-х.ч.изобутан (2-метилпропан)+2.5% ОСУНТ.

Таблица 5. Теплопроводность ($\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м К)) системы жидкого изобутана (2-метилпропан) без добавки ОУНТ и с добавкой углеродных наночастиц после истечения 50 часов, в критической области ($p_{кр}=3,6$ МПа и $T_{кр}=407,9$ К).

Т, К	Образец					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
298,5	96,1	99,7	105,0	109,7	114,3	118,9
318,0	85,0	89,4	94,7	100,4	103,5	108,7
330,4	77,4	82,6	88,4	91,3	94,8	100,0
353,2	71,8	77,1	82,8	84,6	88,0	94,8
355,6	64,0	67,2	72,5	77,3	84,1	89,3
468,7	57,5	63,3	67,9	73,4	80,3	90,6
376,8	55,6	59,7	64,5	69,3	80,0	89,4
383,0	53,7	57,0	63,7	85,3	87,5	107,3
388,4	52,5	61,7	65,0	90,0	103,1	113,5
393,0	52,0	61,3	85,1	104,8	105,8	116,0
398,2	54,6	79,2	91,8	106,5	116,5	125,7
403,0	74,5	97,2	102,8	107,4	125,4	131,0
407,9	108,0	113,5	121,3	127,2	132,0	137,3
410,4	86,2	99,0	120,4	124,0	130,0	135,4
412,7	65,4	97,3	118,7	122,4	125,4	135,0
415,5	60,3	97,0	111,4	115,7	118,5	133,4
418,0	50,0	92,4	108,9	112,4	117,6	127,3
423,3	47,6	80,5	102,0	110,1	117,0	125,0
438,0	42,5	49,0	74,5	94,7	103,6	110,6
448,5	40,0	45,6	62,7	84,7	93,7	102,7
460,3	38,2	42,5	48,6	69,9	80,0	92,8
473,0	39,6	42,9	45,9	55,8	67,5	77,6
483,8	39,4	43,7	47,5	53,7	60,2	69,5
488,0	40,6	43,9	49,0	53,0	60,0	69,0
498,5	42,2	46,8	51,3	55,4	61,1	68,4
510,3	45,2	49,3	52,6	57,3	62,3	68,5
535,5	49,8	54,5	60,3	63,0	67,4	74,3
561,4	52,3	56,8	61,0	64,9	70,6	77,0
573,8	56,3	61,3	64,7	70,0	75,8	82,0
600,5	60,5	66,2	70,3	75,1	80,5	87,3
623,4	64,7	69,4	74,0	79,4	85,3	92,0

Обр.№1-изобутан (2-метилпропан) х.ч.; Обр.№2-изобутан (2-метилпропан) х.ч.+0,5% ОУНТ; Обр.№3-изобутан (2-метилпропан)х.ч.+1,0% ОУНТ; Обр.№4-изобутан(2-метилпропан)х.ч.+ 1,5% ОУНТ; Обр.№5-изобутан (2-метилпропан) х.ч.+2,0% ОУНТ; Обр.№6-изобутан (2-метилпропан) х.ч.+2,5% ОУНТ.

Теплоемкость хладагентов системы (н-бутан, изобутан (2-метилпропан)) при различных температурах и давлениях

В силу достаточно скупой информации о теплоемкости (C_p) таких хладагентов как н-бутан и изобутан (2-метилпропан), мы поставили перед собой задачу обратиться к решению данной проблемы. Согласно представленной информации рост температуры при атмосферном давлении способствует линейному изменению теплоемкости образцов (рисунок 9). Как выше было отмечено, этот параметр можно было бы и вычислить при

различных параметрах состояния с помощью численных методик на основе располагаемых значений эффективной теплопроводности, плотности и температуропроводности. Однако мы обратились к эксперименту и по сути являемся первыми, кто опытным путем установили влияние ОУНТ и МУНТ на теплоемкость Н-бутана и изобутана после выдержки приготовленных растворов на протяжении определенного времени (2 часа и 30 часов).

Таблица 6. Удельная изобарная теплоемкость (C_p , Дж/(кг.К)) хладагентов в зависимости от температуры при $p=0,101$ МПа без введения углеродных нанотрубок.

н-бутан						
T, К	298	300	400	500	600	700
C_p	1678,5	1687,4	2132,5	2546,9	2903,2	3210,7
изобутан (2-Метилпропан)						
T, К	298	300	400	500	600	700
C_p	1667,7	1674,9	2144,6	2567,1	2927,5	3232,3

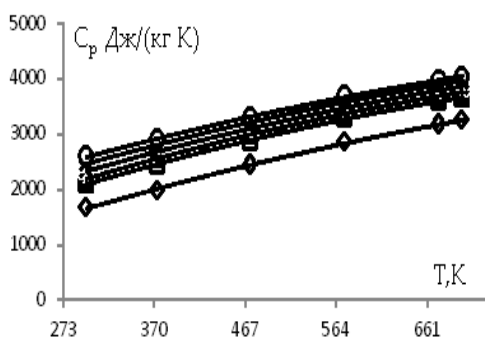


Рисунок 9. График зависимости теплоемкости х.ч. изобутана от температуры и концентрации ОУНТ после истечения 50 часов с момента добавки нанотрубок при атмосферном давлении ($p=0,101$ МПа). Обр. №1-х.ч. изобутан (2-метилпропан) без добавки ОУНТ; Обр. №2-х.ч. изобутан (2-метилпропан)+0,5% ОУНТ; Обр. №3-х.ч. изобутан (2-метилпропан)+1,0% ОУНТ; Обр. №4-х.ч. изобутан (2-метилпропан)+ 1,5% ОУНТ; Обр. №5-х.ч.изобутан (2-метилпропан) + 2,0% ОУНТ; Обр. №6-х.ч. изобутан (2-метилпропан)+2,5% ОУНТ

Как видно из графика, представленного на рисунке 9, добавка нанотрубок и повышение температуры способствуют росту удельной изобарной теплоемкости хладагентов (х.ч. изобутан (2-метилпропан)). С повышением температуры изобарная теплоемкость исследуемых газообразных хладагентов (н-бутан и изобутан) растет по линейному и экспоненциальному законам. Теплоемкость коллоидной наножидкости в начале растет по линейному закону, а при повышении температуры изгибается в сторону оси X, т.е. к оси температуры (T, К).

Расчет теплопроводности исследуемых растворов при различных температурах и давлениях (модель Максвелла и Дульнева)

Нами было выявлено, что теплофизические параметры веществ и материалов меняют-ся с изменением множества других сопутствующих факторов и параметров, например, добавление нанонаполнителя и его концентрация, плотность, температура, давление и др. Структуры с взаимопроникающими компонентами с геометрической точки зрения представляются равноправными, т.е. смесям свойственна инвариантность в случаях смены мест составных компонентов:

$$\lambda = f_1(\lambda_1, \lambda_2) = f_2(\lambda_2, \lambda_1), m_1 = m_2. \quad (3)$$

Формула для вычисления теплопроводности подобных структур выведена путем анализа процессов теплопереноса в элементарной ячейке:

$$\lambda = \lambda_1 [C^2 + v(1 - C)^2 + 2vC(1 - C)(vC + 1 - C)^{-1}], \quad (4)$$

$$v = \lambda_2 / \lambda_1,$$

где λ_1, λ_2 – теплопроводность компонентов; C – геометрический показатель модели, который зависит от объемной доли второго компонента следующим образом:

$$m_2 = 2C^3 - 3C^2 + 1 \quad (5)$$

Для удобства расчета теплопроводности смеси жидкостей, состоящей из взаимопроникающих компонентов, применяется метод последовательного ее сведения к бинарной, с которым можно ознакомиться на примере трехкомпонентной смеси.

Также, в качестве примера, для вычисления теплопроводности наночастиц (ОУНТ и МУНТ; $d_{cp}=40$ нм) как наполнителей и их растворов была использована модель Максвелла-Дульнева при температурах (293-673К) и давлениях (0,101-49,01МПа) (таблице 7).

Таблица 7. Сравнение экспериментальных и расчетных данных (модель Максвелла-Дульнева) теплопроводности ($\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м К)) жидкого изобутана (2-метилпропан) без добавки ОУНТ и с добавкой углеродных наночастиц после и 50 часов выдержки раствора, при различных температурах и давлении $p=5,0$ МПа.

Т, К	Образец №1			Образец №3			Образец №5		
	$\lambda_{экс}$	$\lambda_{рас}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{экс}$	$\lambda_{рас}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{экс}$	$\lambda_{рас}$	$\Delta, \%$
293,3	92,0	92,6	0,68	101,8	103,0	1,18	116,7	119,1	2,1
463,7	38,0	37,5	0,8	54,0	56,2	4,1	74,7	73,4	1,74
628,0	61,3	62,4	1,8	71,7	72,6	2,6	85,8	88,1	2,68

Обр. №1-изобутан (2-метилпропан) х.ч.; Обр. №3-изобутан (2-метилпропан) х.ч. +1,0% ОУНТ; Обр. №5-изобутан (2-метилпропан) х.ч. +2,0% ОУНТ.

Влияние одностенных углеродных нанотрубок на изменение теплоемкости жидкого хладагента (изобутана (2-метилпропан))

На рисунках 10 и 11 показаны данные по теплопроводности и теплоемкости х.ч. изобутана (2-метилпропан) и одностенной углеродной нанотрубки с концентрацией до 2,5%. Согласно графикам (рисунки 10 и 11) эти параметры с повышением концентрации ОУНТ увеличиваются по линейному и параболическому законам. Например, при температуре 293К и давлении $P=40,0$ МПа добавление ОУНТ от 0,5 до 2,5% приводит к росту теплопроводности изобутана (2-метилпропана) в среднем на 35,3%, а при $T=623,9$ К и $P=40,0$ МПа на 30,4 %.

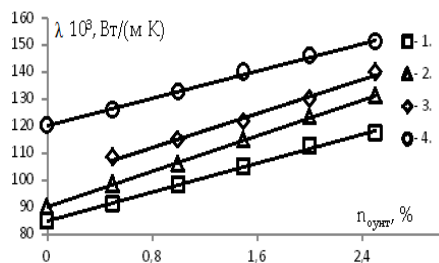


Рисунок 10. Влияние ОУНТ на изменение теплопроводности х.ч. изобутана при различных температурах и давлении ($p=40,0$ МПа) после 50 часов выдержки раствора: 1- $T=298,4$ К; 2- $T=353,6$ К; 3- $T=473,8$ К; 4- $T=623,9$ К

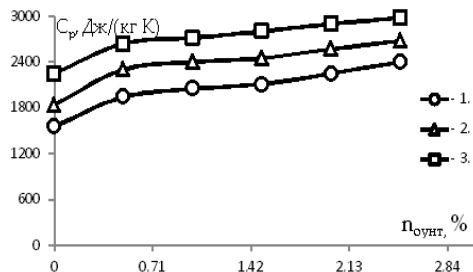


Рисунок 11. Влияние ОУНТ на изменение теплоемкости х.ч. изобутана при различных температурах и давлении ($p=19,62$ МПа) после 50 часов выдержки раствора: 1- $T=293$ К; 2- $T=373$ К; 3- $T=473$ К

В четвертой главе выполнено обобщение результатов экспериментов по теплопроводности, теплоемкости коллоидных растворов хладагентов при разном давлении, температурах и концентрациях ОУНТ и МУНТ в их составе. На основе соответствующих обработок получены аппроксимационные зависимости теплопроводности и теплоемкости образцов при различных температурах и давлении.

Обобщение экспериментальных данных по теплопроводности и теплоемкости хладагентов в зависимости от температуры и давления

Температурная зависимость теплопроводности и теплоемкости изобутана и его кол-лоидных растворов с одно- и многостенными углеродными нанотрубками описывается так:

$$\frac{\lambda_{p,T}}{\lambda_{p,T}^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (6)$$

$$\frac{C_{p,T}}{C_{p,T}^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (7)$$

где λ , $C_{p,T}$ - теплопроводность и теплоемкость образцов при различных параметрах состояния (T , P) и $\lambda_{p,T}^*$; $C_{p,T}^*$ значения теплопроводности, теплоемкости при температурах T и T_1 ($T_1=413K$).

Выражение (6) хорошо описывает рассматриваемые системы (изобутан (2-метилпропан) + одностенные углеродные нанотрубки), прямая которых имеет следующий вид:

$$\lambda_{p,T} = \left[1.33 \left(\frac{T}{T_1}\right) - 0,367\right] \cdot \lambda_{p,T}^*, \frac{\text{Вт}}{(\text{м}\cdot\text{К})} \quad (8)$$

$$C_{p,T} = \left[0.9 \left(\frac{T}{T_1}\right) + 0,1\right] \cdot C_{p,T}^*, \frac{\text{Дж}}{(\text{кг}\cdot\text{К})} \quad (9)$$

По результатам анализа значений λ_1 , $C_{p,T}^*$, было установлено, что они представляют собой функцию концентрации нанонаполнителей, т.е. ОУНТ.

На основе графоаналитического анализа, практически все полученные значения укладываются вдоль своих общих линий (прямая и кривая), которые численно можно описать следующим образом:

$$\frac{\lambda_{p,T}^*}{\lambda_{p,T}^{**}} = \left[0,022 \left(\frac{P}{P_1}\right)^2 + 0,214 \left(\frac{P}{P_1}\right) + 0,76\right], \quad (10)$$

$$\frac{C_{p,T}^*}{C_{p,T}^{**}} = 0,214 \left(\frac{P}{P_1}\right) + 0,786 \quad (11)$$

По итогам анализа значений $\lambda_{p,T}^{**}$ и $C_{p,T}^{**}$ или a было выявлено, что они являются функциями концентрации одностенных углеродных нанотрубок:

$$\lambda_{p,T}^{**} = [4,5(n_{\text{оунт}}) + 90,25] \cdot 10^{-3}, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}) \quad (12)$$

$$C_{p,T}^{**} = (370 \cdot n_{\text{унт}} + 2135), \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}) \quad (13)$$

Из уравнений (10) и (12) получим

$$\lambda_{p,T}^* = [0,022\left(\frac{P}{P_1}\right)^2 + 0,214\left(\frac{P}{P_1}\right) + 0,76] \cdot [11,5(N_{\text{оунт}}) + 90,25] \cdot 10^{-3}, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}). \quad (14)$$

По выражениям (11) и (13), можно получить

$$C_{p,T}^* = [0,214\left(\frac{P}{P_1}\right) + 0,785] \cdot (370 n_{\text{оунт}} + 2135), \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}) \quad (15)$$

Из уравнений (8) и (9) с учетом (10)-(15) для численного определения теплопроводности и теплоемкости изучаемых хладагентов и их растворов (изобутан (2-метилпропан)+ОУНТ) при изменении параметров состояния и концентрации нанонаполнителя, получаем следующие эмпирические уравнения:

$$\lambda_{p,T} = \left\{ 1,339 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 3,628 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 3,29 \right\} \cdot \left[0,022 \left(\frac{P}{P_1} \right)^2 + 0,214 \left(\frac{P}{P_1} \right) + 0,76 \right] \cdot [11,5(n_{\text{унит}}) + 90,25] \cdot 10^{-3}, \text{ Вт(м} \cdot \text{К)}, \quad (16)$$

$$C_{p,T} = \left[0,9 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 0,1 \right] \cdot \left[0,214 \cdot \left(\frac{P}{P_1} \right) + 0,786 \right] \cdot (370 n_{\text{оунт}} + 2135), \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}, \quad (17)$$

где $T_1 = 513 \text{ К}$; $P_1 = 29,43 \text{ МПа}$.

Эмпирическими уравнениями (16) и (17) можно выполнить соответствующий расчет теплопроводности и теплоемкости внеопытных растворов. Проверка уравнений (16) и (17) показала хорошие результаты, т.е. расчеты с их помощью с погрешностью 2-5% воспроизводят экспериментальные значения теплопроводности и теплоемкости изученных образцов в температурном интервале (293-653) К.

Взаимосвязь между теплопроводностью и теплоемкостью исследуемых наножидкостей при атмосферном давлении

Чтобы показать связь теплопроводности с теплоемкостью изучаемых веществ под влиянием атмосферного давления, мы воспользовались следующей функциональной зависимостью для обработки соответствующих экспериментальных данных:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f \left(\frac{C_{p,T}}{C_{p,T}^*} \right), \quad (18)$$

где $\lambda, C_{p,T}^*$ – соответственно теплопроводность и теплоемкость изучаемых веществ при различных температурах T ; $\lambda_1, C_{p,T}^*$ – соответственно теплопроводность и теплоемкость веществ при температуре T_1 , которая соответствует $T_1 = 413 \text{ К}$.

Выполнимость функциональной зависимости (18) применительно к нашим образцам имеет следующий вид:

$$\lambda = \left[2 \left(\frac{C_p}{C_p^*} \right) - 0,98 \right] \cdot \lambda_1, \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}, \quad (19)$$

Теплопроводность растворов изобутана с ОУНТ при температуре T_1 приобретает следующий вид:

$$\lambda_1 = \left[0,0018 (n_{\text{оунт}})^2 + 0,0045 (n_{\text{оунт}}) + 0,1314 \right], \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}, \quad (20)$$

По выражению (19), учитывая (20), расчет теплопроводности исследуемых систем в зависимости от теплоемкости при температуре T_1 , принятой 413К и атмосферном давлении будет производиться следующим образом:

$$\lambda = \left[2 \left(\frac{C_p}{C_p^*} \right) - 0,98 \right] \left(0,0018 (n_{\text{оунт}})^2 + 0,0045 (n_{\text{оунт}}) + 0,1314 \right), \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}. \quad (21)$$

Выражение (21) предназначено для численного определения теплопроводности экспериментально исследованных веществ (хладагент и его растворы с ОУНТ) с учетом их теплоемкости, а также изменения концентрации нанонаполнителей с погрешностью 2,0-4,2 %.

Обработка экспериментальных данных по теплопроводности исследуемых хладагентов в критической области

Для получения аппроксимационных зависимостей теплопроводности хладагентов х.ч. изобутана (2-метилпропана) в критической области параметров состояния, нами было использовано следующее выражение (22) в виде закона соответственных состояний и экспериментальных данных, полученных на базе экспериментальной установки, т.е. цилиндрического бикалориметра:

$$\frac{\lambda_{кр}}{\lambda_{кр}^*} = f\left(\frac{T}{T_{кр}}\right), \quad (22)$$

где $\lambda_{кр}$ – теплопроводность исследуемых растворов хладагентов на основе изобутана и н-бутана при различных температурах T , К; $\lambda_{кр}^*$ – теплопроводность х.ч. растворов при температуре $T_{кр}$; $T_{кр}=407,9$ К.

Результаты экспериментальных работ полученных данных по теплопроводности хладагентов х.ч. изобутана (2-метилпропан), как без добавки, а также и с добавкой одно- или многостенных углеродных нанотрубок показали, что в критической области ($T_{кр}$ и $P_{кр}$), также влияет внешнее давление.

Уравнение кривых линий оказалось, что подчиняется степенным показателям в следующем виде:

$$\lambda = \lambda_{кр} \{A(T/T_{кр})^2 + B(T/T_{кр}) + C\}, \text{ Вт/(м·К)} \quad (23)$$

Значения коэффициентов A , B и C в уравнении (23) приведены ниже (таблица 8).

Таблица 8. Значения коэффициентов A , B и C в уравнении (23) для кривых линий,

Коэффициенты	$p=2,5$ МПа	$p=5,0$ МПа	$p=10,0$ МПа	$p=20,0$ МПа	$P=50,0$ МПа
A	4,844	3,328	2,476	1,52	1,19
B	-11,472	-8,232	-6,030	-3,91	-2,926
C	7,765	5,899	4,507	3,41	2,83
Рисунок	4,25	4,26	4,27	4,28	4,29
Погрешность расчета уравнения, в %	~7,65	~4,41	~2,84	~1,22	~1,036
Общая среднеквадратическая погрешность расчета по уравнению (23)	~3,43%				

Анализ значений коэффициента теплопроводности х.ч. изобутана (2-метилпропан) в критической области $\lambda_{кр}$ показал, что оно является функцией давления. Как видно, из графика, приведенного на рисунке 12, коэффициент эффективной теплопроводности в критической области с повышением давления растет по параболическому закону.

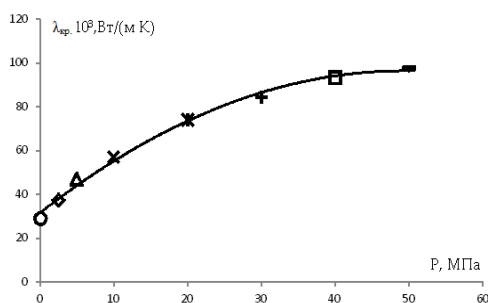


Рисунок 12. Зависимость ($\lambda_{кр}$) чистого жидкого изобутана (2-метилпропана) от давления: 1- $p=0,101$ МПа, 2- $p=2,5$ МПа, 3- $p=5,0$ МПа, 4- $p=10,0$ МПа, 5- $p=20,0$ МПа, 6- $p=30,0$ МПа, 7- $p=40,0$ МПа, 8- $p=50,0$ МПа

Уравнение этой кривой (рисунок 12) имеет следующий вид:

$$\lambda_{кр} = -2,03 \cdot 10^{-5} p^2 + 2,086 \cdot 10^{-3} p + 4,376 \cdot 10^{-2}, \text{ Вт/(м·К)} \quad (24)$$

Уравнение (24) с учетом уравнения (26), можно написать в виде следующего выражения:

$$\lambda = \{A(T/T_{кр})^2 + B(T/T_{кр}) + C\} [-2,03 \cdot 10^{-5} p^2 + 2,086 \cdot 10^{-3} p + 4,376 \cdot 10^{-2}], \text{ Вт/(м.К)}. \quad (25)$$

С помощью эмпирического уравнения (25) можно рассчитать коэффициент эффективной теплопроводности наножидкостей системы изобутан (2-метилпропан) в критической области параметров состояния с погрешностью среднеквадратического значения $\sim 3,25\%$. $\lambda_{кр}$.

Численное моделирование температуры изгиба до и после критической температуры

Для получения единого эмпирического уравнения хладагентов с добавкой от 0 до 2,5%, ОУНТ в области фазового перехода (критической области), также нами было использовано следующее выражение (23). Выполнимость закона соответственных состояний (23) для критической области ($p_{кр}=3,6$ МПа и $T_{кр}=407,9$ К) представлена в виде графика на рисунке 13. Согласно результатам опытов, которые графически иллюстрированы на рисунке 13, кроме критической области хладагенты системы изобутан и одно- и многостенные нанотрубки обладают еще двумя точками изгиба, которые, как оказалось, зависят от концентрации нанотрубок в растворе.

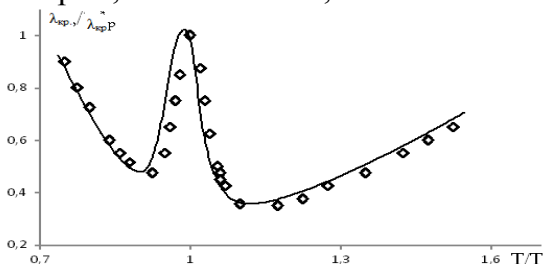


Рисунок 13. Зависимость $\left(\frac{\lambda_{кр}}{\lambda_{кр}^}\right)$ от $\left(\frac{T}{T_{кр}}\right)$ для чистого жидкого хладагента - х.ч. изобутана (2-метилпропана) без добавки ОУНТ в критической области ($T_{кр}=407,9$ К, $p_{кр}=3,6$ МПа)*

На основе численных расчетов было установлено, что добавление нанонаполнителей не влияет на критическую температуру изучаемого хладагента, а становятся лишь следствием изгиба кривой до и после критической области.

В приложении приведен табулированный вариант результатов сравнения экспериментов и расчетов, выполненных с помощью эмпирических уравнений, полученных на основе анализа и обработки опытных данных по методикам и способам, описанным в четвертой главе настоящей диссертации. Также в приложении работы приведены акты внедрения, подтверждающие возможность практической реализации теплофизических свойств рабочего вещества в широкой области изменения параметров состояния.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны автоматизированные комплексы измерения теплоемкости и коэффициента теплопроводности изучаемых хладагентов - н-бутана, изобутана (2-метилпропан) и их растворов с одно- и многостенным углеродным нанотрубками с охватом большой области изменения параметров состояния [2-А, 3-А, 4-А, 8-А, 10-А, 15-А, 16-А].

2. Показана пригодность применения метода монотонного разогрева регулярного теплового режима второго рода, для измерения теплоемкости и метода α -калориметра для измерения температуропроводности исследуемых хладгентов с добавлением углеродных нанотрубок в различной области изменения температур и давления [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А].

3. На основе молекулярно-кинетических представлений объяснена зависимость теплопроводности, теплоемкости исследуемых наножидкостей от температуры, давления и концентрации ОУНТ и МУНТ [5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А, 11-А, 12-А, 13-А, 14-А].

4. Установлено, что при добавке 0,5% МУНТ в чистом изобутане при $T=300$ К теплопроводность растет на 75,3%, а при $T=630$ К на $\Delta\lambda=22,3\%$. Приведено качественное и количественное объяснение изменения теплопроводности, теплоемкости х.ч. изобутана (2-метилпропан), н-бутана, как в чистом виде, так и содержащим до 2,5% одностенных, многостенных углеродных нанотрубок с изменением давления, температуры и массовой концентрации нанонаполнителя [6-А, 8-А, 10-А, 11-А, 12-А, 14-А, 15-А, 16-А, 17-А, 18-А].

5. При обработке и обобщении экспериментальных данных получены аппроксимационные зависимости устанавливающие взаимосвязь теплопроводности, теплоемкости хладагентов от концентрации одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ и МУНТ), температуры и давления. [1-А, 2-А, 3-А, 5-А, 8-А, 9-А, 10-А, 13-А, 14-А, 15-А].

6. Показано, что при использовании математической модели Максвелла-Дульнева получены значения эффективной теплопроводности растворов системы жидкого и газообразного н-бутана и изобутана (2-метилпропана) и одностенных углеродных нанотрубок при использовании модели структуры с взаимопроникающими компонентами (модель Максвелла-Дульнева). Результаты расчета коэффициента теплопроводности исследуемых хладагентов показало что используя данную модель, можно, не проводя экспериментальные исследования, получить коэффициент теплопроводности растворов [13-А, 14-А, 15-А, 16-А, 17-А, 18-А].

7. На основе моделирования динамики неравномерных процессов был получен коэффициент теплоотдачи, который с добавлением наночастиц растет по линейному закону. Предложено практическое использование полученных результатов в технологии наножидкостей для инженерных расчетов процессов и аппаратов химических производств, моделирования динамики неравномерных процессов и на его основе получен коэффициент теплоотдачи между системам и окружающей средой [9-А, 10-А, 11-А, 12-А, 13-А].

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы исследования диссертационной работы

1. Составлены подробные таблицы теплопроводности, теплоемкости хладагентов системы (н-бутан, изобутан (2-метилпропан) + одно- и многотенные углеродные нанотрубки) в большой области изменения температуры (293-673)К, давления (0,101–49,01)МПа, а также массовой концентрации нанонаполнителей (от 0 до 2,5%) после 2-х и 50 часов выдержки добавок в хладагенте, который может найти свое применение в технологических оборудованьях, теплообменных аппаратах и трансформаторах тепла и т.д.

2. Полученные аппроксимационные зависимости с достаточной эффективностью используются студентами, магистрами и аспирантами кафедры «Общая физика» Таджикского государственного педагогического университета им. Садриддина Айни и кафедры «Теплотехника и теплоэнергетика» ТГУ им. акад. М.С. Осими при реализации своих учебных и научно-исследовательских работ.

3. Результатами опытных исследований теплопроводности, теплоемкости исследуемых хладагентов можно воспользоваться для численного определения коэффициента активности каждого компонента, изучаемой наножидкости.

4. Полученные аппроксимационные зависимости можно использовать для расчета и прогнозирования термодинамических и теплофизических характеристик не изученных

на практике названных растворов в большой области изменения температуры, давления и концентрации ОУНТ и МУНТ, что позволило заложить основу для конструирования материалов системы конденсирования.

5. Полученные в ходе исследования экспериментальные данные, а также математическая модель для вычисления изменений теплофизических параметров достаточно ощу-тимо способствует снижению затрат на дорогие эксперименты и приобретения соответствующего дорогостоящего оборудования.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

[1-А]. Джумаев, С.С. Уравнение состояния Мамедова–Ахундова–Сафарова электролитов системы H_2O+TiO_2 при различных температурах и давлениях./ Ф.Д. Исмонов, Х.М.Маджидов., А.А. Хубатхузин, А. Нейматов, С.С. Джумаев // Вестник ТНУ, 2020. - №3. - С 127-135.

[2-А]. Джумаев, С.С. Влияние одностенных углеродных нанотрубок на изменение теплопроводности изобутана при различных температурах и давлениях./ М.М. Гуломов, С.С. Джумаев, М.М. Сафаров // Известия АН РТ 2020. -№4 (181). - С. 49-62.

[3-А]. Джумаев, С.С. Влияние одностенных углеродных нанотрубок на изменение изобарной теплоёмкости н-бутана в газообразной и жидкой фазе/ С.С. Джумаев// Вестник Технологического университета Таджикистана. 2021. № 4(47). - С. 23-30

Статьи, опубликованные в материалах конференций:

[4-А]. Джумаев, С.С. Экспериментальные исследования теплопроводности жидких уг-леводородных смесей при добавке в них наполнителей/ Вестник филиала московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе// 2019. № 1,3(3).- С. 46-55.

[5-А]. Джумаев, С.С. Влияние фуллеренов C_{60} и C_{70} на изменение тепловой активности паров углеводородных теплоносителей/ Вестник филиала московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе// 2019. № 1,3 (3). - С. 55-62

[6-А]. Джумаев, С.С. Вклад нанотрубок OCSIAI и сажи на поведение реологических и термодинамических свойств простых эфиров и хладагентов. // Д.Ш. Хакимов, М.М. Сафаров, М.М.Гуломов, Б.А.Тимеркаев, А.Р. Раджабов, Х.Х. Ойматова, З.К. Хусайнов, С.С.Рафиев, С.С. Джумаев, Ш.Р. Сафаров. /Материалы 6 Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосбережение и эффективность в технических системах”, Тамбов, 3-5 июня 2019- С.169-170.

[7-А]. Джумаев, С.С. Новый способ получения тепла и электричества в условиях Таджикистана./ Ф. Абдужалилзода, С.Х. Мирзоев, М.М. Сафаров, М.М. Гуломов, Х.Х. Назаров, Р.Дж. Давлатов, А.Р. Раджабов, С.С. Рафиев, М.А. Зарипова, Д.Ш. Хакимов, Б.М. Махмадиев, Д.А. Назриматов, С.С.Джумаев, Б.Г.Файзиев./ Материалы 6 Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосбережение и эффективность в технических системах”, Тамбов, 3-5 июня 2019.- С.178-179.

[8-А]. Джумаев, С.С. Комплексная солнечная установка для получения тепловой и электрической энергии/ С.С. Джумаев, М.М. Сафаров, Ф. Абдужалилзода, А.Р. Раджабов, С.С. Рафиев, и др// Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в

конденсированных средах. Сборник трудов международной конференции 15-20 сентября 2019 г. Махачкала, - С.420-422.

[9-А].Джумаев, С.С. Температуропроводность металлических материалов в турбонасосных агрегатах в поле центробежных сил/ С.С. Джумаев., М.М. Гуломов., М.М. Сафаров// Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов международной конференции 15-20 сентября 2019 г. Махачкала, -С.170-172.

[10-А].Джумаев, С.С. Влияние температуры, давления и концентрации многостенных нанотрубок на изменение теплофизических свойств теплоносителей и хладагентов/ С.С. Джумаев., М.М. Гуломов, М.М. Сафаров//Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов международной конференции. 15-20 сентября 2019. г. Махачкала,- С.167-169.

[11-А].Джумаев, С.С. Влияние наночастиц OCSIAL и сажи на изменение термодинамических свойств простых эфиров и хладагентов/М.М.Сафаров, С.С.Джумаев, М.М. Гуломов// Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов международной конференции 15-20 сентября 2019 г. Махачкала,-С.180-182.

[12-А].Джумаев, С.С. Взаимосвязь между теплоёмкостью и коэффициентом адсорбции пористого гранулированного оксида алюминия с различной концентрацией металла/С.С. Джумаев., А.Г. Мирзомаматов., Ф. Абдужалилзода., М.М. Сафаров// Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов международной конференции 15-20 сентября 2019 г. Махачкала,- С.176-179.

[13-А].Джумаев, С.С. Реологические свойства растворов на основе бензола с учетом изменения концентрации нанокompозитов (H_2N_2) С.С. Джумаев., М.М. Гуломов., М.М. Сафаров., Т.Р., Тиллоева., З.К. Хусейнов/ Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов международной конференции 15-20 сентября 2019 г. Махачкала.-С.173-175.

[14-А].Джумаев, С.С. Влияние наночастиц с эффектами памяти на поведение теплопроводности композитных материалов и хладагентов / М.М.Сафаров., М.М. Гуломов, С.С. Джумаев// Республиканская научно-практическая конференция, посвященная «Двадцатилетие изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» на тему «Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физики» (г. Душанбе, 19 февраля 2020), - С.55-57.

[15-А].Джумаев, С.С. Влияние углеродных нанотрубок на изменение теплопроводности изобутана//М.М. Сафаров, М.М. Гуломов/Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума, посвященного 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума "Современные задачи инженерных наук". Москва, 2021,- С. 196-199. (ISTS "EESTE-2021").(Scopuse).

[16-А].Джумаев, С.С. Влияние одностенной углеродной нанотрубки на изменение теплопроводности некоторых хладагентов/Ю.Ф.Гортышов, М.М. Сафаров, М.М. Гуломов, С.С.Джумаев//Сборник статей первой международной научно-практической конференции “Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения”, посвященной памяти профессора Баситовой Саодат Мухаммедовной, 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности

доктора химических наук, профессора Азизкуловой Онаджон Азизкуловной. (ТНУ, Душанбе, 30-31 марта 2022 г.) – С. 358-364.

[17-А]. Джумаев, С.С. Экспериментальная установка для получения зависимости удельной теплоемкости жидкостей и растворов от температурных параметров состояния системы/ М.М. Сафаров, М.М. Гуломов//Материалы Республиканской конференции «Роль современных методов анализа в развитии науки и производства» ТНУ, 5 октября 2022. Душанбе. - С. 62-67.

[18-А]. Джумаев, С.С. Влияние одностенных углеродных нанотрубок на изменение удельной изобарной теплоемкости и теплопроводности жидкого н-бутана// М.М. Сафаров, М.М. Гуломов, Ф. Абдужалилзода// Материалы 13 международной теплофизической школы «Теплофизика и информационные технологии» 17-19 октября 2022г. Душанбе-Тамбов. - С. 109-113.

Малый патент Республики Таджикистан

[19-А]. Джумаев, С.С., Сафаров М.М., Гуломов М.М., Мирзоева К. Саидзода К.Б., Сафаров Ш.Р., Ойматова Х.Х., Собиров Дж.Ф., Тиллоева Т.Р., Мирзоева К., Умарзода Ш.У., Абдуназаров С.С., Хакимов Д.Ш. Способ определения теплопроводности твердых тел. Малый патент Республики Таджикистан № 2101553 аз 03.05.2021, №ТJ 1185 от 27 сентября 2021г. 7с.

АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН
ИНСТИТУТИ МАСЪАЛАҲОИ ОБ, ГИДРОЭНЕРГЕТИКА ВА ЭКОЛОГИЯ

Дар асоси дастнавис

ТДУ 536.12.24:33



ЧУМЪАЕВ Саидчаҳфар Сафаралиевич

ТАЪСИРИ НАНОНАЙЧАҲОИ КАРБОНӢ БА ТАҒЙИРӢБИИ
ГАРМИГУЗАРОНӢ ВА ГАРМИҒУНҚОИШИ ХУНУККУНАНДАҲО
ДАР ҲАРОРАТ ВА ФИШОРҲОИ ГУНОГУН, БО НАЗАРДОШТИ
ҲУДУДИ КРИТИКӢ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникаӣ аз рӯи
ихтисоси 01.04.14 – физикаи ҳарорат ва назарияи техникаи гармо

Душанбе –2023

Рисола дар Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи назди АМИТ иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ: Сафаров Маҳмадалӣ Маҳмадиевич - Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, академики байналмиллалӣ муҳандиси (АБМ), академики Академияи муҳандисӣ (АМ) ҚТ, доктори илмҳои техникӣ, профессор

Муқарризи расмӣ: Баранов Игор Владимирович – доктори илмҳои техникӣ, профессор, директори мегафакултети биотехнологияи системаҳои пастҳарорати донишгоҳи ИТМО (*ш. Санкт-Петербург*)

Турғунбоев Мусочон Турсуналиевич – номзоди илмҳои техникӣ, дотсент, мудири кафедраи физикаи ДДБ ба номи Носири Хусрав (*ш. Бохтар*)

Муассисаи пешбар: Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон, кафедраи физика, телекоммуникатсия ва фанҳои техникӣ

Ҳимояи рисола рӯзи “27” марта соли 2023, соати 14⁰⁰ дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионӣ 6Д.КOA-041 назди Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10а баргузор мегардад, e-mail: d.s6d.koa.041@yandex.ru

Бо матни пурраи диссертатсия метавонед дар китобхонаи илмӣ ва сомонаи интернетии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад.М.С. Осимӣ <http://ttu.tj> шинос шавед

Автореферат санаи «_____» _____ соли 2023 ирсол шудааст.

Котиби илмӣ
шӯрои диссертатсионӣ 6Д.КOA-041,
номзоди илмҳои техникӣ, дотсент



Тағоев С.А.

ТАВСИФҲОИ УМУМИИ РИСОЛА

Мубрамияти мавзӯ. Гузаронидани тадқиқот дар соҳаи хосиятҳои гармофизикии (гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши хоси изобарӣ) маводҳо характери бисёрсола дорад. Барои таҳияи техника, технология ва оптимизатсияи равандҳои дахлдори дар онҳо гузаранда зарур аст, ки далелҳои асосноки илмӣ, маълумоти боэътимод барои ҳисобҳои муҳандисии конструкторӣ мувофиқ ва ин гуна маълумот дар навбати худ маълумотро дар бораи хосиятҳои гармофизикии ашёи корӣ талаб мекунад, ки ҳудудҳои маълуми тағйирёбии параметрҳои ҳолатро дар бар мегирад. Аз ин бармеояд, ки инкишофи минбаъдаи корҳои тадқиқотӣ оид ба омӯхтани гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши маводҳои корӣ барои такмил додани равандҳои дахлдор замина гузошта, эътимоднокии корҳои лоиҳавиро таъмин менамояд. Ба хусусиятҳои муҳимтарини хосиятҳои гармофизикии маводҳо инҳо дохил мешаванд: гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши маводҳо. Маҳлӯлҳо, аз ҷумла маҳлӯлҳои хунуккунанда, ҳоҳ моеъ ё дар ҳолати газӣ бо тамоми гуногунии худ, дар бисёр соҳаҳои технологияи муосир ҳамчун моеъҳои кории гармиинтиқолдиҳанда ва реагентҳои кимиёвӣ хеле маъмул мебошанд.

Манбаи асосии тавсифҳои термофизикӣ (гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиш) хунуккунандаҳои изобутан, ҳам дар шакли тоза ва ҳам дорои таркиби гуногуни нанозаррачаҳо имрӯз маълумотҳои таҷрибавӣ мебошанд. Маълумотҳои таҷрибавӣ ба даст овардашуда на танҳо барои истехсолот, балки барои илм барои такмил додан ва кор карда баромадани усулҳои нави ҳисоббарорихи назариявии омӯзиши тавсифҳои гармофизикӣ характери амали дорад.

Бузургҳои гармиғунҷоиш ва гармигузаронии изобутани тоза ва омехтаи он, яъне бо иловаи концентратсияҳои гуногуни нанозаррачаҳо инкишофи боэътимод ва ташкили технологияи пешқадам, инчунин назарияи системаҳои муосири дуфазаро таъмин менамоянд;

имконияти муқаррар намудани механизми таъсири мутақобилаи байнимолекулаҳо дар маводҳои моеъгии тоза ва бо иловаи нанозаррачаҳои дигар маводҳоро медиҳад, ки ин имкон медиҳад, шумораи зиёди ҳодисаҳои физикию химиявӣ ва ҳроратӣ, ки ба интиқоли молекулаҳо вобастаанд, шарҳи асоснок дода шавад. Чӣ тавре, ки маълум аст, ҳисобқуниҳои муҳандисии барои ба гармиғунҷоиш ва гармигузаронии газҳои ихроҷшуда дар мавриди мо изобутан дар ҳолатҳои моеъ ва газӣ маълумоти боэътимод лозим аст, ва дар навбати худ дараҷаи дақиқии натиҷаҳои ҳисобқуни таҷҳизотҳо, узвҳо ва системаҳои ба вучуд овардани равандҳои технологияи модернизацияшуда ва дастгоҳҳои истехсолоти химиявӣ ва ҳвопаймоҳоро муайян мекунанд.

Рисола: тибқи нақшаи ҳамоҳангсозии илмӣ-тадқиқотӣ дар соҳаи илмҳои табиатшиносӣ ва ҷамъиятии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон дар солҳои 2015-2022 дар мавзӯи “Хосиятҳои гармофизикии маводҳо” аз рӯи масъалаи 1.9.7 – “Гармофизика” омӯхташудааст.

Объекти тадқиқотӣ: изобутан дар ҳолати газӣ ва моеъгӣ, нанонайчаҳои карбонии як - ва бисёрқабата.

Мақсади рисола: дар асоси маҷмӯи тадқиқотҳои таҷрибавӣ ба даст овардани маълумотҳо оид ба гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши системаи изобутан (моеъ ва газмонанд) + нанонайчаҳои карбонии як- ва бисёрқабата (то 2,5%) дар ҳудуди ҳароратҳои (280-630)К ва фишорҳои (0,101-49,01) МПа.

Барои амалӣ гардондани мақсади гузошташуда ҳаллӣ масъалаҳои мазкур талаб карда шуд:

1. Ташкили варианти нисбатан мукамалтари дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои тадқиқи бево-ситаи гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши маҳлулҳо дар ҳудудҳои гуногуни параметрҳои ҳолат.

2. Дар асоси тадқиқоти таҷрибавӣ ба даст овардани маълумот дар бораи гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши маҳлулҳои изобутан бо нанонайчаҳои карбонии якҷабата ва бисёрҷабата дар ҳудуди тағйирёбии ҳарорат (280-630)К ва фишорҳои (0,101-49,01) МПа.

3. Муқаррар намудани вобастагии гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши изобарии изобутани тоза ва омехтаи он бо нанонайчаҳо аз ҳарорат, фишор, концентратсияи массавии нано-найчаҳои карбонии якҷабата ва бисёрҷабата (то 2,5%).

4. Ҳосил намудани ифодаҳои эмпирикӣ, ки вобастагии байни тағйирёбии ҳароратҳо, фишор, сохти хусусии намунаҳоро аз гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиш муқаррар менамоянд.

5. Омӯзиши интиқоли гармӣ дар маводҳои омӯхташуда (изобутан ва нанонайчаҳои ва як-, бисёрҷабатаи карбонӣ) ва равандҳои ба он алоқаманд.

Навгониҳои илмӣ қор чунин аст:

1. Тадқиқотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ (λ), гармиғунҷоиши (C_p) намунаҳои системаҳои изобутан бо иловаҳои нанонайчаҳои карбонии якҷабата ва бисёрҷабата (то 2,5%) дар ҳудудҳои тағйирёбии ҳарорат (280-630)К ва фишорҳои (0,101-49,01) МПа гузаронида шуд.

2. Ба даст овардани вобастагиҳои эмпирикӣ ва кореллятсионии $\lambda = f(C_p)$, P- λ -T.

3. Дар асоси натиҷаҳои тадқиқотҳои таҷрибавӣ ва бо ёрии вобастагиҳои аппроксиматсионӣ ҳисобкунӣҳои гармии генераторҳои буғӣ ва дастгоҳҳои хунуккунанда ба амал бароварда шуданд.

Ба ҳимоя пешкаш карда мешавад:

1. Натиҷаҳои, ки бо ёрии таҷриба ва назариявӣ оид ба гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши хоси маҳлулҳо (изобутан ва нанонайчаҳои карбонии якҷабата ва бисёрҷабата) бо тағйирёбии ҳудудҳои ҳарорати тадқиқотӣ (280-630) К ва фишорҳои (0,101-49,01) МПа гирифта шуда, ба тавсифи модели математики мусоидат мекунад.

2. Параметризатсияи натиҷаҳои ҳисоб кардани гармигузаронии намунаҳо (модели Максвелл ва Дулнев), инчунин таҳлили раванди гармигузаронӣ дар онҳо.

3. Вобастагиҳои аппроксиматсионӣ барои ҳисоб кардани гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши чунин системаҳо (изобутан бо нанонайчаҳои карбонӣ) дар ҳудуди нисбатан калони параметрҳои ҳолат.

Усулҳои асосии тадқиқотҳои илмӣ. Барои гузаронидани тадқиқотҳои илмӣ мо усули бикалориметри силиндриро барои омӯзиши гармигузаронӣ истифода бурда ва гармиғунҷоиш дар дастгоҳи М.М.Сафаров ва шогирдонаш омӯхта шуд.

Дарачаи омӯхташавии самти рисола:

Фаҳмиши нуқтаи критикӣ аллакай аз асри 19, ва нуқтаи фазаи гузариш боз барвақтар маълум буд, вале корҳои, ки ба истифодабарии амалии ҳодисаҳои аз ҳудуди нуқтаи критикӣ баланд ва фазаи гузариш дар нимаи дуҷуми асри 20 пайдо шуданд гирифтанд.

Асосҳои назариявии ҳодисаҳои ба амаломеда дар ҳудудҳои наздикритикӣ ва фавқулкритикӣ корҳои Ландау Л.Д., Жузе Т.П., Абдулагатов И.М., Усмсонов А.Г., Амирхонов Д.Т., Кислев С.Б. ва ғайраҳо бахшида шудаанд.

Оид ба тадқиқи гармигузаронии моеъҳо дар фазаҳои гузариши як қатор корҳои муалифон ба монанди: Габулов Д.М., Нағашима, Ахундов Т.С., Мустафоев Р.А.,

Гусейнов К.Д., Сафаров М.М., Мачидов Х.М., Тарзиманов А.А., Родель Дж.Н., Таузена Р.П., ва ғайраҳо (Маълумотнома оид ба моеъҳо ва газҳо (зери таҳрири Н.Б.Варгафтик, М., Энергоатомиздат, 1990,-352с.)) бахшида шудааст.

Аҳамияти амалӣ ва назариявии кор:

1. Ҷадвалҳои муфассали ХГМ моддаҳои аз ҷиҳати техникӣ муҳим (маҳлулҳои изобутанӣ) дар ҳароратҳои аз 293К то 630К, инчунин тағирёбии фишорҳо аз 0,101 МПа то 49,01 МПа, ки барои истифода дар ташкилотҳои лоихакашӣ ва дар равандҳои гуногуни химиявӣ ва технологӣ дар энергияи ҳароратӣ ва саноати мошинсозӣ пешниҳод карда мешаванд.

2. Натиҷаҳои тадқиқотҳои гузарондашуда оид ба гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши хоси маҳлулҳои изобутан дар Институти саноати Вазорати саноат ва технологияи навини Ҷумҳурии Тоҷикистон барои ҳисобкуниҳои реакторҳои намунавӣ ва равандҳои технологӣ ҳангоми сохтани дастгоҳҳои хунуккунанда татбиқ шуда ва натиҷаҳои тадқиқот бошад ба сифати маълумотномаҳои истифода шудаанд (дар замима санади тадқиқ пешниҳод шудааст.)

3. Дастгоҳҳои пешниҳодшуда барои ҷенкунии гармиғунҷоиши хос ва гармигузаронии маҳлулҳо дар озмоишгоҳҳои илмию таълимии кафедраи “Техника ва энергетикаи гармо” –и Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ, дар кафедраи физикаи умумии Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ дар зинаҳои гуногуни фаъолияти илмӣ ҳангоми иҷро намудани рисолаҳо ва аз ҷониби донишҷӯён ҳангоми иҷро намудани корҳои дипломӣ, курсӣ, инчунин корҳои озмоишӣ истифода мешаванд (санадҳо дар замимаи рисола).

Дарҷаи эътимоднокии ва истифодаи натиҷаҳо. Эътимоднокии таҷрибаҳои гузаронидашуда таъмин карда мешаванд:

- истифодабарии таҷҳизотҳои ҷенкунандаи санчидашуда ва озмудашуда, ки қобилияти хуби такроршавандагии натиҷаҳои таҷриба, инчунин мувофиқати маълумотҳои таҷрибавӣ бо маълумотҳои адабиёт ва бо натиҷаҳои ҳисобкуниҳои тадқиқотӣ;

- мувофиқати маълумотҳои бадастомада бо параметрҳои маълум, ки дар натиҷаи омӯзиши мустақилона бо истифода аз усулҳои дигари таҳлили физикӣ-химиявӣ ба даст оварда шудаанд;

- таъмини пурраи метрологӣ асбобҳои таҷрибавӣ, дуруст татбиқ намудани назарияи ҷенкунӣ, назарияи ҳатогӣ, бо истифода аз асбобҳои анъанавӣ; такроршавандагии натиҷаҳои бадастомада; мувофиқати маълумотҳои ҳисобшудаи гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиш бо маълумотҳои таҷрибавӣ;

- модели дурусти математикӣ, ки равандҳои физикиро инъикос мекунад ва аппарати математикӣ собитшуда, ки бо ёрии он ҳалли адабии муодилаҳои дифференциалии раванди гармӣ ва массаинтиқолдиҳанда гузаронда мешавад;

Саҳми шахсии муаллиф аз гузоштани вазифаҳо, интихоби усулҳои мувофиқи ҳалли онҳо, муайян кардани қонунҳои асосии равандҳои ҷорӣ дар вақти омӯзиши намунаҳои интихобшуда, гузаронидани таҷрибаҳо дар дастгоҳҳои таҳия ва санчидашуда барои гирифтани маълумот дар бораи гармиғунҷоиш ва гармигузаронӣ онҳо иборат аст. Ҳамаи натиҷаҳои рисола аз тарафи муаллиф таҳти роҳбарии — Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори илмҳои техникӣ, профессор М.М Сафаров ба даст оварда шудааст.

Интишороти натиҷаҳои кор. Натиҷаҳои асосии рисолаи пешниҳодшуда дар конференсияҳои зерин барраси шуда мавриди муҳокима қарор гирифтаанд: конференсияи байналмиллалӣ илмӣ-техникӣ донишҷӯён, олимони ҷавон ва мутахассисон “Энергиятаъминкунӣ ва эффекивнокӣ дар системаҳои техникӣ”, Тамбов,(2019); конференсияи байнал-

миллалӣ “Ҷазаҳои гузариш, ҳодисаҳои бухронӣ ва ғайрихатӣ дар муҳитҳои конденсӣ”, Махачқала, (2019); Rostoc-2020,Germany,(2020); 3 конференсияи Байналмиллалӣ СПТЭ-2020 Москва, НИУ-МЭИ, (2020); IARIA, 2CFP, ICQNM-2020,15-19 November,2020, Ispane, Valencia, (2020); конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-назариявӣ дар мавзӯи “Асосҳои инкишоф ва пешрабии илмҳои химиявӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон”, бахшида ба 60-солагии факултети химия ва хотироти д.и.х. профессор, академики АМИТ Нумонов Ишонқул Усмонович (12-14 сентябри 2020); конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалӣ бахшида ба “20 солагии омӯзиш ва инкишофи илмҳои дақиқ ва математика”, ДМТ,(2020); 3 форуми байналмиллалӣ Косигинӣ, Москва,(2021); конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалӣ (бо иштироки байналмиллалӣ), ДТТ ба номи акад.М.С.Осимӣ (2021); 12 Мактаби гармофизикони байналмиллалӣ, Тамбов (2021).

Аз рӯи мавзӯи рисола интишор шудааст: 19 мақола, аз ҷумла **3** мақола дар маҷаллаҳои тавсия намудаи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, **15** фишурдаи мақолаҳо ва **як** патенти хурди ҚТ.

Мувофиқати бо шаходатномаи ихтисос. Аз рӯи мавзӯ, усулҳои тадқиқот, муқаррароти нави илмӣ пешниҳодшуда рисола ба шиносномаи ихтисоси олимони 01.04.14 «Гармофизика ва назарияи техникаи гармо» дар қисми б.5 «Таҳқиқи таҷрибавӣ ва назариявӣ якфаза, конвексияи озод ва маҷбурӣ дар ҳудуди васеи ҳосиятҳои интиқолдиҳандаҳои гармӣ, реча ва параметрҳои геометрии сатҳҳои гармидиҳанда», дар қисми б.7 «Таҳқиқоти таҷрибавӣ ва назариявӣ равандҳои якҷояи гармӣ ва массаинтиқолдиҳӣ дар омехтаҳои бинарӣ ва бисёркомпонентии моддаҳо, аз ҷумла омехтаҳои ба реаксияи химиявӣ таъсиркунанда», дар қисми б.9 «Ташаккули асосҳои илмӣ ва ба вучуд овардани усулҳои интенсификатсионии равандҳои гармӣ ва массагузаронӣ».

Соҳт ва ҳаҷми рисола. Рисола аз муқаддима, чор боб, хулосаҳо, рӯйхати адабиётҳо ва замима иборат мебошад. Кор дар **185** саҳифаи матни компютерӣ дарҷ гардида, аз **79** расм **44** ҷадвал, **193** номгӯи адабиёти истифодашуда ва **11** саҳифа замима иборат мебошад.

МАЗМУНИ АСОСИИ РИСОЛА

Дар муқаддима муқаррароти асосии кор оварда шудааст: аҳамияти ин тадқиқот, ҳадафи муқарраршудаи кор, намунаҳои тадқиқот, вазифаҳо, навоариҳои илмӣ ва арзиши амалӣ.

Боби якум ба баррасии натиҷаҳои тадқиқотӣ назариявӣ ва таҷрибавӣи Н-бутан, изобутан, нанонайчаҳои карбонии якҷабата ва бисёрҷабата бахшида шудааст, ки ба мавзӯи пешниҳодшуда ва таҳияшуда, мувофиқ мебошанд.

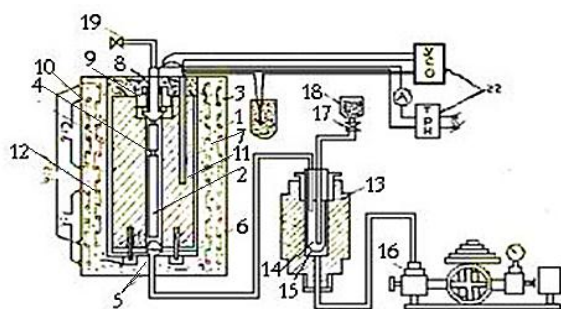
Дар боби дуюм тавсифи схемаҳо, принципҳо ва усулҳои кор, элементҳои асосӣ ва ёрирасони асбобҳои таҷрибавӣ, ки барои тадқиқоти дахлдори таҷрибавӣ истифода мешаванд, тавсифи пурра дода додашудааст. Дар боб инчунин методологияи пурраи ҳисоб кардани хатогиҳои ченкунӣ дар дастгоҳҳои таҷрибавӣ пешниҳодшуда тавсиф карда шудааст.

Дастгоҳи таҷрибавӣ барои чен кардани гармигузаронии моеъҳо ва маҳлӯлҳо дар фишор ва ҳароратҳои гуногун

Омӯзиши гармигузаронии маҳлӯлҳо асосан дар асоси тадқиқоти таҷрибавӣ бо усулҳои статсионарӣ гузаронида мешавад. Бо истифода аз ин усул, мо инчунин як дастгоҳи таҷрибавиро барои омӯзиши гармигузаронии намунаҳо ҷамъ овардем, ки тавсифи он дар поён оварда шудааст. Таҳияи дастгоҳи таҷрибавӣ гуруҳи муҳаққиқони тоҷик бо роҳбарии

профессорҳо Ҳ. Мачидов ва М.М.Сафаров намояндагони мактаби умумии гармофизикон, барои гузарондани таҷрибаҳо оид ба омӯхтани гармигузаронии маҳлӯлҳо, инчунин буғи моеъҳои карбондор коркард карда ва сохта шудааст (расми 1).

Дастгоҳ аз элементҳои зерин иборат аст: бикалориметри силиндри (1). Зарфи фишор-оварандаи фишорбаланд (13), манометри бордори поршендори тамғаи МП-2500 (16), таҷхизотҳои ченкунандаи параметрҳои электрикӣ, маҷмӯи ченкунандаи автоматикунонидашудаи параметрҳои гармофизикӣ АПГ (22). Бикалориметр дар шакли силиндраи мис (1) сохта шудааст, ки дар дохили он як силиндраи мисии дигар (2) бо тарзи коаксиалӣ насб шудааст, ки диаметри он аз диаметри берунӣ хурдтар аст, ки дар натиҷа фазаҳои истифодашаванда барои ҷойгир кардани намуна ба вучуд омадааст. Ҳарду силиндр (ченкунанда ва компенсатсионӣ) ба воситаи ниппел (4) бо ҳам пайваस्त карда шудаанд, дар ҳоле ки компенсатсионӣ ба конуси марказонидашуда (8) пайваस्त карда шуда, ва бо силиндри берунӣ тавассути гайка (9) маҳкам шудааст. Дар қисми поёни конуси ҷафскунанда (5) гузошта шудааст, ки бо фланес (6) ба корпуси силиндр пахш карда шудааст.



Расми 1. Схемати дастгоҳи таҷрибавӣ барои чен кардани гармигузаронии маҳлӯлҳо вобаста аз ҳарорат ва фишор: 1- силиндри берунӣ, 2- силиндри ченкунанда, 3-силиндри компенсатсионӣ, 4-ниппел, 5-конуси поёнӣ, 6-фланес, 7,11-термопараҳо, 8-конуси ҷафскунандаи сараки болоӣ, 9-гайка, 10,12-печи электрикӣ,13-зарфи фишороваранда, 14-халтачаи полиэтиленӣ, 15-глитсерин, 16-манометри бордори намуди МП-2500, 17;19-вентилҳо, 18-истакон.

Барои насби термопараҳо (7, 11) аз болои силиндри берунӣ сӯроҳӣ карда шудааст. Гиреҳи гарми термопараи ченкунанда (11), инчунин гармкунак ба бикалориметр чунон насб карда шудааст, ки аз муҳит бо маводи тадқиқотӣ пурра изолятсия карда шуда ва зери таъсири фишори атмосферӣ мебошад. Ҳарорат дар таҷрибаҳо бо ёрии печи электрикӣ тағйир дода мешавад, ки аз се элементи асосии (10, 13, 14) иборат мебошад. Зарфи фишороваранда (13) аз пӯлоди зангногир (1X18H9T) сохта шудааст. Дурустии кори дастгоҳ бо ченкунониҳои санҷишӣ бо истифода аз эталонҳо (толуол, ҳаво), ки дар ҳароратҳои $T=293$ то 573 К ва фишори атмосфера бо тағйир ёфтани ғафсии қабат ва вақти гузаронидани таҷриба, муқаррар карда шудааст.

Усули рақамии муайянкунии гармигунҷоиши изобарии маҳлӯлҳои тадқиқотӣ дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун

Маълум аст, ки коэффитсиенти гармигузаронии маводҳо (сахт, моеъҳо, газҳо, хӯлаҳо, маводҳои композитсионӣ, ноқилӣ, наномоеъҳо ва ғ.) бо ёрии вобастагии зерин муайян карда мешавад:

$$\lambda(p,T) = C_p(p,T) \cdot \rho(p,T) \cdot a(p,T), \quad \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (1)$$

ин ҷо $\lambda(p,T)$ - гармигузаронии эффективнок, ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$); $C_p(p,T)$ - гармигунҷоиши хоси изобарӣ, ($\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$); $\rho(p,T)$ - зичӣ, (барои маводҳои дона-дона) вобаста аз ҳарорат ва фишор, ($\text{кг}/\text{м}^3$); $a(p,T)$ - ҳароратгузаронӣ, ($\text{м}^2/\text{с}$).

Аз муодилаи (1):

$$C_p(p,T) = \frac{\lambda(p,T)}{\rho(p,T) \cdot a(p,T)}, \quad \text{Ҷ}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \quad (2)$$

Барои он, ки гармиғунҷоиши хоси изобарӣ ҳисоб карда шавад, бузургҳои ҳар се параметрҳои қисми рости муодилаи (2) талаб карда мешавад.

Дар боби сеюм натиҷаҳои таҷрибаҳо оид ба гармиғузaronӣ ва гармиғунҷоиши н-бутани тоза ва изобутан, инчунин бо миқдори муайяни нанонайчаҳои карбонии якҷабата ва бисёрҷабата дар ҳудуди васеи параметрҳои ҳолати (Т, Р) оварда шудааст.

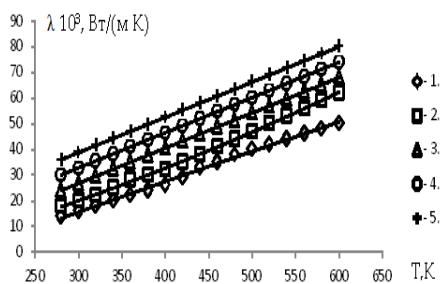
Гармиғузaronии намунаҳои тадқиқотӣ дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун

Дар дастгоҳи таҳияшудаи профессор И.Ф.Голубев (ва аз тарафи профессор Мачидов Ҳ. ДДОТ ба номи Т.Г. Шевченко (ба номи С. Айнӣ) қабул карда шуда) (расми 1) дастгоҳи таҷрибавӣ як қатор ченкуниҳои таҷрибавӣ оид ба гармиғузaronии н-бутан, изобутан ҳам дар намуди тоза ва ҳам бо иловаи нанозаррачаҳо (нанонайчаҳои карбонии якҷабата ва бисёрҷабата) аз 0,1% то 2,5% (бо интервали 0,1-0,5%) дар параметрҳои гуногуни ҳолати $T=(280-630)K$ ва $P=(0,101-29,42)MPa$, ва ҳароратгузаронӣ бо ёрии дастгоҳи таҳияшуда ва патентгирифташудаи профессор Сафаров М.М. ва шогирдони ӯ (Патенти хурди ҚТ №ТJ 292,2010) чен карда шудааст.

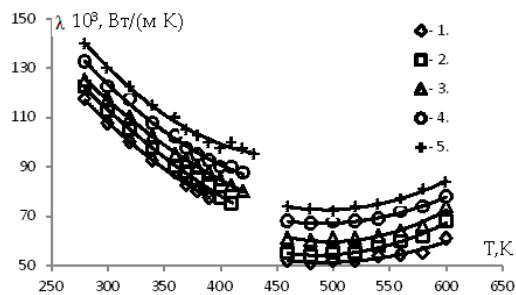
Графики дар расми 2 овардашуда дар асоси маълумотҳои таҷрибавӣ ва адабиёт барои н-бутани газмонанд дар ҳароратҳои гуногун, концентратсияҳои нанонайчаҳои карбонии якҷабта ва фишори атмосферӣ сохта шудааст.

Ҷадвали 2. Гармиғузaronии ($\lambda \cdot 10^3, Wm/(mK)$), системаҳои (н-бутан+1,0% НКЯ) дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун (газмонанд ва моеъгӣ).

Т, К	Фишор Р, МПа					
	0,101	1,96	4,96	9,82	19,61	29,42
280	17,8	119,0	121,2	126,3	130,8	136,7
300	20,2	111,1	112,4	117,3	122,0	128,3
320	22,4	102,3	104,5	109,0	115,6	122,4
340	24,8	95,2	97,2	102,8	110,4	116,3
360	27,3	88,2	90,1	96,3	102,8	111,0
370	28,5	85,2	87,4	93,4	100,0	108,3
380	29,7	82,0	84,5	90,2	97,7	106,0
390	31,1	-	81,8	87,3	95,6	103,5
400	32,4	-	78,8	84,7	93,5	101,5
410	33,7	-	76,6	82,8	91,6	99,8
420	35,0	-	-	-	90,0	98,6
430	37,4	-	-	-	89,3	97,5
440	37,8	42,6	-	-	87,8	96,4
450	39,2	43,5	-	76,8	88,6	95,4
460	40,6	45,4	55,4	75,0	86,8	93,8
480	43,5	42,3	55,1	72,2	84,1	91,5
500	46,4	49,5	55,6	69,3	81,6	89,4
520	49,5	51,3	56,1	68,3	80,6	88,0
540	52,6	54,2	57,9	68,4	80,1	87,5
560	55,7	57,5	60,1	69,3	80,5	87,5
580	59,9	60,5	62,7	70,4	81,3	87,9
600	62,0	63,7	65,5	72,5	81,7	88,3



Расми 2. Графики вобастагии коэффитсиенти гармигузаронии Н-бутани газмонанд ($p = 0, 101$ МПа) бо консенратсияҳои гуногуни нанонайчаҳои карбонии якҷабата (НКЯ) ва ҳарорат: (Намунаи №1 - н-бутан); (Намунаи №2 - (н-бутан+1.0% НКЯ)); (Намунаи №3 - (н-бутан+1.5% НКЯ)); (Намунаи №4 - (н-бутан+2.0% НКЯ)); (Намунаи №5 - (н-бутан+2.5% НКЯ))



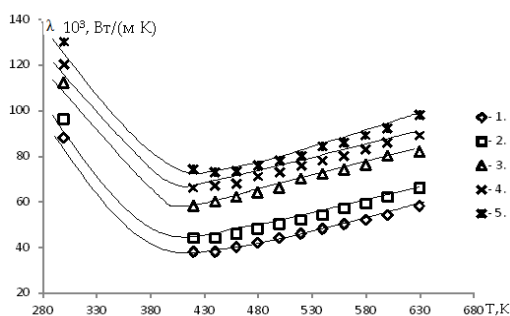
Расми 3. Графики вобастагии коэффитсиенти гармигузаронии Н-бутани моеъ ($p=4,96$ МПа) дар консенратсияҳои гуногуни нанонайчаҳои карбонии якҷабата (НКЯ) ва ҳарорат: (Намунаи №1-н-бутан); (Намунаи №2-(н-бутан+1.0% НКЯ)); (Намунаи №3-(н-бутан+1.5% НКЯ)); (Намунаи №4-(н-бутан+2.0% НКЯ)); (Намунаи №5-(н-бутан+2.5% НКЯ))

Чӣ тавре, ки аз чадвали 2 дида мешавад, графики расми 2 тасвир карда шудааст, гармигузаронии системаи мазкур бо афзоиши ҳарорат ва консенратсияи НКЯ аз рӯи қонуни экспоненсионалӣ зиёд мешавад. Дар расми 3 вобастагии коэффисиенти гармигузаронии эффективноки наномоеъҳои коллоидии системаи н-бутан бо илова намудани консенратсияи гуногуни нанонайчаҳои карбонии якҷабата (НКЯ) (0-2,5%) дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун ($p=4.96$ МПа) нишон дода шуда ва тасвир карда шудааст. Тавре ки аз ин график дида мешавад, дар фишори доимӣ ($p=4,96$ МПа), гармигузаронии наномоеъҳои тадқиқотӣ, яъне системаҳои н-бутан ва нанонайчаҳои карбонии якҷабата дар фазаи моеъ, бо баланд шудани ҳарорат то 410 К, он қариб ба таври хаттӣ кам мешавад ва баъдан бо баланд шудани ҳарорат аз 460 К гармигузаронии системаҳои тадқиқшаванда аз рӯи қонуни экспоненсионалӣ зиёд мешавад, ва он нишон медиҳад, ки дар доираи ин ҳарорати додашуда маҳлӯл дар фазаи газӣ қарор дорад. Дар ҳолати моеъ дар ҳудуди ҳарорати аз 280 то 400К, гармигузаронии система ба таври зерин тағйир меёбад: хангоми ба хунуккунанда 2,5% НКЯ ва $T = 280$ К илова кардан, гармигузаронии система 20,1% меафзояд, дар $T = 390$ К ба 28,6% ва дар $T=410$ К то 36,1% меафзояд.

Муқаррар карда шуд, ки дар фазаи моеъ иловаи НКЯ ба хунуккунанда ба афзоиши гармигузаронии маҳлӯлҳо меорад, ва дар ҳолати буғии хунуккунанда (н-бутан) ба камшавии гармигузаронӣ меорад. Дар ҳудуди ҳароратҳои (460-600) К гармигузаронӣ аз рӯи қонуниятҳои зерин кам мешавад: $T=460$ К, гармигузаронӣ ба 41,3% афзун шуда дар $T=520$ К, гармигузаронӣ ба 40,9% зиёд гардида ва хангоми $T=600$ К ин тағйирот ба 39,9% мувофиқат мекунад.

Тавре ки аз графики расми 4 дида мешавад, дар фишори доимӣ ($p=4,96$ МПа) гармигузаронии наномоеъҳои тадқиқшудаи системаи изобутан (2-метилпропан) дар фазаи моеъ ва нанонайчаҳои карбонии якҷабата бо афзоиши ҳарорат то 450 К аз рӯи қонунияти хаттӣ кам шуда ва баъдан бо баланд шудани ҳарорат аз 460 К гармигузаронии онҳо ба таври экспоненсиалӣ меафзояд, яъне, дар ҳудуди ҳарорати додашуда (460-630)К, наномоеъ ба ҳолати газӣ мегузарад.

Афзоиши консенратсияи (НКЯ) ба зиёдшавии гармигузаронии наномоеъҳои коллоидӣ меорад. Дар фазаи моеъ дар ҳудуди ҳароратҳои (300-410)К гармигузаронии аз рӯи қонуниятҳои зерин тағйир меёбад: дар ҳарорати 300 К ва иловаи нанонайчаҳои карбонии якҷабата то 0,4г. гармигузаронии ба 44,9% меафзояд.



Расми 4. Графики вобастагии коэффитсиенти гармигузаронии изобутани моеъ ва газмонанд ($p=4,96\text{МПа}$) дар консентратсияҳои гуногуни нанонайчаҳои карбонии якқабата (НКЯ) ва ҳарорат: (Намунаи №1-изобутан); (Намунаи №2-(изобутан+1.0%НКЯ)); (Намунаи №3-(изобутан+1.5% НКЯ)); (Намунаи №4-(изобутан+2.0% НКЯ)); (Намунаи №5-(изобутан+2,5% НКЯ))

Барои ошкор намудани гармигузаронии эффективнок миёни изобутан ва н-бутан ба вай нанонайчаҳои карбонии бисёрқабата (НКБ) ба миқдори 2,5% илова карда шуд, чадвали 3.

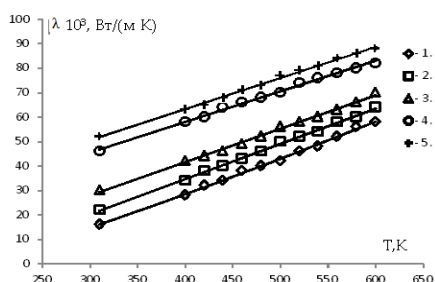
Бо иловаи НКБ коэффитсиенти гармигузаронии эффективноки наномоеъҳои коллоидӣ чунин меафзояд: ҳангоми илова намудани 0,4% нанонайчаҳои карбонии якқабата ва бисёрқабата дар н-бутани аз ҷиҳати химиявӣ тоза дар ҳарорати додашуда (280К) ба 2,0 маротиба зиёд шудани арзиши коэффиенти гармигузаронии эффективноки маҳлӯлҳои хунуккунандаҳо мусоидат мекунад.

Чадвали 3. Гармигузаронии ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м К})$), системаи (н-бутан + 0,1% НКБ) дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун (газмонанд ва моеъгӣ).

Т, К	Фишор P, МПа					
	0,101	1,96	4,96	9,82	19,61	29,42
280	21,5	123,0	125,2	130,3	134,8	140,7
300	24,2	115,1	116,4	121,3	126,0	132,3
320	26,4	106,3	108,5	113,0	119,6	126,4
340	28,8	101,2	101,2	106,8	114,4	120,3
360	31,3	92,2	94,1	100,3	106,8	115,0
370	32,5	89,2	91,4	97,4	104,0	112,3
380	33,7	86,0	88,5	94,2	101,7	110,0
390	35,1	-	85,8	91,3	99,6	107,5
400	36,4	-	82,8	88,7	97,5	105,5
410	37,7	-	80,6	86,8	95,6	103,8
420	39,0	-	-	-	94,0	102,6
430	41,4	-	-	-	93,3	101,5
440	41,8	46,6	-	-	90,8	100,4
450	43,2	47,5	-	80,8	92,6	99,4
460	44,6	49,4	59,4	79,0	90,8	97,8
480	47,5	46,3	59,1	76,2	88,1	95,5
500	50,4	53,5	59,6	73,3	85,6	93,4
520	53,5	55,3	60,1	72,3	84,6	92,0
540	56,6	58,2	61,9	72,4	84,1	91,5
560	59,7	61,5	64,1	73,3	84,5	91,5
580	63,9	64,5	66,7	73,4	83,3	91,9
600	66,0	67,7	69,5	75,5	82,7	92,3

Графики дар расми 6 тасвиршуда дар асоси маълумотҳои таҷрибавӣ ва адабиёт оид ба изобутани газмонанд (2-метилпропан) дар ҳарорат ва консентратсияҳои нанонайчаҳои карбонии бисёрқабатаи гуногун ва фишори атмосферӣ ба даст оварда шудааст. Мувофиқи маълумотҳои расми 6, ки дар асоси таҷрибаҳо оид ба гармигузаронии системаҳои дар боло зикршуда тартиб дода шудааст, ҳам бо баландшавии ҳарорат ва ҳам бо зиёдшавии консентратсияи НКБ ба таври хаттӣ меафзояд. Ҳангоми илова намудани НКБ коэффитсиенти гармигузаронии эффективноки наномоеъҳои коллоидӣ чунин меафзояд: иловаи 2,5%

наноайчаҳои карбонӣ дар изобутани (2-метилпропан) аз ҷиҳати химиявӣ тоза дар ҳарорати 300К гармигузаронии эффективноки хунуккунандаҳо ба 2,6 маротиба зиёд намуда; дар 400 К гармигузаронии маҳлӯл ба 1,17 мартиба, дар T=500К гармигузаронии хунуккунандаи мазкур ба 72,1% ва дар ҳарорати 600К ин зиёдшавӣ ба 51,9% мерасад.



Расми 5. Графики вобастагии коэффициентсенти гармигузарони изобутани (2-метилпропан) дар консентратсияҳои гуногуни наноайчаҳои карбонии бисёрқабата (НКБ) ($p = 0,101$ МПа) ва ҳарорат: Намунаи №1-изобутан (2-метилпропан); Намунаи №2-изобутан (2-метилпропан)+1.0% НКБ; Намунаи №3-изобутан (2-метилпропан)+1.5% НКБ; Намунаи №4-изобутан (2-метилпропан)+2.0% НКБ; Намунаи №5-изобутан (2-метилпропан)+2.5% НКБ.

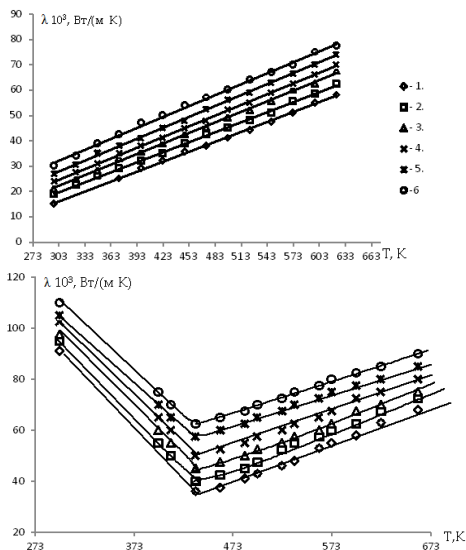
Таъсири нанозаррачаҳои карбонии якқабата (НКЯ) ба тағйирёбии гармигузаронии изобутан (2-метилпропан) (баъди илова намудани нанозаррачаҳо дар муддати 50 соат)

Барои муайян кардани таъсири НКЯ ба тағйирёбии гармигузаронии системаҳои изобутан (2-метилпропан) бе иловаҳо ва бо илова кардани наноайчаҳои карбонии якқабата пас аз 50 соат дар ҳарорати гуногуни (300-660) К ва фишорҳои (0,101-50) МПа (дар ҳолати газӣ ва моеъгӣ), мо дастгоҳи таҷрибавии дар боло зикршударо ва инчунин модели математикиро барои ҳисоб кардани коэффициентсенти гармигузаронии наномоеъҳои тадқиқшаванда истифода бурдем. Натиҷаҳои таҷрибаҳо дар ҷадвали 4 оварда шудааст.

Ҷадвали 4. Гармигузаронии ($\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м К)), системы (изобутан (2-метилпропан) бе иловаи НКЯ ва бо иловаи нанозараи пуркунанда баъди 50 соат нигоҳ доштан дар ҳароратҳои гуногун ва фишори $p = 2,5$ МПа (моеъ ва газ).

T, К	Образец					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
300	92,7	94,8	98,7	102,4	105,0	110,3
400	-	54,9	60,0	64,3	68,9	73,6
420	-	50,4	55,3	59,0	64,5	68,5
440	37,5	41,3	45,4	50,6	57,4	63,0
460	39,2	42,6	46,0	51,8	58,0	64,5
480	42,0	46,0	48,6	54,7	61,8	67,1
500	44,4	47,4	51,9	57,0	64,2	69,4
520	47,0	51,4	54,2	60,2	66,9	72,0
540	50,0	54,3	57,0	63,7	69,7	74,3
560	52,8	57,5	60,7	66,8	74,9	77,5
580	55,4	60,3	63,5	69,3	75,2	79,6
600	58,7	63,7	67,0	72,0	76,9	81,9
630	63,1	66,9	69,7	74,7	81,9	83,0
660	68,2	73,0	76,2	81,5	86,0	90,0

Нам.№1-изобутан (2-метилпропан) х.т.; Нам.№2-изобутан (2-метилпропан) х.т.+0,5%НКЯ; Нам.№3-изобутан (2-метилпропан) х.т.+1,0%НКЯ; Нам.№4-изобутан (2-метилпропан) х.т.+1,5%НКЯ; Нам.№5-изобутан (2-метилпропан) х.т.+2,0%НКЯ; Нам.№6-изобутан (2-метилпропан) х.т.+2,5%НКЯ.



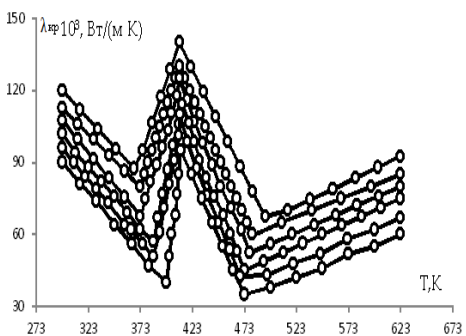
Расми 6. Гармигузаронии изобутани (2-метилпропан) газмонанд бе иловаи НКЯ дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун: 1-буғи изобутан; изобутани моеъ 1- $p=0.101$ МПа; 2- $p=2,5$ МПа; 3- $p=5,0$ МПа; 4- $p=10,0$ МПа; 5- $p=20,0$ МПа; 6- $p=50,0$ МПа

Расми 7. Гармигузаронии изобутани (2-метилпропан) бе иловаи НКЯ ва бо иловани нанозаррачаҳои карбонӣ баъди 50 соат, дар ҳарорат ва фишори $p=2,5$ МПа, консентратсияи НКЯ (0-2,5%). 1-изобутани аз ҷиҳати химиявӣ тоза (2-метилпропан); 2-х.т. изобутан (2-метилпропан)+0,5%НКЯ); 3-х.т.изобутан(2-метилпропан)+1,0%НКЯ); 4-х.т.изобутан(2-метилпропан) + 1,5%НКЯ); 5-х.т.изобутан(2-метилпропан)+2,0% НКЯ); 6-х.т.изобутан(2-метилпропан)+2,5% НКЯ).

Дар расми 7 маълумотҳо оид ба гармигузаронии изобутани (2-метилпропан) аз ҷиҳати химиявӣ тозаи газмонанд ва моеъгӣ дар ҳудуди ҳароратҳои (293-598)К ва фишорҳои ($p=0,101-50,0$)МПа оварда шудааст. Чӣ тавре, ки аз график дида мешавад, гармигузаронии изобутани газмонанд дар ҳудуд ҳароратҳои (298-613)К аз рӯи қонуни хаттӣ зиёд мешавад, ки ба қонуни динамикаи молекулавӣ мувофиқат мекунад. Гармигузаронии изобутани (2-метилпропан) аз ҷиҳати химиявӣ тоза аз фишори атмосферӣ баланд, яъне дар изобараҳои (2,5-50,0)МПа аз рӯи қонуни гипербола тағйир меёбад (расми 8). Дар ҳарорати 293К гармигузаронии изобутани (2-метилпропан) тозаи моеъгӣ нисбат ба газмонанд ҳангоми зиёдшавии фишор ба $p=2,5$ МПа ба 4,7 маротиба зиёд шуда, дар $p=5,0$ МПа ба 4,94, дар 50,0МПа ба 6,63 маротиба зиёд мешавад.

Таъсири нанозаррачаҳои карбонии якҷабата (НКЯ) ба тағирёбии гармигузаронии изобутан (2-метилпропан) дар ҳудуди критикӣ

Ҳангоми иҷро намудани равандҳои технологӣ дар дастгоҳҳои хунуккунандаи ҷисми корӣ (хунуккунанда) ҳуудуди критикиро мегузаранд. Барои ҳисобкунӣҳои гармӣ донишмандони хосиятҳои гармофизикии ҷисми корӣ зарур мебошад. Вобаста ба ин яке аз вазифаҳои асосии дар назди мо истода ин тадқиқи коэффитсиенти гармигузаронии эффективнокии ҷисми корӣ (изобутани моеъ (2-метилпропан)) дар ҳароратҳои гуногун, яъне дар ҳуудуди критикӣ ($p_{кр}=3,6$ МПа ва $T_{кр}=407,9$ К) мебошад. Барои иҷро намудани вазифаи зерин барои мо дастгоҳи таҷрибавӣ бо усули бикалориметри цилиндрикӣ хизмат намуд ва маълумотҳои ба даст омадаи λ оид ба изобутан дар нишондодҳои гуногуни консентратсияи иловашудаи заррачаҳо ва ҳарорат баъди гузаштани 50 соат дар ҷадвали 5 ва дар расми 9 оварда шудааст.



Расми 8. Графики ввобастагии коэффитсиенти гармигузаронии изобутани (2-метилпропан) моеъи аз ҷиҳати химиявӣ тоза ($p_{кр}=3,6$ МПа и $T_{кр}=407,9$ К) дар консентратсияҳои гуногуни нанонайчаҳои карбонии якҷабата (НКЯ) ва ҳарорат: (Намунаҳо: №1-изобутан(2-метилпропан)х.т); (№2-х.т.изобутан(2-метилпропан)+0.5%НКЯ); (№3-изобутан х.т.(2-метилпропан)+1.0%НКЯ); (№4-х.т.изобутан(2-метилпропан)+1.5%НКЯ); (№5-х.т.изобутан(2-метилпропан)+2.0% НКЯ); №6-х.т.изобутан (2-метилпропан)+2.5% НКЯ).

Ҷадвали 5. Гармигузарони ($\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м К)), системаи изобутани (2-метилпропан) моеъ бе иловаи НКЯ ва бо иловаи нанозарраҳои карбонӣ баъди 50 соат дар ҳудуди критикӣ ($p_{кр}=3,6$ МПа и $T_{кр}=407,9$ К).

T, К	Намуна					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
298,5	96,1	99,7	105,0	109,7	114,3	118,9
318,0	85,0	89,4	94,7	100,4	103,5	108,7
330,4	77,4	82,6	88,4	91,3	94,8	100,0
353,2	71,8	77,1	82,8	84,6	88,0	94,8
355,6	64,0	67,2	72,5	77,3	84,1	89,3
468,7	57,5	63,3	67,9	73,4	80,3	90,6
376,8	55,6	59,7	64,5	69,3	80,0	89,4
383,0	53,7	57,0	63,7	85,3	87,5	107,3
388,4	52,5	61,7	65,0	90,0	103,1	113,5
393,0	52,0	61,3	85,1	104,8	105,8	116,0
398,2	54,6	79,2	91,8	106,5	116,5	125,7
403,0	74,5	97,2	102,8	107,4	125,4	131,0
407,9	108,0	113,5	121,3	127,2	132,0	137,3
410,4	86,2	99,0	120,4	124,0	130,0	135,4
412,7	65,4	97,3	118,7	122,4	125,4	135,0
415,5	60,3	97,0	111,4	115,7	118,5	133,4
418,0	50,0	92,4	108,9	112,4	117,6	127,3
423,3	47,6	80,5	102,0	110,1	117,0	125,0
438,0	42,5	49,0	74,5	94,7	103,6	110,6
448,5	40,0	45,6	62,7	84,7	93,7	102,7
460,3	38,2	42,5	48,6	69,9	80,0	92,8
473,0	39,6	42,9	45,9	55,8	67,5	77,6
483,8	39,4	43,7	47,5	53,7	60,2	69,5
488,0	40,6	43,9	49,0	53,0	60,0	69,0
498,5	42,2	46,8	51,3	55,4	61,1	68,4
510,3	45,2	49,3	52,6	57,3	62,3	68,5
535,5	49,8	54,5	60,3	63,0	67,4	74,3
561,4	52,3	56,8	61,0	64,9	70,6	77,0
573,8	56,3	61,3	64,7	70,0	75,8	82,0
600,5	60,5	66,2	70,3	75,1	80,5	87,3
623,4	64,7	69,4	74,0	79,4	85,3	92,0

Намунаҳо: №1-изобутан (2-метилпропан) х.т.; №2-изобутан (2-метилпропан) х.т.+0,5% НКЯ; №3- изобутан (2-метилпропан)х.т.+1,0% НКЯ; №4-изобутан(2-метилпропан)х.т.+ 1,5% НКЯ; №5-изобутан (2-метилпропан) х.т.+2,0% НКЯ.№6-изобутан (2-метилпропан) х.т.+2,5% НКЯ.

Гармиғунҷоиши хунуккунандаҳои системаи (н-бутан, изобутан (2-метилпропан)) дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун

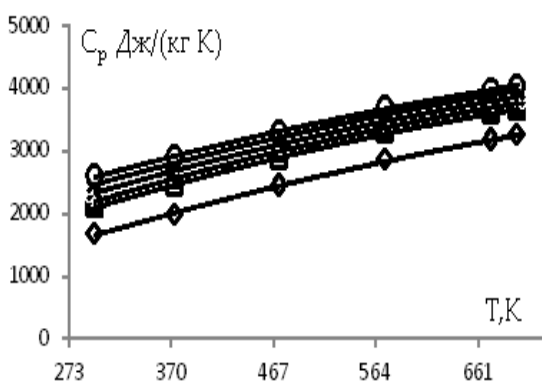
Аз сабаби кам будани маълумот дар бораи гармиғунҷоиш (Ср) чунин хунуккунандаҳо, ба монанди н-бутан ва изобутан 2-метилпропан, мо дар назди худ вазифа гузоштем, ки ин мушкилотро ҳал кунем. Мувофиқи маълумоти пешниҳодшуда, баланд шудани ҳарорат дар фишори атмосферӣ ба тағйирёбии хаттии гармиғунҷоиши намунаҳо мусоидат мекунад (расми 10). Чӣ тавре, ки дар боло қайд карда шуд, ин параметр инчунин метавонад барои параметрҳои гуногуни ҳолат бо истифода аз усулҳои рақамӣ дар асоси бузургҳои мавҷудаи гармигузарониҳои эффективнок, зичӣ ва ҳароратгузаронӣ ҳисоб карда шавад. Бо вучуди ин, мо

ба таҷриба рӯ оварда ва дарвокеъ мо аввалин шуда, таъсири НКЯ ва НКБ-ро ба гармигунчоиши N-бутан ва изобутан пас аз муддати муайян (2 соат ва 30 соат) нигоҳ доштани маҳлулҳои омодашударо ба таври таҷрибавӣ муайян намудем.

Чадвали 6. Гармигунчоиши хоси изобарии ($C_p, \text{Ҷ}/(\text{кг}\cdot\text{К})$) хунуккунандаҳо вобаста аз ҳарорат дар $p=0,101\text{МПа}$ бе илова намудани нанонайчаҳои карбонӣ.

н-бутан						
T, К	298	300	400	500	600	700
C_p	1678,5	1687,4	2132,5	2546,9	2903,2	3210,7
изобутан (2-Метилпропан)						
T, К	298	300	400	500	600	700
C_p	1667,7	1674,9	2144,6	2567,1	2927,5	3232,3

Чӣ тавре, ки аз графики дар расми 10 ва чадвали 6 дида мешавад, иловаи нанонайчаҳо ва афзоиши ҳарорат ба зиёдшавии гармигунчоиши хоси изобарии хунуккунандаҳо (а.ч.х.т. изобутан (2-метилпропан)) мусоидат мекунад. Бо баланд шудани ҳарорат гармигунчоиши изобарӣ гунуккунандаҳои газмонанди (н-бутан ва изобутан)-и тадқиқотӣ аз рӯи қонуниятҳои хаттӣ ва экспоненсионалӣ меафзоянд (гармигунчоиши наномоеъҳои коллоидӣ) аввал аз рӯи қонуни хаттӣ афзуда, ва ҳангоми баландшавии ҳарорат ба тарафи тири X майл меунад, яъне ба тири ҳарорат (T, K).



Расми 9. Графики вобастагии гармигунчоиши изобутани аз ҷиҳати химиявӣ тоза аз ҳарорат ва консентратсияи НКЯ баъди 50 соат аз лаҳзаи илова намудани нанонайчаҳо дар фишори атмосферӣ ($p=0,101\text{МПа}$). Намунаи №1-х.т. изобутан (2-метилпропан) бе иловаи НКЯ; Нам. №2-х.т. изобутан (2-метилпропан) + 0,5% НКЯ; Нам. №3-х.т. изобутан (2-метилпропан) + 1,0% НКЯ; Нам. №4-х.т. изобутан (2-метилпропан) + 1,5% НКЯ; Нам. №5-х.т. изобутан (2-метилпропан) + 2,0% НКЯ; Нам. №6-х.т. изобутан (2-метилпропан) + 2,5% НКЯ.

Ҳисоб намудани гармигузаронии маҳлулҳои тадқиқотӣ дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун (моделҳои Максвелл ва Дулнев)

Маълум аст, ки параметрҳои гармофизикии моддаҳо ва маводҳо бо тағйирёбии бисёр омилҳо ва параметрҳои дигари алоқаманд, масалан, илова кардани нанопуркунандаҳо ва консентратсияҳои онҳо, зичӣ, ҳарорат, фишор ва ғ тағйир меёбанд. Структура, ки чузъҳои ба ҳамдигар воридшаванда аз нуқтаи назари геометрӣ баробарҳуқуқ мебошанд, яъне омехтаҳо дар ҳолатҳои тағйирёбии ҷойҳои компонентҳои таркибии инвариантӣ доранд:

$$\lambda = f_1(\lambda_1, \lambda_2) = f_2(\lambda_2, \lambda_1), m_1 = m_2. \quad (3)$$

Формула барои ҳисоб намудани гармигузаронии чунин структураҳо бо роҳи таҳлили протсессҳои гармиинтиқолдиҳӣ дар ячейкаи элементарӣ ҳосил карда шудааст:

$$\lambda = \lambda_1 [C^2 + v(1 - C)^2 + 2vC(1 - C)(vC + 1 - C)^{-1}], \quad (4)$$

$$v = \lambda_2 / \lambda_1,$$

ин ҷо λ_1, λ_2 – гармигузаронии компонентҳо; C – нишондиҳандаи геометрии модел, ки аз ҳиссаи ҳаҷми компоненти дуюм чунин вобастагӣ дорад:

$$m_2 = 2C^3 - 3C^2 + 1 \quad (5)$$

Барои осонии ҳисоб кардани гармигузаронии омехтаи моеъҳо, ки аз компонентҳои ба ҳам воридшаванда иборатанд, усули пай дар пай ба бинарӣ овардани он истифода мешавад, ки онро дар мисоли омехтаи секомпонента дидан мумкин аст.

Ин чунин ба сифати мисол, барои ҳисоб кардани гармигузаронии нанозаррачаҳои (НКЯ и НКБ; $d_{cp}=40nm$) чун пуркунанда ва маҳлӯлҳои онҳо модели Максвелл-Дулнев дар ҳароратҳои (293-673K) ва фишорҳои (0,101-49,01МПа) истифода бурда шуд (Ҷадвали 7).

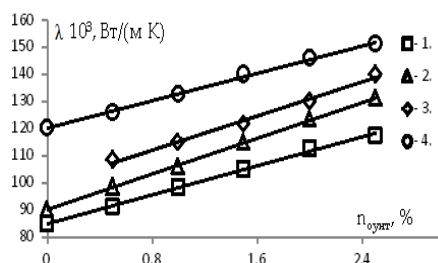
Ҷадвали 7. Муқоисаи маълумотҳои таҷрибавӣ ва ҳисобкуниҳои (модели Максвелл - Дулнев) гармигузаронии ($\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м К)) изобутани моеъ (2-метилпропан) бе иловаи НКЯ ва бо иловаи нанозаррачаҳои карбонӣ баъди 50 соати нигоҳдории маҳлӯл дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун $p=5,0$ МПа.

T, K	Намунаи №1			Намунаи №3			Намунаи №5		
	$\lambda_{таҷ.}$	$\lambda_{ҳис.}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{таҷ.}$	$\lambda_{ҳис.}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{таҷ.}$	$\lambda_{ҳис.}$	$\Delta, \%$
293,3	92,0	92,6	0,68	101,8	103,0	1,18	116,7	119,1	2,1
463,7	38,0	37,5	0,8	54,0	56,2	4,1	74,7	73,4	1,74
628,0	61,3	62,4	1,8	71,7	72,6	2,6	85,8	88,1	2,68

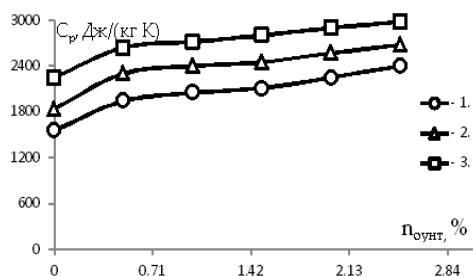
Нам. №1-изобутан (2-метилпропан) х.т.; Нам. №3-изобутан (2-метилпропан) х.т. +1,0% НКЯ; Нам. №5-изобутан (2-метилпропан) х.т. +2,0% НКЯ.

Таъсири нанонайчаҳои карбонии якҷабата ба тағйирёбии хунуккунандаи моеъи изобутан (2-метилпропан)

Дар расмҳои 11 ва 12 маълумотҳо оид ба гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши изобутани (2-метилпропан) аз ҷиҳати химиявӣ тоза ва нанонайчаҳои карбонии якҷабата бо консентратсияи 2,5% нишон дода шудааст. Мувофиқи графикҳо (расмҳои 11 ва 12) ин параметрҳо бо зиёдшавии консентрацияи НКЯ аз рӯи қонунҳои хаттӣ ва парабола меафзоянд. Масалан, дар ҳарорати 293K ва фишори $P=40,0$ МПа иловаи НКЯ аз 0,5 то 2,5% ба зиёдшавии гармигузаронии изобутан (2-метилпропан) ба ҳисоби миёна ба 35,3% ва дар $T=623,9$ K ва $P=40,0$ МПа на 30,4 % меорад.



Расми 10. Таъсири НКЯ ба тағйирёбии гармигузаронии изобутани аз ҷиҳати химиявӣ тоза дар ҳароратҳои гуногун ва фишори ($p=40,0$ МПа) баъди 50 сати нигоҳдории маҳлӯл: 1- $T=298,4$ К; 2- $T=353,6$ К; 3- $T=473,8$ К; 4- $T=623,9$ К



Расми 11. Таъсири НКЯ ба тағйирёбии гармиғунҷоиши изобутани аз ҷиҳати химиявӣ тоза дар ҳароратҳои гуногун ва фишори ($p=19,62$ МПа) баъди 50 соати нигоҳдории маҳлӯл: 1- $T=293$ К; 2- $T=373$ К; 3- $T=473$ К

Дар боби чорум Дар ин боб таҳлили натиҷаҳои таҷрибаҳо оид ба гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши маҳлӯлҳои коллоидии хунуккунандаҳо дар фишор, ҳароратҳо ва консентратсияҳои гуногуни НКЯ ва НКБ дар таркиби онҳо иҷро карда шудааст. Дар натиҷаи таҳлили мувофиқ вобастагии аппроксиматсионии гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши намунаҳо вобаста аз ҳарорат ва фишор ба даст оварда шуданд.

Таҳлили маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши хуноққунандаҳо вобаста аз ҳарорат ва фишор

Вобастагии ҳароратии гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши изобутан ва маҳлӯлҳои коллоидии он бо нанонайчаҳои карбонии як- ва бисёрқабата чунин навишта мешавад:

$$\frac{\lambda_{p,T}}{\lambda_{p,T}^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (6)$$

$$\frac{C_{p,T}}{C_{p,T}^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (7)$$

ин ҷо λ , $C_{p,T}$ – гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши намунаҳо дар параметрҳои гуногуни ҳолат (T , P) ва $\lambda_{p,T}^*$, $C_{p,T}^*$ – бузургҳои гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиш дар ҳароратҳои T ва T_1 ; $T_1=413\text{K}$.

Ифодаи (7) ва системаҳои изобутан (2-метилпропан) + нанонайчаҳои карбонии якқабатаи баррасишаванда, ки хати рост мебошанд, чунин намудро доранд:

$$\lambda_{p,T} = [1.33(T/T_1) - 0.367] \cdot \lambda_{p,T}^* \cdot \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (8)$$

$$C_{p,T} = \left[0.9\left(\frac{T}{T_1}\right) + 0.1\right] \cdot C_{p,T}^* \cdot \frac{\text{Ч}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \quad (9)$$

Аз рӯи натиҷаҳои λ_1 , $C_{p,T}^*$, маълум карда шуд, ки онҳо функсияҳои консентратсияи нанопурқунандаҳо, яъне НКЯ ва НКБ мебошанд.

Дар асоси таҳлили графикӣ, қариб ҳамаи маълумотҳои бадастомада дар хати умумии онҳо (хатти рост ва қач) мувофиқат мекунад, ки онҳоро ба таври рақамӣ чунин тавсиф кардан мумкин аст:

$$\frac{\lambda_{p,T}^*}{\lambda_{p,T}^{**}} = \left[0.022\left(\frac{P}{P_1}\right)^2 + 0.214\left(\frac{P}{P_1}\right) + 0.76\right], \quad (10)$$

$$\frac{C_{p,T}^*}{C_{p,T}^{**}} = 0.214\left(\frac{P}{P_1}\right) + 0.786 \quad (11)$$

Аз рӯи натиҷаҳои таҳлили бузургҳои $\lambda_{p,T}^{**}$ ва $C_{p,T}^{**}$ маълум карда шуд, ки онҳо функсияи консентратсияи нанонайчаҳои карбонии якқабата ва бисёрқабата мебошанд:

$$\lambda_{p,T}^{**} = [4.5(n_{\text{НКЯ}}) + 90.25] \cdot 10^{-3}, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (12)$$

$$C_{p,T}^{**} = (370 \cdot n_{\text{НКЯ}} + 2135), \text{Ч}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \quad (13)$$

Аз муодилаҳои (10) ва (12) ба даст меорем

$$\lambda_{p,T}^* = [0.022\left(\frac{P}{P_1}\right)^2 + 0.214\left(\frac{P}{P_1}\right) + 0.76] \cdot [11.5(n_{\text{НКЯ}}) + 90.25] \cdot 10^{-3}, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}). \quad (14)$$

Аз рӯи ифодаҳои (11) ва (13), ҳосил кардан мумкин аст

$$C_{p,T}^* = [0.214\left(\frac{P}{P_1}\right) + 0.785] \cdot (370 n_{\text{НКЯ}} + 2135), \text{Ч}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \quad (15)$$

Аз муодилаҳои (8) ва (9) бо назардошти (10)-(15) барои рақами муайян кардани гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши хуноққунандаҳои тадқиқотӣ ва маҳлӯлҳои онҳо (изо---бутан (2-метилпропан)+НКЯ) ҳангоми тағйирёбии параметрҳои ҳолат ва консентратсияҳои нанопурқунандаҳо муодилаҳои эмпирикии зеринро ба даст меорем:

$$\lambda_{p,T} = \left\{1.339\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 3.628\left(\frac{T}{T_1}\right) + 3.29\right\} \cdot [0.022\left(\frac{P}{P_1}\right)^2 + 0.214\left(\frac{P}{P_1}\right) + 0.76] \cdot [11.5(n_{\text{НКЯ}}) + 90.25] \cdot 10^{-3}, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \quad (16)$$

$$C_{p,T} = \left[0.9\left(\frac{T}{T_1}\right) + 0.1\right] \cdot [0.214 \cdot \left(\frac{P}{P_1}\right) + 0.786] \cdot (370 n_{\text{НКЯ}} + 2135), \frac{\text{Ч}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}, \quad (17)$$

ин чо $T_1 = 513 \text{ K}$; $P_1 = 29,43 \text{ МПа}$.

Бо муодилаҳои эмпирикии (16) ва (17) ҳисобкуниҳои мувофиқи гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши хоси маҳлулҳои ғайритаҷрибавиро иҷро намудан мумкин аст. Санҷиши муодилаҳои (16) ва (17) натиҷаҳои хуб доданд, яъне ҳисобкуниҳо бо ёрии онҳо бо ҳатогии 2-5% бузургҳои таҷрибавии гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши намунаҳои тадқиқоти ро дар ҳудуди ҳароратҳои (293-653) К нишон доданд.

Алоқамандӣ гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши наномоеъҳои тадқиқотӣ дар фишори атмосферӣ

Барои нишон додани алоқамандӣ нисбии гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши маводҳои тадқиқотӣ дар зери таъсири фишори атмосферӣ, мо барои коркарди маълумотҳои таҷрибавии вобастагии функционалии зеринро истифода бурдем:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{C_{p,T}}{C_{p,T}^*}\right), \quad (18)$$

ин чо λ , $C_{p,T}^*$ – мувофиқан гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши маводҳои омухташаванда дар ҳароратҳои гуногуни T ; λ_1 , $C_{p,T}^*$ – мувофиқан гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши маводҳо дар ҳарорати T_1 , ки ба $T_1 = 413 \text{ K}$ мувофиқ меояд.

Иҷрошавии вобастагии функционалии (18) барои намунаҳои мо намуди зеринро дорад

$$\lambda = \left[2\left(\frac{C_p}{C_p^*}\right) - 0,98\right] \cdot \lambda_1, \frac{\text{Вт}}{(\text{м.К})}, \quad (19)$$

Гармигузаронии маҳлулҳои изобутан бо НКЯ дар ҳарорати T_1 намуди зеринро дорад:

$$\lambda_1 = [0,0018 (n_{\text{НКЯ}})^2 + 0,0045 (n_{\text{НКЯ}}) + 0,1314], \frac{\text{Вт}}{(\text{м.К})}, \quad (20)$$

Мувофиқи ифодаи (19) бо назардошти (20) ҳисобкунии гармигузаронии системаҳои тадқиқотӣ вобаста аз гармиғунҷоиш дар ҳарорати T_1 , ки 413К қабул шуда ва дар фишори атмосфера ба таври зерин иҷро карда мешавад:

$$\lambda = \left[2\left(\frac{C_p}{C_p^*}\right) - 0,98\right] (0,0018 (n_{\text{НКЯ}})^2 + 0,0045 (n_{\text{НКЯ}}) + 0,1314), \frac{\text{Вт}}{(\text{м.К})}. \quad (21)$$

Ифодаи (21) барои ба таври рақамӣ муайян кардани гармигузаронии маводҳои таҷрибавӣ омухташуда (хунуккунандаҳо ва маҳлулҳои он бо НКЯ), бо назардошти гармиғунҷоиши онҳо, инчунин тағирёбии консентратсияи нанопуркунандаҳо бо ҳатогии 2,0-4,2% пешбинӣ шудааст.

Таҳлили маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронии хунуккунандаҳои тадқиқотӣ дар ҳудуди критикӣ

Барои ба даст овардани вобастагии аппроксиматсионии гармигузаронии хунуккунандаҳои аз ҷиҳати химиявӣ тозаи изобутан (2-метилпропан) дар ҳудуди критикии параметрҳои ҳолат мо ифодаи зерини (22)-ро дар намуди ҳолати мувофиқоварӣ ва маълумотҳои таҷрибавӣ, ки дар асоси дастгоҳи таҷрибавӣ, яъне бикалориметри цилиндрикӣ ҳосил карда шуда буд, истифода бурдем:

$$\frac{\lambda_{\text{кр}}}{\lambda_{\text{кр}}^*} = f\left(\frac{T}{T_{\text{кр}}}\right), \quad (22)$$

ин чо $\lambda_{\text{кр}}$ – гармигузаронии маҳлулҳои тадқиқотии хунуккунандаҳо дар асоси изобутан ва н-бутан дар ҳароратҳои гуногуни T , К; $\lambda_{\text{кр}}^*$ – гармигузаронии маҳлулҳои аз ҷиҳати химиявӣ тоза дар ҳарорати $T_{\text{кр}}$; $T_{\text{кр}} = 407,9 \text{ K}$.

Натиҷаҳои корҳои таҷрибавии маълумотҳои ба дастамада оид ба гармигузаронии хунуккунандаҳои аз ҷиҳати химиявӣ тозаи изобутан (2-метилпропан), ҳам бе илова ва

инчунин бо иловаи нанонайчаҳои карбонии як- ва бисёрқабата нишон доданд, ки дар ҳудуди критикӣ ($T_{кр}$ ва $P_{кр}$) ҳам фишори беруна таъсир мекунад.

Муодилаи хатҳои каҷ маълум шуд, ки ба нишондиҳандаҳои дараҷа дар намуди зерин итоат мекунад:

$$\lambda = \lambda_{кр} \{A(T/T_{кр})^2 + B(T/T_{кр}) + C\}, \text{ Вт/(м·К)} \quad (23)$$

Бузургиҳои коэффитсиентҳои A , B ва C дар муодилаи (23) дар поён (ҷадвали 8) оварда шудааст.

Ҷадвали 8. Бузургиҳои коэффитсиентҳои A , B ва C дар муодилаи (23) барои хатҳои каҷ.

Коэффитсиентҳо	$p=2,5\text{МПа}$	$p=5,0\text{МПа}$	$p=10,0\text{МПа}$	$p=20,0\text{МПа}$	$P=50,0\text{МПа}$
A	4,844	3,328	2,476	1,52	1,19
B	-11,472	-8,232	-6,030	-3,91	-2,926
C	7,765	5,899	4,507	3,41	2,83
Расм	4,25	4,26	4,27	4,28	4,29
Ҳаҷиги ҳисобкунии муодила, бо %	~7,65	~4,41	~2,84	~1,22	~1,036
Ҳаҷиги умумии миёнаи квадратии ҳисобкунии муодилаи (23)					~3,43%

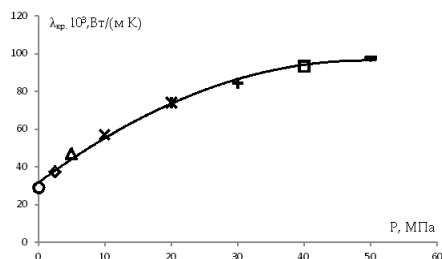
Таҳлили бузургии коэффитсиенти гармигузаронии изобутани (2-метилпропан) аз ҷиҳати химиявӣ тоза дар ҳудуди критикӣ $\lambda_{кр}$ нишон дод, ки вай функцияи фишор мебошад. Ҷӣ тавре, ки аз графика дар расми 13 овардашуда, дида мешавад, коэффитсиенти гармигузаронии эффективнок дар ҳудуди критикӣ бо баланшавии фишор аз рӯи қонуни гипербола меафзояд.

Муодилаи ин хати каҷ (расми 13) намуди зеринро дорад:

$$\lambda_{кр} = -2,03 \cdot 10^{-5} p^2 + 2,086 \cdot 10^{-3} p + 4,376 \cdot 10^{-2}, \text{ Вт/(м·К)} \quad (24)$$

Муодилаи (24) бо назардошти муодилаи (26), ба монанди ифодаи зерин навиштан мумкин аст:

$$\lambda = \{A(T/T_{кр})^2 + B(T/T_{кр}) + C\} [-2,03 \cdot 10^{-5} p^2 + 2,086 \cdot 10^{-3} p + 4,376 \cdot 10^{-2}], \text{ Вт/(м·К)}. \quad (25)$$

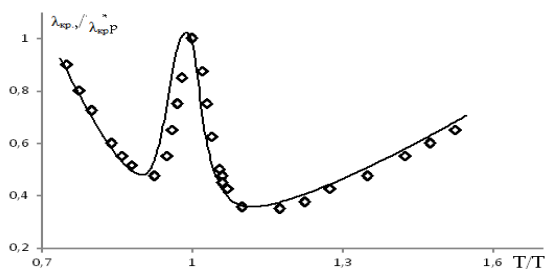


Расми 12. Вобастагии ($\lambda_{кр}$) изобутани (2-метилпропан) аз ҷиҳати химиявӣ тоза аз фишор :1- $p=0,101$ МПа, 2- $p=2,5$ МПа, 3- $p=5,0$ МПа, 4- $p=10,0$ МПа, 5- $p=20,0$ МПа, 6- $p=30,0$ МПа, 7- $p=40,0$ МПа, 8- $p=50,0$ МПа

Бо ёрии муодилаи эмпирикии (25) коэффитсиенти гармигузаронии эффективноки системаҳои изобутан (2-метилпропан)-ро дар ҳудуди параметрҳои ҳолатҳои критикӣ бо ҳаҷиги миёнаи квадратии ~ 3,25% ҳисоб кардан мумкин аст.

Моделсозии рақамии ҳарорати ҳамшавӣ пеш аз ва баъд аз ҳарорати критикӣ

Барои ба даст овардани муодилаи ягонаи эмпирикии хунуккунандаҳо бо иловаи аз 0 то 2,5% НКЯ дар ҳудуди фазаи гузариш (ҳудуди критикӣ), мо инчунин ифодаи зерини (23)-ро истифода бурдем. Иҷрошавии қонуни мувофиқоварии ҳолат (23) барои ҳудуди критикӣ ($p_{кр}=3,6\text{МПа}$ ва $T_{кр}=407,9$ К) дар намуди график дар расми 14 нишон дода шудааст. Мувофиқи натиҷаи таҷрибаҳо, ки дар расми 14 нишон дода шудааст, ғайр аз ҳудуди критикӣ хунуккунандаҳои системаҳои изобутан ва нанонайчаҳои як – ва бисёрқабата боз ду нуқтаи ҳамшавӣ дорад, ки маълум шуд, ки аз консентратсияҳои нанонайчаҳо дар маҳлӯл вобаста мебошанд



Расми 13. Вобастагии $\left(\frac{\lambda_{кр}}{\lambda_{кр}^*}\right)$ аз $\left(\frac{T}{T_{кр}}\right)$ барои хуунуккунандаҳои моеъи тоза- изобутани (2-метилпропана) аз ҷиҳати химиявӣ тоза бе иловани НКЯ дар ҳудуди критикӣ ($T_{кр}=407,9$ К, $p_{кр}=3,6$ МПа)

Дар асоси ҳисобкуниҳои адади маълум карда шуд, ки илова намудани нанопуркунандаҳо ба ҳарорати критикӣ хуноккунандаи тадқиқотӣ таъсир нарасонида, фақат сабаби қачшавӣ то ва баъди ҳудуди критикӣ мешавад.

Дар замима вариантҳои чадваликунонидашудаи натиҷаҳои муқоисаи таҷрибаҳо ва ҳисобкуниҳои дар асоси таҳлил ва коркарди маълумотҳои таҷрибавӣ бо усулҳо ва роҳҳои дар боби чоруми рисолаи мазкур овардашудааст оварда шудааст. Инчунин дар замимаи кор санадҳои татбиқ, имконияти амалӣ гардондани хосиятҳои гармофизикии мавоҳои корӣ дар ҳуудуди васеи тағйир ёфтани параметрҳои ҳолатро тасдиқ мекунанд, оварда шудааст.

ХУЛОСАҲО

1. Маҷмӯи автоматикунонидашудаи ченкунии гармиғунҷоиш ва коэффитсиенти гармигузаронии хуноккунандаҳои тадқиқотӣ – н-бутан, изобутан (2-метилпропан) ва маҳлӯлҳои он бо наноақчаҳои карбонии як – ва бисёрқабата дар ҳудуди васеи тағйирёбии параметрҳои ҳолат таҳия карда шуд [2-М, 3-М, 4-М, 8-М, 10-М, 15-М].

2. Татбиқи усули гармкунии монотонии речаи гармии мунтазами навъи дуҷум, барои чен кардани гармиғунҷоиш ва усули α -калориметрӣ барои чен кардани ҳароратгузаронии хуноккунандаҳои тадқиқотӣ бо илова кардани наноақчаҳои карбонӣ дар ҳудудҳои гуногуни тағйирёбии ҳарорат фишор нишон дода шуд аст [1-М, 2-М, 3-М, 4-М, 5-М, 6-М, 7-М, 8-М, 10-М].

3. Дар асоси назарияи молекуляр-кинетикӣ вобастагии гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши наномоеъҳои тадқиқотӣ аз ҳарорат, фишор ва консентратсияҳои НКЯ ва НКБ шарҳ дода шуд аст. [5-М, 6-М, 7-М, 8-М, 9-М, 10-М, 11-М, 12-М, 13-М, 14-М].

4. Муқаррар карда шуд, ки бо илова кардани 0,5% НКБ дар изобутани тоза дар $T=300$ К гармигузаронӣ ба 75,3% ва дар $T=630$ К $\Delta\lambda=22,3\%$ меафзояд. Тағйирёбии сифатӣ ва миқдории гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши изобутани (2-метилпропан) ҳам аз ҷиҳати химиявӣ тоза ҳам бо доштани 2,5% наноақчаҳои карбонии якқабата ва бисёрқабата бо тағйирёбии фишор, ҳарорат ва консентратсияи массавии нанопуркунанда оварда шуд [6-М, 8-М, 10-М, 12-М, 14-М, 15-М, 16-А, 17-А, 18-М].

5. Ҳангоми коркард ва таҳлили маълумотҳои таҷрибавӣ вобастагиҳои аппроксиматсионии алоқамандкунандаи гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши хуноккунандаҳо аз консентратсияҳои наноақчаҳои карбонии якқабата ва бисёрқабата (НКЯ ва НКБ), ҳароратҳо ва фишор ба даст оварда шуд аст [1-М, 2-М, 3-М, 5-М, 8-М, 9-М, 10-М, 13-М, 14-М, 15-М].

6. Нишон дода шуда, ки бо истифода аз модели математикии бузургиҳои гармигузаронии эффекивноки маҳлӯлҳои системаҳои моеъ ва газмонанди н-бутан ва изобутан (2-метилпропан) ва наноақчаҳои карбонии якқабата ҳангоми истифода аз сохтори модели доройи ҷузъҳои ба ҳам воридшаванда (модели Максвелл-Дулнев) ба даст оварда шуд. Натиҷаҳои ҳисобкунии коэффитсиенти гармигузаронӣ хуноккунандаҳои тадқиқотӣ нишон доданд, ки истифодабарии модели мазкур бе гузаронидани таҷрибаҳо коэффитсиенти

гармигузаронии махлӯлхоро ба даст овардан мумкин аст [13-М, 14-М, 15-М, 16-М, 17-М, 18-М].

7. Дар асоси моделсозии динамикаи равандҳои нобаробар коэффитсиенти гармидиҳӣ ба даст оварда шуд, ки бо илова намудани нанозарраҷаҳо коэффитсиенти гармидиҳӣ мувофиқи қонуни ҳаттӣ зиёд мешавад. Истифодаи амалии натиҷаҳои бадастомада дар технологияи наномоеъҳо барои ҳисобҳои муҳандисии равандҳо ва дастгоҳҳои истехсоли химиявӣ, моделсозии динамикаи равандҳои нобаробар пешниҳод карда шуда, дар асоси он коэффитсиенти гармидиҳӣ байни системаҳо ва муҳити атроф ба даст оварда шуд аст [9-М, 10-М, 11-М, 12-М, 13-М].

Тавсияҳо оиди дурномаи рушди минбаъдаи мавзӯи таҷқиқоти кори рисола:

1. Чадавҳои муфассали гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши хунуккунандаҳои системаҳои (н-бутан, изобутан (2-метилпропан) + нанонайчаҳои карбонии якҷабата ва бисёрҷабата) дар ҳудудҳои қалони ҳароратҳо (293-673)К, фишорҳо (0,101–49,01)МПа, инчунин концентратсияи массавии нанопуркунандаҳо (аз 0 то 2,5%) баъди 2 то 50 соати нигоҳдории иловаҳо дар хуунуккунанда, таҷбиқи худро дар таҷҳизотҳои технологӣ, дастгоҳҳои гармимубодилакунанда ва табдидиҳандаҳои гармӣ ва ғайра ёфтаанд, тартиб дода шудааст.

2. Вобастагҳои аппроксиматсионӣ бо самаранокии зарурӣ донишҷӯён, магистрҳо ва аспирантони кафедраи “Физикаи умумӣ”-и Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни ва кафедраи “Техника ва энергетикаи гармо”-и ДТТ ба номи акад. М.С.Осимӣ ҳангоми амалӣ гардонидани корҳои таълимӣ ва илмӣ-таҷқиқотӣ худ истифода мебаранд.

3. Натиҷаҳои таҷқиқотҳои таҷрибавии гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши хунуккунандаҳои таҷқиқотиро барои муайянкунии рақамии коэффитсиенти ғайриқабатаҳои ҳар як компонент, наномоеъҳои омехташанда истифода бурдан мумкин аст.

4. Вобастагҳои аппроксиматсионии ба даст омадари барои ҳисобкунӣ ва пешгӯии тавсифҳои гармофизикӣ ва термодинамикии махлӯлҳои дар амал таҷқиқ нашуда дар ҳудудҳои васеи тағйирёбии ҳарорат, фишор ва концентратсияи НКЯ ва НКБ, ки имкони барои лоиҳакашии маводҳои системаҳои конденси медиҳад, асос мегузорад.

5. Маълумотҳои таҷрибавие, ки дар рафти таҷқиқот ба даст оварда шудаанд, инчунин модели математикии ҳисоб кардани тағйироти параметрҳои гармофизикӣ ба кам шудани масрафи таҷрибаҳои баландарзиш ва ба даст овардани таҷҳизоти мувофиқи баландарзиш мусоидат мекунад.

НОМГҶҶИ ҚОРҶОИ ЧОПШУДА ДАР МАВЗҶҶИ РИСОЛА

Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмии ҚОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон чоп шудаанд:

[1-М].Джумаев, С.С. Уравнение состояния Мамедова–Ахундова–Сафарова электролитов системы H_2O+TiO_2 при различных температурах и давлениях./ Ф.Д. Исмонов., Х.М. Маджидов., А.А. Хубатхузин., А. Неъматов., С.С. Джумаев // Вестник ТНУ, 2020. -№3. - С 127-135.

[2-М].Джумаев,С С. Влияние одностенных углеродных нанотрубок на изменение теплопроводности изобутана при различных температурах и давлении./ М.М. Гуломов С.С. Джумъаев, М.М. Сафаров // Известия АН РТ 2020. -№4 (181). – С. 49-62.

[3-М].Джумаев, С.С. Влияние одностенных углеродных нанотрубок на изменение изобарной теплоёмкости н-бутана в газообразной и жидкой фазе/ С.С. Джумаев// Вестник Технологический университет таджикистан. 2021. № 4(47). - С. 23-30

Мақолаҳои дар маводҳои конференсияҳо ҷопшуда:

[4-М].Джумаев, С.С. Экспериментальные исследования теплопроводности жидких углеводородных смесей при добавке в них наполнителей/ Вестник филиала московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе// 2019. № 1,3(3).-С. 46-55.

[5-М].Джумаев, С.С. Влияние фуллеренов C_{60} и C_{70} на изменение тепловой активности паров углеводородных теплоносителей/ Вестник филиала московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе// 2019. № 1,3 (3). – С. 55-62

[6-М].Джумаев, С.С. Вклад нанотрубок OCSIAI и сажи на поведение реологических и термодинамических свойств простых эфиров и хладагентов. // Д.Ш. Хакимов, М.М. Сафаров, М.М.Гуломов, Б.А.Тимеркаев, А.Р. Раджабов, Х.Х. Ойматова, З.К. Хусайнов, С.С.Рафиев, С.С. Джумаев, Ш.Р. Сафаров. /материалы 6 Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосбережение и эффективность в технических системах”, Тамбов, 3-5 июня 2019.- С.169-170.

[7-М].Джумаев, С.С. Новый способ получения тепла и электричества в условиях Таджикистана.// Ф. Абдужалилзода, С.Х. Мирзоев, М.М. Сафаров, М.М. Гуломов, Х.Х. Назаров, Р.Дж. Давлатов, А.Р. Раджабов, С.С. Рафиев, М.А. Зарипова, Д.Ш. Хакимов, Б.М. Махмадиев, Д.А. Назримадов, С.С.Джумаев, Б.Г.Файзиев./ Материалы 6 Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосбережение и эффективность в технических системах”, Тамбов, 3-5 июня 2019.- С.178-179.

[8-М].Джумаев, С.С. Комплексная солнечная установка для получения тепловой и электрической энергии/ С.С. Джумаев, М.М. Сафаров, Ф. Абдужалилзода, А.Р. Раджабов, С.С. Рафиев, и др// Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов международной конференции 15-20 сентября 2019 г. Махачкала, - С.420-422.

[9-М].Джумаев, С.С. Температуропроводность металлических материалов в турбонасосных агрегатах в поле центробежных сил/ С.С. Джумаев., М.М. Гуломов., М.М. Сафаров// Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов международной конференции 15-20 сентября 2019 г. Махачкала,- С.170-172.

[10-М].Джумаев, С.С. Влияние температуры, давления и концентрации многостенных нанотрубок на изменение теплофизических свойств теплоносителей и хладагентов/ С.С. Джумаев., М.М. Гуломов, М.М. Сафаров//Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов международной конференции. 15-20 сентября 2019 г. Махачкала,- С.167-169.

[11-М].Джумаев, С.С. Влияние наночастиц OCSIAL и сажи на изменение термодинамических свойств простых эфиров и хладагентов/М.М.Сафаров, С.С.Джумаев, М.М. Гуломов// Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов международной конференции 15-20 сентября 2019 г. Махачкала,- С.180-182.

[12-М].Джумаев, С.С. Взаимосвязь между теплоёмкостью и коэффициентом адсорбции пористого гранулированного оксида алюминия с различной концентрацией металла/С.С. Джумаев., А.Г. Мирзомамадов., Ф. Абдужалилзода., М.М. Сафаров//Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов международной конференции 15-20 сентября 2019 г. Махачкала,- С.176-179.

[13-М].Джумаев, С.С. Реологические свойства растворов на основе бензола с учетом изменения концентрации нанокompозитов (H_2N_2) С.С. Джумаев., М.М. Гуломов., М.М. Сафаров., Т.Р. Тиллоева., З.К. Хусейнов/ Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов международной конференции 15-20 сентября 2019 г. Махачкала.-С.173-175.

[14-М].Джумаев, С.С. Влияние наночастиц с эффектами памяти на поведение теплопроводности композитных материалов и хладагентов / М.М.Сафаров., М.М. Гуломов, С.С. Джумаев// Республиканская научно-практическая конференция, посвященная «Двадцать

тилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» на тему «Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физики» (г. Душанбе, 19 февраля 2020), - С.55-57.

[15-М].Джумаев, С.С. Влияние углеродных нанотрубок на изменение теплопроводности изобутана//М.М. Сафаров, М.М. Гуломов/Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума, посвященного 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума "Современные задачи инженерных наук". Москва, 2021,- С. 196-199. (ISTS "EESTE-2021").(Scopus).

[16-М].Джумаев, С.С. Влияние одностенной углеродной нанотрубки на изменение теплопроводности некоторых хладагентов/Ю.Ф.Гортышов, М.М. Сафаров, М.М. Гуломов, С.С.Джумаев//Сборник статей первой международной научно-практической конференции “Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения”, посвященной памяти профессора Баситовой Саодат Мухаммедовной, 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности доктора химических наук, профессора Азизкуловой Онаджон Азизкуловной. (ТНУ, Душанбе, 30-31 марта 2022 г.) – С. 358-364.

[17-М].Джумаев, С.С. Экспериментальная установка для получения зависимости удельной теплоемкости жидкостей и растворов от температурных параметров состояния системы/ М.М. Сафаров, М.М. Гуломов//Материалы Республиканской конференции «Роль современных методов анализа в развитии науки и производства» ТНУ, 5 октября 2022. Душанбе. - С. 62-67.

[18-М].Джумаев, С.С. Влияние одностенных углеродных нанотрубок на изменение удельной изобарной теплоемкости и теплопроводности жидкого н-бутана// М.М. Сафаров, М.М. Гуломов, Ф. Абдужалилзода// Материалы 13 международной теплофизической школы «Теплофизика и информационные технологии» 17-19 октября 2022г. Душанбе-Тамбов. - С. 109-113.

Патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон

[19-М]. Джумаев, С.С., Сафаров М.М., Гуломов М.М., Мирзоева К. Саидзода К.Б., Сафаров Ш.Р., Ойматова Х.Х., Собиров Дж.Ф., Тиллоева Т.Р., Мирзоева К., Умарзода Ш.У., Абдуназаров С.С., Хакимов Д.Ш. Способ определения теплопроводности твердых тел. Малый патент Республики Таджикистан № 2101553 аз 03.05.2021, №ТJ 1185 от 27 сентября 2021г. 7с.

АННОТАЦИЯ

к диссертации Джумаева Саиджахфара Сафаралиевича на тему: «Влияние углеродных нанотрубок на изменение теплопроводности и теплоемкости хладагентов при различных температурах и давлениях, включая критическую область», представленной на сискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Ключевые слова: изобутан, хладагент, одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ), многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ), теплопроводность, теплоемкость.

Проведены опытные исследования по теплопроводности (λ), изобарная теплоемкости (C_p) образцов системы изобутан с добавкой одно- и многостенных углеродных нанотрубок (до 2,5%) в интервале изменения температуры (280-630)К и давлений (0,101-49,01)МПа; Получены эмпирические и корреляционные зависимости $\lambda = f(C_p)$, P - λ - T ; По итогам опытных исследований и с помощью аппроксимационных зависимостей были реализованы тепловые расчеты парогенераторов и холодильных установок.

Теоретическая и практическая значимость работы: Составлены подробные таблицы ТФС технически важных веществ (растворов изобутана) при температурах от 293К и до 630К, а также изменениям давления от 0,101МПа и до 49,01МПа, которые предложены для применения проектным организациям и в различных химико-технологических процессах в теплоэнергетической и машиностроительной промышленности. Результаты проведенных исследований по теплопроводности и теплоемкости растворов изобутана внедрены в Институте промышленности Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан при выполнении расчетов модельных реакторов и технологических процессов при создании холодильных установок, а результаты опытов представлены в качестве справочных (акт внедрение прилагается). Предложенные установки для измерения теплоемкости и теплопроводности растворов используются в научной и учебной лабораториях кафедры «Теплотехника и теплоэнергетика» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими, на кафедре общей физики Таджикского государственного педагогического университета имени С. Айни различными деятелями разных уровней науки при выполнении диссертационных работ и студентами при выполнении дипломных, курсовых, а также и лабораторных работ.

Личный вклад автора заключается в установлении задач, выборе соответствующих методик при их решении, выявлении основных закономерностей протекающих процессов на момент исследования выбранных образцов, выполнении экспериментов на разработанных и апробированных устройствах по получению данных по их теплоемкости и теплопроводности. Все результаты настоящей работы получены автором под руководством научного руководителя - заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора технических наук, профессора М.М. Сафарова.

Область применения: промышленность, учебный процесс вузов, а также в качестве справочных данных и оптимизация физических и математических моделей, химического производства и летательных аппаратов.

ШАРҲИ МУХТАСАР

ба рисолаи Ҷумъаев Саидҷаҳфар Сафаралиевич дар мавзӯи “Таъсири нанонайчаҳои карбонӣ ба тағйирёбии гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши хунуккунандаҳо дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун, бо назардошти ҳудуди критикӣ”, барои дарёфти унвони илмии номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 01.04.14 – Физикаи ҳароратӣ ва назарияи техникаи гармо

Калидвожаҳо: изобутан, хунуккунанда, нанонайчаҳои карбонии якҷабата (НКЯ), нанонайчаҳои карбонии бисёрҷабата (НКБ), гармигузаронӣ, гармиғунҷоиш.

Тадқиқотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ (λ), гармиғунҷоиши хос (C_p) намунаҳои системаҳои изобутан бо иловани нанонайчаҳои карбонии якҷабата ва бисёрҷабата (то 2,5%) дар ҳуудудҳои тағйирёбии ҳарорат (280-630)К ва фишорҳои (0,101-49,01)МПа гузаронида шуд; Ба даст овардани вобастагиҳои эмпирикӣ ва кореллятсионии $\lambda = f(C_p)$, P- λ -T. Дар асоси натиҷаҳои тадқиқотҳои таҷрибавӣ ва бо ёрии вобастагиҳои апроксиматсионӣ ҳисоб-қуниҳои гармии генераторҳои буғӣ ва дастгоҳҳои хунуккунанда ба амал бароварда шуданд.

Аҳамияти амалӣ ва назариявии кор: Ҷадвалҳои муфассали ХГМ моддаҳои аз ҷиҳати техникӣ муҳим (маҳлулҳои изобутанӣ) дар ҳароратҳои аз 293К то 630К, инчунин тағйирёбии фишорҳо аз 0,101 МПа то 49,01 МПа, ки барои истифода дар ташкилотҳои лоиҳакашӣ ва дар равандҳои гуногуни кимиёвӣ ва технологӣ дар энергияи ҳароратӣ ва саноати мошинсозӣ пешниҳод карда мешаванд. Натиҷаҳои тадқиқотҳои гузарондашуда оид ба гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши маҳлулҳои изобутан дар Институти саноати Вазорати саноат ва технологияи навини Ҷумҳрии Тоҷикистон барои ҳисобқуниҳои реакторҳои намунавӣ ва равандҳои технологӣ ҳангоми сохтани дастгоҳҳои хунуккунанда татбиқ шуда ва натиҷаҳои тадқиқот бошад ба сифати маълумотномаҳо истифода мешаванд. Дастгоҳҳои пешниҳодшуда барои ҷенкунии гармиғунҷоиш ва гармигузаронии маҳлулҳо дар озмоишгоҳҳои илмию таълимии кафедраи “Техника ва энергетикаи гармо” –и Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ, дар кафедраи физикаи умумии Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ дар зинаҳои гуногуни фаъолияти илмӣ ҳангоми иҷро намудани рисолаҳо ва аз ҷониби донишҷӯён ҳангоми иҷро намудани корҳои дипломӣ, курсӣ, инчунин корҳои озмоишӣ истифода мешаванд.

Саҳми шахсии муаллиф аз гузоштани вазифаҳо, интихоби усулҳои мувофиқи ҳалли онҳо, муайян кардани қонунҳои асосии равандҳои ҷорӣ дар вақти омӯзиши намунаҳои интихобшуда, гузаронидани таҷрибаҳо дар дастгоҳҳои таҳия ва санҷидашуда барои гирифтани маълумот дар бораи гармиғунҷоиш ва гармигузарони онҳо иборат аст. Ҷамаи натиҷаҳои рисола аз тарафи муаллиф таҳти роҳбарии — Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори илмҳои техникӣ, профессор М.М Сафаров ба даст оварда шудааст.

Соҳаи истифодабарӣ: саноат, раванди таълимии донишгоҳҳо, инчунин ба сифати маълумотномаҳо ва оптимизатсияи моделҳои физикӣ ва математикӣ, саноати химиявӣ ва таҷҳизотҳои ҳавопаймо.

Abstract

**to the dissertation of Dzhumaev Saidzhakhfar Safaralievich on the topic:
“The effect of carbon nanotubes on the change in the thermal conductivity and heat capacity of refrigerants at various temperatures and pressures, including the critical region”, submitted for the degree of candidate of technical sciences in the specialty
04.01.14 - Thermal physics and theoretical heat engineering**

Keywords: isobutane, refrigerant, single-walled carbon nanotubes (SWCNTs), multi-walled carbon nanotubes (MWNTs), thermal conductivity, heat capacity.

Experimental studies on thermal conductivity (λ), heat capacity (C_p) of samples of the isobutane system with the addition of single- and multi-walled carbon nanotubes (up to 2.5%) were carried out in the range of temperature (280-630)K and pressure (0.101-49.01) MPa; Empirical and correlation dependences $\lambda = f(C_p)$, $P - \lambda - T$ were obtained; Based on the results of experimental studies and with the help of approximation dependences, thermal calculations of steam generators and refrigeration plants were implemented.

Theoretical and practical significance of the work:. Detailed tables of TPS of technically important substances (solutions of isobutane) at temperatures from 293K to 630K, as well as pressure changes from 0,101MPa to 49,01MPa, which are proposed for use by design organizations and in various chemical and technological processes in the thermal power and engineering industries . The results of studies on the thermal conductivity and heat capacity of isobutane solutions were implemented at the Institute of Industry of the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Tajikistan when performing calculations of model reactors and technological processes when creating refrigeration plants, and the results of the experiments are presented as reference (the act of implementation is attached). The proposed installations for measuring the heat capacity and thermal conductivity of solutions are used in the scientific and educational laboratories of the Department of Thermal Engineering and Thermal Power Engineering of the Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi, at the Department of General Physics of the Tajik State Pedagogical University named after S. Aini dissertations and by students in the course of graduation, coursework, as well as laboratory work.

The author's personal contribution consists in setting tasks, choosing appropriate methods for solving them, identifying the main patterns of ongoing processes at the time of the study of selected samples, performing experiments on developed and tested devices to obtain data on their heat capacity and thermal conductivity. All the results of this work were obtained by the author under the guidance of the supervisor - Honored Worker of Science and Technology of Tajikistan, Doctor of Technical Sciences, Professor M.M. Safarov.

Scope: industry, the educational process of universities, as well as reference data and optimization of physical and mathematical models, chemical production and aircraft.

Подписано в печать 30.01.2023
Формат 60x84 1/16, тираж. 100 экзем.
Отпечатано в типографии ТТУ
г. Душанбе.