

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН  
ДОНИШГОНҶИ ДАВЛАТИИ ОМУЗГОРИИ ТОҶИКИСТОН  
ба номи С. Айни**

*Бо ҳуқуқи дастнавис*



**РУД 536.24(575.3)**

**РАҶАБОВА Дилафруз Шҳзодовна**

**ТАЪСИРИ НАНОНАЙЧАҶОИ КАРБОНӢ БА ТАҒЙИРӢБИИ ГАРМИГУЗАРОНӢ ВА  
ҶАРОРАТГУЗАРОНИИ ЭФИРИ ДИӢТИЛИ МОЕЪ БО НАЗАРДОШГИ СОҶАҶОИ  
БӢХРОНИ ВА БАЪДИ БӢХРОНИ**

**Автореферати**

рисола барои дарёфти дарҷаи илмии номвади илмӣи техникаи аз рӯи ихтисоси  
01.04.14 - Физикаи гармо ва назарияи техникаи гармо

**Душанбе - 2024**

Рисола дар кафедраи “Физикаи умумӣ”-и Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ иҷро карда шудааст.

Роҳбари илмӣ:

Сафаров Маҳмадали Маҳмадиевич - Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, академики байналмиллатии муҳандиси (АБМ), академики Академияи муҳандисӣ (АМ ҶТ), доктори илмҳои техника, профессор

Муқарривони расмӣ:

Шарифов Абдумунин – дотсент, номзади илмҳои техникӣ, Мудири Ҷӯбаи Энергетикаи гидрогени Институти химияви ба номи В.И. Никитини Академияи Миллии Ҷумҳурии Тоҷикистон;

Ғафоров Сатор - дотсенти кафедраи физикаи умумӣ ва назариявии Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи А.Рӯдакӣ;

Муассисаи пешбар:

Ҷимояи диссертатсия рӯзи “15” Апрели соли 2024, соати 14<sup>00</sup> дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D КОА-041 назди Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ, хиёбони академикҳо Рачабовҳо 10а баргузор мегардад, e-mail: [ds6d.koa.041@yandex.ru](mailto:ds6d.koa.041@yandex.ru)

Бо матни пурраи диссертатсия метавонед дар китобхонаи илмӣ ва соҳнаи интернетии Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ <http://ttutj> шинос шавед

Автореферат санаи «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_соли 2024 ирсол шудааст.

Котиби илмӣ

шӯрои диссертатсионӣ 6D КОА-041,  
номзади илмҳои техникӣ, дотсент

Тағоев С.А.

## ТАВСИФҶОИ УМУМИИ РИСОЛА

**Мубрамяти мавзӯ** Омӯзиши хосиятҳои физикӣ-химиявӣ, гармофизикӣ (зичӣ, гармиғунҷоиш, гармиғузaronи ва ҳароратғузaronӣ), характеристикаҳои термодинамикӣ ва кинетикии моддаҳо таърихи тӯлонӣ доранд. Аммо дар солҳои охир ин тадқиқотҳо характери сифатан нав пайдо кардаанд.

Яке аз роҳҳои дурнамои самараноки равандҳои гармидиҳӣ баланд бардоштани гармиғузaronӣ ва ҳароратғузaronии моеъҳо гармибаранда (моеъ) бо роҳи ба он илова кардани заррачаҳои саҳти гармиғузaronии баланддошта мебошад. Тадқиқотҳои сершумор нишон доданд, ки истифодаи заррачаҳои микрон ва наноандоза метавонанд на ба самаранокӣ, балки баръакс, ба кам шудани гармиғузaronӣ аз ҳисоби кам кардани турбулентатсияи фазаи дисперсия оварда мерасонад (Pakhonov, 2007).

Дар айни замон, гурӯҳҳои сершумори тадқиқотӣ дар кишварҳо, аз монанди ИМА, Корея, Чин, Ҷопон, Англия ва ғайра хосиятҳои наномоеъҳоро фаъолона меомӯзанд ва шумораи настрияҳо дар бораи наномоеъҳо, махсусан дар даҳсолаи охир, ба таври экспоненсиалӣ афзоиш ёфтааст (Choi, 2009).

Аз ҷумла, монографияҳо (Das, 2007) ва як қатор мақолаҳои тафсири ба таъри расидаанд, ки доираи васеи масъалаҳоро аз хосиятҳои маҳаллии наномоеъҳо то имкониятҳои татбиқи амалии онҳоро фаро мегиранд (Das, 2007, Vǎng, Mijumdar, 2007, Yu, 2007, Chi, 2008, 2009, Wang, Wei, 2009, Chandrasekar, 2009, Rudyak, 2000 ва ғайра) саволе ба миён меояд, ки тадқиқотчиён ба қадом хосиятҳои наномоеъҳо барои пурзӯр кардани гармиинтиқолдиҳӣ умед мебаранд? Маълум аст, ки ин пеш аз ҳама гармиғузaronии баланди назардошта вобаста мебошад.

Рисола ба омӯзиши гармиғузaronӣ ва ҳароратғузaronии эфери диэтил ҳам дар намуди тоза ва ҳам бо миқдори муайяни нанонайчаҳои карбонӣ (ННЯҚ) ва (ННБҚ) (0,1-0,5) % дар ҳудуди ҳароратҳои (293-673) К аз ҷумла дар ҳудудҳои бӯҳронӣ ва баъди бӯҳронии параметрҳои ҳолат бахшида шудааст.

Омӯхтани объектҳои гармофизикии тадқиқотӣ бо шани *координатсионии* корҳои муҳимгарини тадқиқотӣ оид ба проблемаи комплекси «Физикаи гармӣ»-и Академияи миллии фанҳои Тоҷикистон дохил карда шудааст.

**Объектҳои тадқиқотӣ:** Эфери диэтил ва нанонайчаҳои карбонии (ННЯҚ) ва (ННБҚ) (НЯҚ) ва (НБҚ).

**Мақсади рисолаи илмӣ:** таҳия ва сохтани дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои чен кардани гармиғузaronӣ ва ҳароратғузaronии системаҳои эфери диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ (НЯҚ ва НБҚ) (то 0,5%) дар ҳудуди ҳароратҳои (293-673) К бо назардошти ҳудудҳои бӯҳронӣ ва баъди бӯҳронии параметрҳои ҳолат.

### **Вазифаҳои тадқиқот:**

1. Такмили дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои чен кардани гармиғузaronӣ, ҳароратғузaronии маҳлӯлҳо дар бузургиҳои гуногуни параметрҳои ҳолат, бо назардошти ҳудудҳои бӯҳронӣ ва баъди бӯҳронӣ;
2. Ба даст овардани маълумотҳои таҷрибавии гармиғузaronӣ ва ҳароратғузaronии маҳлӯлҳои коллоидии системаҳои эфери диэтил дар ҳудуди ҳароратҳои (293-673) К ва фишורי критикии (3,68) МПа;
3. Вобаста намудани гармиғузaronӣ ва ҳароратғузaronии эфери диэтили тозаи тадқиқотӣ ва маҳлӯлҳои коллоидии он аз ҳарорат, фишор ва консентратсияи массивии нанонайчаҳои карбонӣ (то 0,5% ННЯҚ ва ННБҚ);
4. Ба даст овардани вобастагиҳои аппроксиматсионӣ, ки алоқамандии гармиғузaronӣ ва ҳароратғузaronии намунаҳои тадқиқотиро бо ҳарорат, фишор ва хусусиятҳои махсуси сохтори маҳлӯлҳои коллоидии тадқиқотиро муқарар менамоянд, Патенти ҚТ №ТТ 274-10.2010 ва №ТТ 275-10.2010
5. Омӯзиши равандҳои гармиинтиқолдиҳӣ дар маҳлӯлҳои коллоидӣ (эфери диэтил ва нанонайчаҳои карбонии ННЯҚ ва ННБҚ).

### **Навгониҳои илмӣ рисола инҳо мебошанд:**

1. Дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои тадқиқи гармигузаронӣ (бо усули нокили тафсон Патенти Ҷумҳурии Тоҷикистон №923, 2017.-5с) ва бикалориметри силиндрикӣ – автоматикунонида шуда, зарфи фишрораванда) ва ҳароратгузаронӣ (усули акалориметрӣ) тақмил дода шуданд. Ҳангоми ҷамъоварӣ ва васли дастгоҳҳо хусусиятҳои конкретии маҳлӯлҳо ба назар гирифта шуданд, ки барои онҳо талаботҳои нави конструкторӣ ва методӣ талаб карда шуд.
2. Маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии компонентҳои тозаи эфири диэтил бо иловаи нанонайчаҳои карбонӣ (то 0,5% НЯК ва НБК) дар ҳудуди ҳароратҳои (203-73) К ва фишори (3,68) МПа, бо назардошти ҳудудҳои бӯҳронӣ ва баъди бӯҳронии параметрҳои ҳолат ба даст оварда шудааст.
3. Вобастагиҳои аппроксиматсионӣ барои ҳисоб намудани гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлӯлҳои коллоидӣ ба даст варда шуд. Аз рӯи натиҷаҳои маълумотҳои таҷрибавӣ ва вобастагиҳои аппроксиматсионӣ ҳисобкуниҳои ҳароратӣ гузаронида шудааст.
4. Ҷадвалҳои маълумотҳои таҷриба оид ба гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронӣ маҳлӯлҳои коллоидитадқиқотӣ дар ҳудудҳои бӯҳронӣ ва баъди бӯҳронӣ тартиб дода шуд.
5. Усулҳои ҳисобкунии гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронӣ барои маҳлӯлҳои тадқиқотӣ таҳия карда шудааст.

### **Ба Ҷимоя не шикҳод карда ме шаванд:**

1. Вариантҳои нави дастгоҳҳои таҷрибавӣ ва имкониятҳои асосноккарда шудаи татбиқи онҳо барои тадқиқи гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлӯлҳои коллоидии тадқиқотӣ дар ҳудудҳои бӯҳронӣ ва баъди бӯҳронии параметрҳои ҳолат.
2. Маҷмӯи автоматикунонида шудаи гармофизикӣ, ки бо ёрии он гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлӯлҳо дар параметрҳои васеи ҳолат чен карда ме шаванд.
3. Маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлӯлҳо (эфири диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ) дар ҳудуди ҳароратҳои (293-673) К ва фишори бӯҳронии (3,68) МПа.
4. Усулҳои ҳисобкунии гармигузаронии маҳлӯлҳои коллоидӣ дар асоси эфири диэтили моеъ ва таҳлили раванди интиқоли гармӣ дар объектҳои тадқиқотӣ.
5. Вобастагиҳои аппроксиматсионӣ барои ҳисобкунии гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлӯлҳои коллоидии тадқиқотӣ дар ҳудудҳои васеи ҳарорати критикӣ ва фишори критикӣ.

### **Аҳамияти назариявӣ ва амалӣ рисола:**

1. Ҷадвалҳои мушаххаси хосиятҳои гармофизикии маводҳои аз ҷиҳати техникӣ муҳим (дар асоси эфири диэтил) дар ҳудуди васеи ҳарорат (293-673) ва фишори (3,68) МПа тартиб дода шуд, ки ташилотҳои лоиҳакашӣ метавонанд дар равандҳои гуногуни технологӣ истифода баранд.
2. Натиҷаҳои тадқиқи гармигузаронӣ, ҳароратгузаронии маҳлӯлҳои коллоидии эфири диэтил дар Институти саноати Вазорати саноат ва технологияи нави Ҷумҳурии Тоҷикистон дар ҳисобкуниҳои амсиласозии реакторҳои химиявӣ ва равандҳои технологӣ татбиқи ҳидро ёфта, инчунин маълумотҳои таҷрибавӣ ба даст омада ба сифати маълумотномаҳо истифода ме шаванд.
3. Дастгоҳҳои таҷрибавӣ таҳия шуда метавонанд дар муайянкунии босуръати гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маводҳои технологӣ дар озмоишгоҳҳои гуногун истифода шаванд.
4. Таҷҳизоти барои чен кардани гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлӯлҳои коллоидӣ дар озмоишгоҳҳои таълимӣ ва илмӣ кафедраи Техника ва энергетикаи гармои Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад МС Осимӣ, инчунин дар кафедраи Физикаи умумии Донишгоҳи давлатии омӯзгорӣ Тоҷикистон ба номи С Айнӣ хизмат мекунад. Бо ин таҷҳизотҳо аспирантҳо, магистрантҳо ва омӯзгорон ҳангоми иҷрои рисолаҳои илмӣ, корҳои озмоишӣ, курсӣ ва дипломӣ метавонанд истифода баранд.

5. Санади татбиқ аз Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад МС Осимӣ ва Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С Айни Ғирифта шудааст (санади татбиқ пешниҳод карда мешавад).

**Дарачаи эътимодноки ва санҷиши натиҷаҳо. Эътимоднокии натиҷаҳои тадқиқот бо инҳо таъмин карда мешавад:**

- ✓ бо истифода аз дастгоҳҳои санҷида шуда ва озмоишшудаи натиҷаҳо бо такрор шавандагии баланди натиҷаҳои таҷриба;
- ✓ мувофиқати натиҷаҳои ҳозира бо маълумотҳои намоёне, ки дар натиҷаи тадқиқи новобастаи дигар усулҳои таҳлили физикӣ-химиявӣ ба даст омада;
- ✓ таъминоти пурраи метрологии дастгоҳҳои ченкунанда; истифодаи дурусти назарияи андозагирӣ ва назарияи хатогиҳо; бо истифода аз асбобҳо ва дастгоҳҳои стандартии санҷида шуда; такроршавандагии натиҷаҳои ба даст омада; мувофиқати қаноатбахш байни натиҷаҳои ҳисобшудаи гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронӣ, гармиғунҷоиш коэффитсиенти адсорбсия, коэффитсиенти массадиҳӣ ва зичии ҳисобкуниҳои ададии суръати афғиши нанозарраҳо ва муайян кардани андозаҳои онҳо, аз ҷумла диаметри нанозарраҳо бо маълумотҳои таҷрибавӣ;
- ✓ модели дурусти математикии равандҳои физикӣ ва дастгоҳи математикии собит шуда барои ҳалли ададии муодилаҳои дифференсиалии гармӣ-ва массаинтиқолдиҳии модели Максвелл (гармигузаронӣ), Дулнев (гармигузаронӣ), Ленард – Чонс (гармигузаронӣ), Тейта (зичӣ), муодилаи Мемедов –Ахундов (зичӣ) (амжиласозии компютерӣ);

**Татбиқи натиҷаҳои рисола.** Натиҷаҳои тадқиқот барои истифода қабул карда шуданд дар Институти тадқиқоти-илмӣ саноатии Вазорати саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон ва дар раванди таълим дар Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик МС Осимӣ барои ихтисоси «Энергетикаи гармӣ» (санад оид ба натиҷаҳои татбиқ пешниҳод мешавад).

**Саҳми шахсии муаллиф инҳо мебошад:** гузоштани мақсад, интихоби усулҳо ва коркарди алгоритмҳои ҳалли масъалаҳои дар рафти кор ба миён омада, коркард ва таҳлили натиҷаҳои ба даст оварда шуда, таҳияи хулосаҳои асосии рисола, интихоби воситаҳо ва усулҳои ноил шудан ба мақсади кор, таҳлили натиҷаҳои тадқиқот, ҷамъбасти хулосаҳои таҳияшуда, навиштан ва напри мақолаҳо ва фишурдаи мақолаҳо.

Ҳамаи натиҷаҳои рисола аз ҷониби муаллиф шахсан таҳти роҳбарии роҳбари илмӣ ба даст оварда шудааст.

**Усулҳои асосии тадқиқоти илмӣ.** Ҳангоми иҷрои рисола барои ба даст овардани маълумотҳо усули бикалориметри цилиндрикӣ, усули ноқили тафсон (гармигузаронӣ) ва акалориметрӣ (ҳароратгузаронӣ), гармжунии мунтазами чинси якум, гармжунии монотонӣ ва калориметри сабткунанда (гармиғунҷоиш) ва усули барқшкунии гидростатикӣ (дастгоҳи К Д Гусейнов ва шғирдони ӯ), назарияи монандӣ, бастаи барномаҳои Сигмаплот, Excele ва ғайраҳо истифода бурда шудааст. Усули ҳосил намудани ҷараёни гармӣ ва электрикӣ (Патент РТ №Т 919), усули монандии термодинамикӣ, қонуни мувофиқоварии ҳолат пешниҳод карда шуд.

**Баррасии натиҷаҳои рисола.**

Натиҷаҳои асосии рисола дар конференсияҳои мазкур гузориш ва муҳокима карда шуданд.

*4 International computer simulation, China, (2017); 1-ум конференсияи байналмиллалии илмӣ-амалии “Технологияҳои иттилоотӣ дар назорат ва моделсозии системаҳои меҳатроника” (ИГУММС-2017); Конференсияи байналмиллалии илмӣ-амалии «Иттиқолият асоси руиди соҳаи энергетикаи кишвар вилояти Хаттон, ҷаҳри Бохтар, Ҷумҳурии Тоҷикистон ба рӯзи энергетикҳо бахшида мешавад 22-23 декабр (2017); Конференсияи байналмиллалии «Масъалаҳои актуалии физикаи муосир» ба 80-солагии хотираи Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори илмҳои физика-математика, профессор Назриев Б Н бахшида мешавад, Душанбе, (2018); Конференсияи Ҷумҳуриявии илмӣ-амалии “Техника ва технология: масъалаҳои асосӣ, дастовард ва инноватсия”, Душанбе, 16 май (2018); 20<sup>th</sup> Symposium*

on Thermo-physical Properties, in Boulder, Colorado, June 24-29, (2018); XV Joint European Thermodynamic Conference. Barcelona 21<sup>st</sup>-24<sup>th</sup> May (2019); Конференсияи Ҷумҳуриявии илмӣ-назариявӣ дар мавзӯи «Асосҳои инкишоф ва пешрафтаҳои илми химия дар Ҷумҳурии Тоҷикистон», ба 60-солагии факултети химия ва хотираи д.и.х., профессор, академики АМИ ҶТ Нумонов Ишанқул Усманович бахшида мегардад (12-14 сентябр 2020); Конференсияи байналмиллалӣ илмӣ-амалии “Энергетикаи Тоҷикистон. Проблемаҳои сарфаи энергия, самаранокӣ энергия ва истифодаи манбаҳои барқароршавандаи энергия” ба 30-солагии истиқлолияти ҶТ, 90-солагии ДЭМ ва 100-солагии нақшаи ГОЭЛРО бахшида мегардад. Филиали ДЭМ дар ш. Душанбе - (2021);

**Интишорот.** Дир ба мавзӯи рисола 23 мақола, аз ҷумла 6 мақола дар маҷаллаҳо, ки ба рӯйхати Комиссияҳои олии аттестатсионии Вазорати маориф ва илми Ҷумҳурии Тоҷикистон дохиланд, панҷ патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ва 13 фишурдаи мақолаҳо, ки дар маводҳои конференсияҳои илмӣ-техникии байналмиллалӣ ва умумироссиягӣ ба таърифи расидаанд.

**Сохтор ва ҳаҷми рисола.** Рисола аз сарсухан, чор боб, хулосаҳо, рӯйхати адабиётҳои истифодашуда ва замима иборат мегардад. Кор дар ҳаҷми 161 саҳифаи матни компютерӣ нашр шудааст. Вай аз 49 расм, 30 ҷадвал ва 136 номгӯи адабиёти истифодашуда ва замима (18 саҳифа) иборат мегардад.

## МУНДАРИҶАИ АСОСИИ КОР

**Дар боби якум** тавсифҳои асосии объектҳои тадқиқотӣ (эфири диэтил ва нанопуркунадаҳо) ва шарҳи адабиётҳои овардашудааст.

**Дар боби дуюм** тавсифҳои тарҳи дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои тадқиқи гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлулҳои коллоидӣ дар асоси эфири диэтили моеъ дар консентратсияҳои гуногуни нанонайчаҳои карбонӣ (НЯР) ва (НБК) дар параметрҳои гуногуни параметрҳои ҳолат бо назардошти речаҳои бӯхронӣ ва баъди бӯхронӣ, инчунин баҳодиҳии хатогҳои маълумотҳои таҷрибавӣ тавсиф дода шудааст. Дар боби маъмур инчунин тарҳ ва тавсифи маҷмӯи автоматикунонидашудаи гармофизикӣ, ки барои чен кардани гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлулҳои коллоидии тадқиқотӣ бо назардошти ҳудудҳои бӯхронӣ ва баъди бӯхронии параметрҳои ҳолат истифода мегардад, оварда шудааст.

**Боби сеюм** ба даст овардани маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлулҳои коллоидии дар асоси эфири диэтил ҳам дар намуди тоза ва ҳам бо иловаи консентратсияҳои гуногуни нанонайчаҳои карбонӣ дар ҳудудҳои васеи ҳарорат ва фишор бо назардошти ҳудудҳои бӯхронӣ ва баъди бӯхронии параметрҳои ҳолат бахшида шудааст.

**Дар боби чорум** таҳлил ва коркарди маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлулҳои коллоидии тадқиқотӣ вобаста аз ҳарорати критикӣ ва фишори критикӣ оварда шудааст. Дар замима ҷадвалҳои муфассали муқоисавии гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии эфири диэтил оварда шудааст, ки аз рӯи вобастагҳои тахминии пешниҳодкардаи муаллиф ҳам дар шакли тоза ва ҳам бо консентратсияҳои гуногуни нанонайчаҳои карбонӣ (ННЯҚ ва ННБК) вобаста ба ҳарорат ва фишор бо маълумоти таҷрибавӣ оварда шудааст. Маълумотҳои ибтидоӣ барои баҳодиҳии миқдории хатогии ченкунии гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии объектҳои тадқиқотӣ оварда шудааст.

**Дар замима** санадҳои иҷроия оид ба тадқиқи хосиятҳои гармофизикии ҷисми корӣ дар ҳудуди васеи тағирёбии параметрҳои ҳолат, аз ҷумла дар ҳудуди бӯхронӣ ва баъди бӯхронии параметрҳои ҳолат, инчунин ҷадвалҳои ҳисобкунии хатогҳои вобастагҳои аппроксиматсионӣ оварда шудааст.

**Рисола дар Ҷонишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни иҷро карда шудааст**

Барои ноил шудан ба ҳадафи кори маъмур мо вазифа гузоштем, ки равандҳои гармофизикии маҳлулҳо бо наноиловаҳо ва таҳлили равандҳои таҷрибавӣ ва ҳисобкунии тадқиқ карда

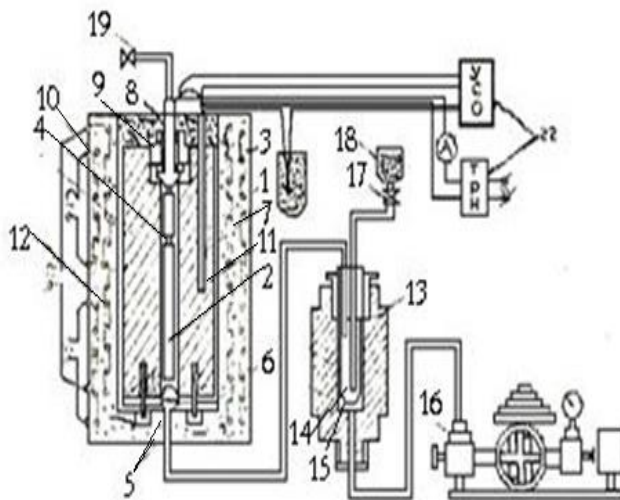
шаванд. Объектҳои тадқиқотӣ маҳлулҳои суспензия ва коллоидии системаи нанонайчаҳои карбони ва эфири диэтил мебошад. Ба сифати нанопуркуандаҳо ННЯК ва НБК дар ҳолати аморфӣ истифода шудааст.

Ҷисмҳои кори зерин дида баромада шуд:

- Эфири диэтил (аз ҷиҳати химиявӣ тоза)
- Эфири диэтил + ННЯК (протсентҳои гуногуни наноҳока);
- Эфири диэтил + ННЯК (протсентҳои гуногуни наноҳока).

### Дастгоҳи таҷрибавӣ барои ҷен кардани гармигузаронии моеъҳо ва маҳлулҳо дар фишор ва ҳароратҳои гуногун

Дастгоҳи таҷрибавӣ бо усули бикалориметри силиндриқии речаи гармии мунтазами ҷинси якум барои тадқиқи гармигузаронии маҳлулҳо вобаста аз ҳарорат ва фишор дар расми 1 нишон дода шудааст.

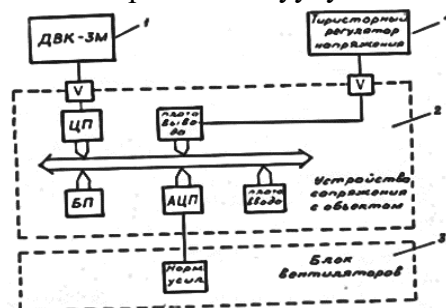


**Расми 1** – тарҳи дастгоҳи таҷрибавӣ барои ҷен кардани гармигузаронии маҳлулҳо вобаста аз ҳарорат ва фишор: 1 – силиндри беруна; 2 – силиндри ҷенкуанда; 3 – силиндри ҷубронкуанда; 4 – найчаи пайвастукуанда; 5 – конуси поёнӣ; 6 – фланетс; 7, 11 – термопараҳо; 8 – конуси ҷафскуандаи сараки поёнӣ; 9 – гайка; 10, 12 – печи барқӣ; 13 – зарфи фишораваранда; 14 – халтачаи полиэтиленӣ; 15 – глицерин; 16 – манометри борупоршандори намуди МП-2500; 17, 19 – ҷумакҳо; 18 – истакон.

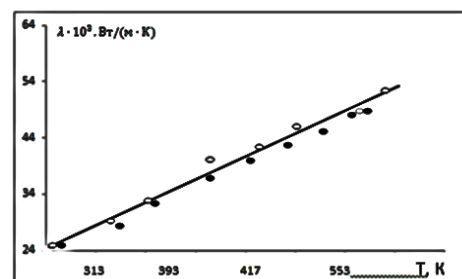
Маҷмуи гармофизикии автоматикунонида шудаи таҳиякардаи мо (расми 2), ба силиндри бикалориметри пайваст шудааст барои гузаронидани тадқиқоти гармиинтиқолдиҳӣ дар муҳитҳои ғайриҷинса дар ҳуудуди ҳароратҳои (203-673) К таъин карда шудааст.

Маҷмуъ аз маҷмуи компютери интерактивӣ иборат аст КФ (1); дастгоҳҳо барои интерфейс бо объекти УСО (2); ба эътидол овардани қувватдиҳандаҳо бо блоки швмолдиҳақҳо БВ (3); блоки танзимгари тавоноии тиристор; дастгоҳҳо барои тадқиқи хосиятҳои гармофизикӣ ва параметрҳои самараноки гармиинтиқолдиҳӣ иборат мебошад.

Маълумотҳои таҷрибавии гармигузаронии ҳаво барои ҷенкунии якмаротибагӣ ба намудри графикӣ дар расми 3 оварда шудааст. Ҷӣ таввуре, ки аз расми 3 дида мешавад, маълумотҳои таҷрибавии ба даст овардаи мо оид ба гармигузаронии ҳаво бо маълумотҳои адабиёт дар тамоми ҳуудудҳои ҳарорат хуб мувофиқат мекунанд.



**Расми 2** – Блок-тарҳи маҷмуи гармофизикии автоматикунонида шуда.



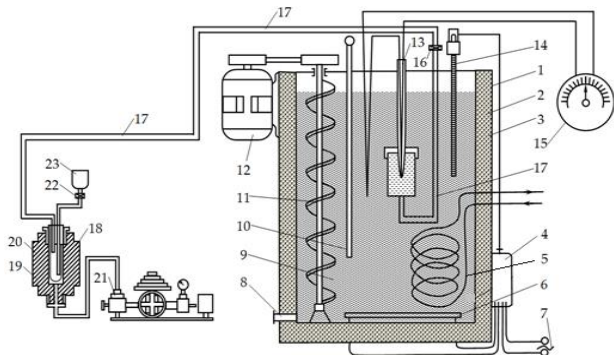
**Расми 3** – Муқоисаи маълумотҳои таҷрибавии ҳаво бо маълумотҳои адабиёт: о – маълумотҳои адабиёт; ● – маълумотҳои мо.

Ҳисобкуниҳо нишон доданд, ки ҳатогҳои максималии нисбии маълумоти таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ ҳангоми эҳтимолияти эътимоднокии  $\alpha = 0,95$  аз 4,2% зиёд нест.

Механизми асосии дастгоҳ, муодилаи ҳисобкунӣ ва усули гузаронидани таҷриба муфассал дар рисола оварда шудааст.

### Таҷҳизот барои муайян кардани ҳароратгузаронии наномоеъҳо.

Дар дастгоҳҳои таҷрибавӣ, ки дар расми 1 нишон дода шудааст (барои чен кардани гармигузаронии моеъҳо бо усули речаи мунтазами гармии чинси якум); расми 4 (барои чен кардани коэффитсиенти ҳароратгузаронии моеъҳо бо усули акалориметрӣ), (расми 4), (усули барқашкунии гидростатикӣ) му гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии системаҳои тадқиқшавандаро дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун аз ҷумла худудҳои бӯҳронӣ тадқиқи намудем



**Расми 4** – Тарҳи дастгоҳ дарои муайян намудани коэффитсиенти ҳароратгузаронӣ дар параметрҳои васеъи ҳолат.

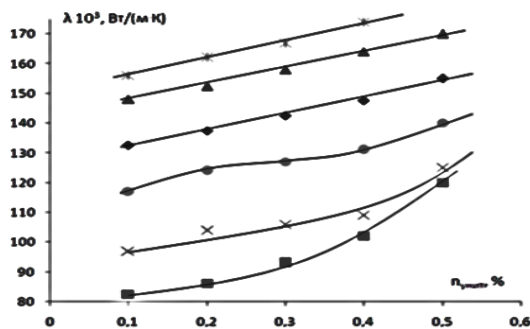
Барои тадқиқи ҳароратгузаронии наномоеъҳо дар параметрҳои баланди ҳолат му дастгоҳи таҷрибавиро бо усули ноқили тафсон коркунанда таҳия ва ҷамъоварӣ намудем. Дастгоҳ асосан аз насоси вакуумӣ, манометр ва ячейкаи ченкунанда (шишагӣ) иборат мебошад. Дар дохили ячейкаи наномоеъи тадқиқотӣ пур карда мешавад. Барои ҳосил кардан ва чен кардани фишори наномоеъ дар дастгоҳи таҷрибавӣ бо зарфи фишорварандаи фишорбаланд таъмин карда шудааст. Таъсири муфассал ва тарҳи дастгоҳи таҷрибавӣ дар замири рисола оварда шудааст. Хатогии умумии нисбии ченкунии гармигузаронии наномоеъҳо бо ин усул ҳангоми эҳтимолияти эътимодноки  $\alpha = 0,95$  ба  $2,56\%$  баробар мешавад. Барои ба даст овардани маълумотҳои бозъғимод оид ба ҳароратгузаронии наномоеъҳо бо усули пешниҳодшуда дар ин дастгоҳ ченкунии санҷишӣ гузаронида шуд. Ба сифати намунаҳои санҷишӣ толуол, бензол ва ҳавво истифода шуд. Натиҷаҳои ба даст омада барои намунаҳои санҷишӣ дар ҳудуди хатогии таҷриба (то  $3\%$ ) бо маълумотҳои таҷрибавӣ мувофиқ мешаванд.

Дар расмҳои 5 ва 6 натиҷаҳои таҷрибавии муайян намудани гармигузаронии системаҳои эфири диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ (НЯК) дар консентратсияҳои гуногуни НЯК то  $0,5\%$  аз ҳарорат ва фишор нишон дода шудааст. Чӣ тавре, ки аз расмҳои 5 ва 6 дида мешавад гармигузаронии эфири диэтил бо афзоиши консентратсияи НЯК хаттӣ (хатҳои 1, 3, 5, 6) ва параболӣ (хатҳои 2 ва 4) зиёд мешавад.

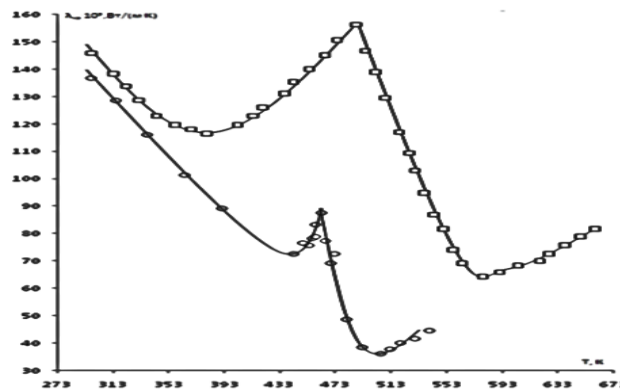
Инчунин дар ин расмҳо натиҷаҳои тадқиқи таҷрибавии системаи эфири диэтил+ нанонайчаҳои карбонӣ дар консентратсия, ҳарорат ва фишорҳои гуногун нишон дода шудааст.

Дар параметрҳои ҳолати дар боло зикршуда ( $P = 0,101 \text{ МПа}$ ,  $T = 293 \text{ К}$ ) гармигузаронии эфири диэтил  $3,1$  маротиба ва дар ( $P = 29,4 \text{ МПа}$ ,  $T = 293 \text{ К}$ )  $3,2$  маротиба кам мешавад; тағйир додани консентратсияи нанопуркунанда (аз  $0,1$  то  $0,5\%$  НЯК), яъне дар қисми дуюм гармигузаронӣ ( $P = 0,101 \text{ МПа}$ ,  $T = 293 \text{ К}$ ) ба  $33,3\%$  меафзояд. Тағйирёбии фишор ва ҳарорат то  $P=29,4 \text{ МПа}$  ва  $T=683 \text{ К}$  гармигузаронӣ ба  $26,1\%$  меафзояд. Мувофиқи тахмини мо, чунин яқбора паст шудани гармигузаронии моеъҳо (эфири диэтил + нанохоҳаҳо) сохтори намунаҳои тадқиқшавандаро тағйир медиҳад.



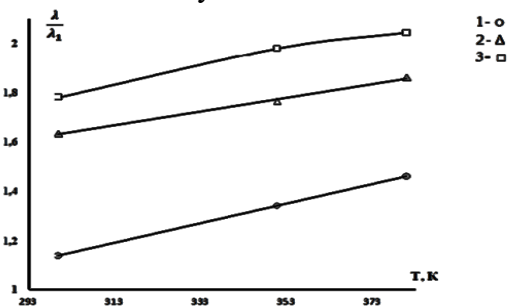


**Расми 5.** Таъсири НЯК ба таъйирёбии гармигузаронии эфири диэтил дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун: 1-  $T=293\text{K}$   $P=0, 101\text{ МПа}$ ; 2-  $T=467\text{K}$   $P=0, 101\text{ МПа}$ ; 3-  $T=293\text{K}$   $P=19, 62\text{ МПа}$ ; 4-  $T=467\text{K}$   $P=19, 62\text{ МПа}$ ; 5-  $T=293\text{K}$   $P=49, 01\text{ МПа}$ ; 6-  $T=467\text{K}$   $P=49, 01\text{ МПа}$ .



**Расми 6.** Таъсири НЯК ба таъйирёбии гармигузаронии эфири диэтил дар ҳудудҳои бӯҳронӣ ва баъди бӯҳронии параметрҳои ҳолат 1- эфири диэтил, 2- эфири диэтил + 0,5% НЯК

Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои ададӣ аз рӯи ифодаи (3.8) рисола ба таври графикӣ дар расми 9 нишон дода шудааст.

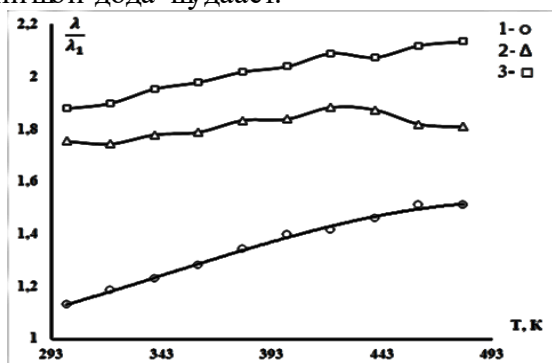


**Расми 7.** Вобастагии ( $\lambda/\lambda_1$ ) аз ҳарорат дар фишори атмосферӣ ( $P=0, 101\text{ МПа}$ ): 1- эфири диэтил + 0,5% НЯК; 2- эфири диэтил + 0,5% НЯК

Чӣ тавре, ки аз расми 7 дида мешавад нисбати коэффитсиенти гармигузаронии маҳлӯлҳои коллоидии системаҳои эфири диэтили моеъ ва нанозарраҳои (НЯК) бо афзоиши ҳарорат аз рӯи қонуни хати рост зиёд мешавад.

Маълум карда шуд, ки дар  $P=0, 101\text{ МПа}$  ва таъйирёбии ҳароратҳо аз 290 то 390K нисбати гармигузаронии системаи эфири диэтил+0,5% НЯК ин зиёдшавӣ ~14,7% ро таъкил медеҳад.

Дар расми 8 вобастагии нисбати гармигузаронӣ аз ҳарорат дар фишори  $P=9,81\text{ МПа}$  нишон дода шудааст.



**Расми 8.** Вобастагии нисбати гармигузаронӣ ( $\lambda/\lambda_1$ ) аз ҳарорат дар фишори ( $P=9,81\text{ МПа}$ ): 1- эфири диэтил + 0,5% НЯК; 2- эфири диэтил + 0,5% НЯК

Чӣ тавре, ки аз расми 8 дида мешавад, дар фишори  $P=9,81\text{ МПа}$  иловаи нанозарраҳо то 0,5% НЯК нисбати гармигузарониро аз рӯи қонуни парабола зиёд карда ва иловаи 0,5% НЯК ва 0,5% НЯК нисбати гармигузарониро дар намуди хати шикаста зиёд мекунад. Дар фишори дода шуда иловаи то 0,5% НЯК дар эфири диэтили тоза ( $\lambda/\lambda_1$ ) ба 3,16% зиёд мешавад. Бари дуҷум ва сеҷум маҷмӯи коллоидӣ, яъне (эфири диэтил+0,5% НЯК) нисбати гармигузаронӣ

мувофиқан ба 5,71% меафвояд. Ҳамин тавр иловаи 0,5%НЯК, НБК нисбати гармигузаронӣро мувофиқан ба 3,16% 5,71% зиёд мекунад.

Барои ҳисоб кардани коэффисиенти гармидиҳӣ мо формулаи (3.11 рисола) – ро истифода бурдем. Дар чадвали 1 натиҷаҳои ҳисоб кардани коэффитсиенти гармигузаронӣ (критерияи А.М. Михеев) барои соплои Лёвал эфири диэтил ҳам дар намуди тоза ва ҳам бо иловаи НЯК ва НБК (0,1 то 0,5%) дар фишорҳои (0,101 ва 49,01) МПа оварда шудааст.

Мувофиқи чадвали 1 ба хулосае омадан мумкин аст, ки коэффитсиенти гармигузаронӣ хангоми хунуккунии сузишвории ракета аз фишор ва консентратсияи нанопуркунанда вобаста мебошад. Бо афзоиши фишор ва консентратсияи нанонайчаҳои карбонӣ, инчунин дигар нанозарраҳо, коэффисиенти гармидиҳӣ кам мешавад.

Масалаи барои эфири диэтили моё коэффитсиенти гармидиҳӣ дар  $P=(0,101-49,01)$  МПа ба  $\sim 18,7\%$  кам мешавад, барои эфири диэтил ва 0,1% (эфири диэтил+0,1%НЯК) ин фарқият  $\sim 21,3\%$  ро ташкил дода ва барои (диэтиловый эфир+ 0,5% НЯК) бошад фарқияти байни коэффитсиентҳои гармигузаронӣ ба  $\sim 16,9\%$  баробар мешавад.

**Чадвали 1.** Бузургиҳои ҳисобкарда шудаи коэффитсиенти гармидиҳӣ барои эфири диэтил бо иловаи нанонайчаҳо дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун.

		Эфири диэтил			
		$\alpha_{ж}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$			
Т, К	P, МПа	0,101	49,01		
	293	806,3	655,6		
<b>Эфири диэтил + НЯК</b>					
P = 0,101 МПа					
n, %	0,1% НЯК	0,2% НЯК	0,3% НЯК	0,4% НЯК	0,5% НЯК
Т, К	800,0	783,3	771,6	772,8	770,7
P = 49,01 МПа					
Т, К	646,5	641,6	648,9	634,4	632,4

### Таҳлили маълумотҳои гармигузаронӣ, ҳароратгузаронии маҳлӯлҳо вобаста аз ҳарорат ва фишор

Барои муайян кардани вобастагии байни гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии системаи маҳлӯли диэтил вобаста ба ҳарорат, мутаносибиятҳои зерин истифода шудаанд:

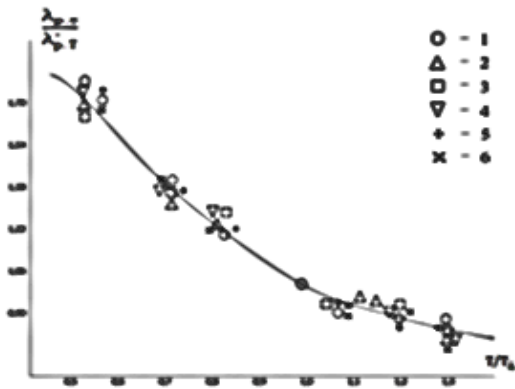
$$\frac{a_{p,T}}{a_{p,T}^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (2)$$

ҳои гуногун ва  $\lambda_{p,T}^*$ ,  $a_{p,T}^*$ - бузургиҳои гармигузаронӣ, ҳароратгузаронӣ дар ҳароратҳои T ва  $T_1$ ;  $T_1=413\text{K}$

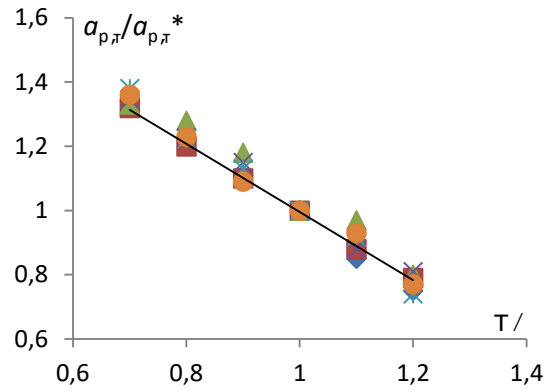
Чӣ тавре, ки аз расмҳои 9 ва 10 дида мешавад таносубҳои (1) ва (2) барои системаҳои тадқиқотии эфири диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ хуб иҷро мешаванд, яъне маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронӣ дар атрофи як хати қатъ мешаванд, ки бо муодилаҳои зерин ифода карда мешаванд:

- барои системаҳои эфири диэтил ва нанонайчаҳои диэтил:

$$a_{p,T} = (-2,66 \cdot 10^{-3} T + 2,1) \cdot a_{p,T}^* \quad (4)$$



**Расми 9.** Вобастагии нисбати гармигузаронӣ ( $\lambda/\lambda_1$ ) аз нисбати ҳароратҳо ( $T/T_1$ ) барои системаи тадқиқотии эфири диэтил ҳам дар намуди тоза ва ҳам бо иловаи нанонайчаҳои карбонӣ: 1- эфири диэтило мӯъ; 2-эфири диэтил+0,1% нанонайчаҳои карбонӣ; 3- эфири диэтил+ 0,2% нанонайчаҳои карбонӣ; 4- эфири диэтил+ 0,3% нанонайчаҳои карбонӣ; 5-эфири диэтил+ 0,4% нанонайчаҳои карбонӣ; 6-эфири диэтил+ 0,5% нанонайчаҳои карбонӣ

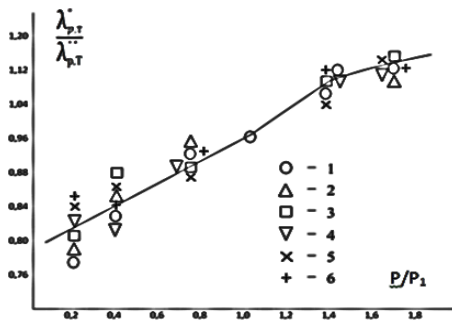


**Расми 10.** Вобастагии нисбати ҳароратгузаронӣ ( $a/a_1$ ) аз нисбати ҳароратҳо ( $T/T_1$ ) барои системаи тадқиқотии эфири диэтил ҳам дар намуди тоза ва ҳам бо иловаи нанонайчаҳои карбонӣ: 1- эфири диэтило мӯъ; 2-эфири диэтил+0,1% нанонайчаҳои карбонӣ; 3- эфири диэтил+ 0,2% нанонайчаҳои карбонӣ; 4- эфири диэтил+ 0,3% нанонайчаҳои карбонӣ; 5-эфири диэтил+ 0,4% нанонайчаҳои карбонӣ; 6-эфири диэтил+ 0,5% нанонайчаҳои карбонӣ

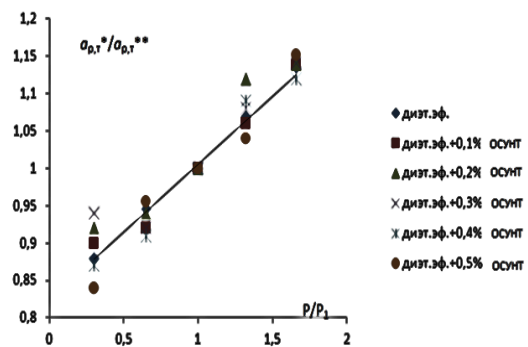
мебошанд.

Минбаъд барои таҳлили бузургҳои  $\lambda_{p,T}^*$  ва  $a_{p,T}^*$  дар тири координатаҳо графики вобастагиҳои  $\frac{a_{p,T}^*}{a_{p,T}^{**}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right)$  ва  $\frac{\lambda_{p,T}^*}{\lambda_{p,T}^{**}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right)$  аз ( $P/P_1$ ) сохта шуд.

Иҷрошавии  $\frac{\lambda_{p,T}^*}{\lambda_{p,T}^{**}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right)$  ва  $\frac{a_{p,T}^*}{a_{p,T}^{**}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right)$  дар расмҳои 11 ва 12 нишон дода шудааст.



**Расми 11.** Вобастагии  $\frac{\lambda_{p,T}^*}{\lambda_{p,T}^{**}}$  аз  $P/P_1$  барои намунаҳои тадқиқотӣ. Ишораҳо ба монанди расми 9.



**Расми 12.** Вобастагии  $\frac{a_{p,T}^*}{a_{p,T}^{**}}$  аз  $P/P_1$  барои намунаҳои тадқиқотӣ. Ишораҳо ба монанди расми 10.

Чӣ тавре, ки аз графикҳои дар расми 11 ва 12 оварда шуда дида мешавад, маълумотҳо дар атрофи хатҳои умумии рост ва қач меҳобанд, ки чунин ифода карда мешаванд

$$\frac{a_{P,T}^*}{a_{P,T}^{**}} = 0,214 \left( \frac{P}{P_1} \right) + 0,786 \quad (6)$$

Натиҷаҳои таҳлили бузургҳои  $\lambda^{*}_{P,T}$  ва  $a^{*}_{P,T}$  нишон доданд, ки онҳо функсияи консентратсияи нанонайчаҳои карбонӣ мебошанд.

$$a_{P,T}^{**} = (0,31 \cdot n_{\text{унт}} + 0,699) \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2 / \text{с} \quad (8)$$

Аз муодилаҳои (5) ва (6) ҳосил мекунем

$$a^*_{P,T} = [0,214 \left( \frac{P}{P_1} \right) + 0,786] (0,31n + 0,699) \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2 / \text{с} \quad (10)$$

Аз муодилаҳои (3)- (4) бо назардошти (5)-(10) барои ҳисобкунии гармигузаронӣ, ҳароратгузаронии маҳлулҳои тадқиқотӣ вобаста аз ҳарорат, фишр ва консентратсияҳои нанонайчаҳои карбонӣ ҳосил мекунем

$$a_{P,T} = (-2,66 \cdot 10^{-3} T + 2,1) \left( 0,214 \cdot (P/P_1) + 0,786 \right) (0,31n + 0,699) \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2 / \text{с} \quad (12)$$

Бо истифода аз муодилаҳои (11), (12) ҳисобкунии гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлулҳои таҷрибавӣ тадқиқнашударо дар ҳарорат ва фишрҳои гуногун гузаронидан имкон дорад, барои ин танҳо донишҷӯи консентратсияи нанонайчаҳои карбониро лозим аст.

Санҷиши муодилаҳои (11) ва (12) нишон дод, ки онҳо бо ҳатогии 2-5% ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронии маҳлулҳои тадқиқотиро дар ҳудуди ҳароратҳои 209-653 К ҳисоб кардан мумкин аст.

### **Таҳлили маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармӣ- ва ҳароратгузаронии маҳлулҳои системаҳои эфирӣ диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ дар ҳудуди бӯхронии параметрҳои ҳолат**

Барои таҳлили маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармӣ- ва ҳароратгузаронии системаҳои эфирӣ диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ дар ҳудуди бӯхронӣ қонуни мувофиқоварии ҳолат дар намуди вобастагии функсионалии зерин истифода бурда шуд:

$$\frac{a_{кр}}{a^*_{кр}} = f \left( \frac{T}{T_{кр}} \right) \text{ ва } \frac{\lambda_{кр}}{\lambda^*_{кр}} = f \left( \frac{n}{n_1} \right), \quad (13)$$

ин чо,  $\alpha_{кр}$ ,  $\lambda_{кр}$  – ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронии маҳлӯлҳои тадқиқшаванда дар ҳароратҳои гуногун ва дар қачии худуди бӯҳронӣ;  $\alpha_{кр}^*$ ,  $\lambda_{кр}^*$  – ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронии намунаҳои тадқиқотӣ дар  $T$ ;  $T_{кр}=467$  К ва фишоре, ки дар он таҷриба гузаронида мешавад  $P_{кр}=3,68$  МПа.

Ифодаи (13) барои системаҳои эфيري диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ хуб иҷро мешавад, яъне маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронӣ дар атрофи хати қач мэхобанд (расми 13).

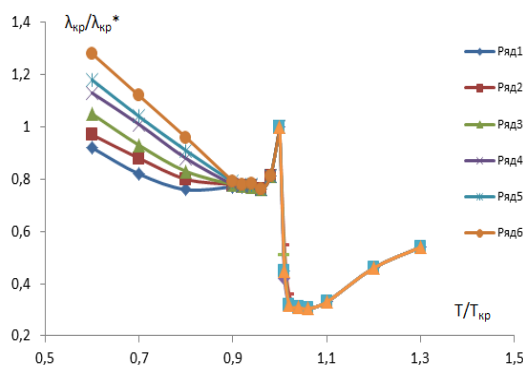
Муодилаи хатҳои қачи дар расми 13 оварда шуда намуди зеринро доранд:

$$\frac{\lambda_{кр}}{\lambda_{кр}^*} = \left( F \left( \frac{T}{T_{кр}} \right)^2 + D \left( \frac{T}{T_{кр}} \right) + E \right) \quad (14)$$

$$\frac{\alpha_{кр}}{\alpha_{кр}^*} = \left( A \left( \frac{T}{T_{кр}} \right)^2 + B \left( \frac{T}{T_{кр}} \right) + C \right) \quad (15)$$

Бузургҳои  $\alpha_{кр}^*$ ,  $\lambda_{кр}^*$ - функсияи консентратсияҳои нанопуркуандаҳо мешаванд  $\alpha_{кр}^*$ ,  $\lambda_{кр}^* = f(n)$ .

Бузургҳои коэффисиентҳои муодилаҳои (14 ва 15) дар ҷадвали 2 оварда шудааст.



Расми 13 Вобастагии  $\frac{\lambda_{кр}}{\lambda_{кр}^*} = f\left(\frac{T}{T_{кр}}\right)$

барои маҳлӯлҳои тадқиқотӣ. Ишораҳо ба монанди расми 8.

Ҷадвали 2 - Коэффисиентҳои муодила барои маҳлӯлҳои системаҳои эфيري диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ дар худудҳои бӯҳронии параметрҳои ҳолат.

Параметрҳои тадқиқотӣ	Коэффисиентҳои муодилаҳои (13) ва (14)		
	$F$	$-D$	$E$
Гармигузаронӣ, Вт/(мК)			
Барои қисми якуми графики дар расми 13 оварда шуда, яъне худуди ҳароратҳои 293-466 К			
Эфيري диэтил	3,7675	7,4550	4,5756
Эфيري диэтил + 0,1 % НЯК	4,2024	8,0172	4,6899
Эфيري диэтил + 0,2 % НЯК	4,2024	8,0172	4,6899
Эфيري диэтил + 0,3 % НЯК	4,3997	8,1597	4,6252
Эфيري диэтил + 0,4 % НЯК	4,5337	8,3097	4,6382
Эфيري диэтил + 0,5 % НЯК	4,9179	8,8827	4,8193
Барои қисми дуюми графики дар расми 13 оварда шуда, яъне худуди ҳароратҳои 466-633 К			
Эфيري диэтил а суспензияи он*	20,845	35,818	15,579

Эзоҳ: Қисми якуми графикаи дар расми 13 оварда шуда бо муодилаи ягонаи парабола ифода карда мешавад, коэффитсиентҳое, ки дар боло оварда шудааст		
Ҳароратгузаронӣ, м²/с		
Коэффитсиентҳои муодилаҳои (13) ва (14)		
	<i>A</i>	<i>B</i>
T=(293-433) К $T_{кр}^*=353$ К	1,95	-1,0
T=(443-513) К $T_{кр}^*=466$ К		
T=(533-633) К $T_{кр}^*=573$ К	1,632	-0,627

Барои ҳисоб намудани гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронӣ дар ҳудуди бӯхронии объектҳои тадқиқотӣ дар асоси таҳлили графикаи муодилаҳои зеринро ҳосил карда мешавад:

$$\lambda_{кр} = \left( 0,167 \left( \frac{n}{n_1} \right) + 0,827 \right) [a_0 + a_1(T) + a_2(T)^2] \cdot 10^{-3}, \text{ Вт/(м К)} \quad (16)$$

$$\alpha_{кр} = \left\{ A \left( \frac{T}{T_{кр}} \right)^2 + B \left( \frac{T}{T_{кр}} \right) + C \right\} [b_0 + b_1(T) + b_2(T)^2] \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (17)$$

Бузургии коэффитсиентҳо дар муодилаҳои (16) ва (17) дар ҳудуди бӯхронии параметрҳои ҳолат дар ҷадвали 3 оварда шудааст.

**Ҷадвали 3-** Коэффитсиентҳои *a* ва *b* барои маҳлӯлҳои системаҳои эфирӣ диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ дар ҳудуди бӯхронии параметрҳои ҳолат

Параметрҳои тадқиқотӣ	Коэффитсиентҳои муодилаҳои (16) ва (17)				
	<i>a</i> <sub>0</sub>	<i>a</i> <sub>1</sub>	<i>a</i> <sub>2</sub>	<i>a</i> <sub>3</sub>	<i>a</i> <sub>4</sub>
<b>гармигузаронӣ</b>					
T=(293-433) К $T_{кр}^*=353$ К	220,8	-0,286	-	-	-
T=(443-513) К $T_{кр}^*=466$ К	-8910	3872	-0,0409	-	-
T=(533-633) К $T_{кр}^*=573$ К	-51,4	0,195	-	-	-
<b>Коэффитсиентҳои муодилаҳои (16) ва (17)</b>					
<b>ҳароратгузаронӣ</b>					
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>		
T=(293-433) К $T_{кр}^*=353$ К	1,95	-1,0	-		
T=(443-513) К $T_{кр}^*=466$ К					
T=(533-633) К $T_{кр}^*=573$ К	1,632	-0,627	-		

Бо ёрии муодилаҳои (16), (17) гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлӯлҳои таҷрибавӣ тадқиқнома шударо вобаста аз ҳарорат ва фишр ҳисоб намудан мумкин аст, ки барои донишҷӯи бузургӣҳои консентратсияҳои нанонайчаҳои карбониро донишҷӯ зарур аст.

Санҷиши муодилаҳои (16) ва (17) нишон доданд, ки бо ёрии онҳо ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронии маҳлӯлҳои коллоидии тадқиқотиро бо ҳатогии 2-5% дар ҳудуди ҳароратҳои (293-653) К ҳисоб намудан мумкин аст.

**Таҳлили маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба зичии маҳлӯлҳои системаҳои эфирӣ диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ дар ҳудуди бӯхронии параметрҳои ҳолат.**

Барои таҳлили маълумотҳо оид ба зичии эфирӣ диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ дар ҳудуди бӯхронӣ қонуни мувофиқоварии ҳолат дар намуди вобастагии функционалии зерин истифода бурда шудааст.

$$\frac{\rho_{кр}}{\rho_{кр}^*} = f \left( \frac{T}{T_{кр}} \right), \quad (18)$$

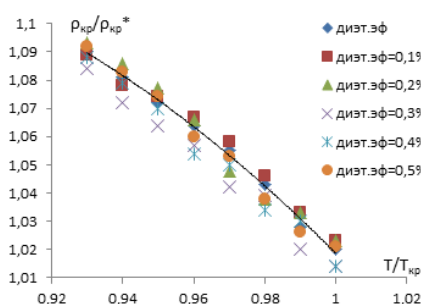
ин ҷо,  $\rho_{кр}$  – зичии маҳлӯлҳои тадқиқотӣ дар ҳароратҳои гуногун дар ҳудуди бӯҳронӣ;  $\rho_{кр}^*$  – зичии намунаи тадқиқотӣ дар  $T$ ;  $T_{кр}$  – ҳарорати бӯҳронӣ; яъне ҳангоми  $P_{кр}=3,68$  МПа.

Муносибати (18) барои системаҳои эфири диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ, яъне маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба зичӣ хуб иҷро шуда дар атрофи хати қачи умумӣ меҳобанд (расми 14).

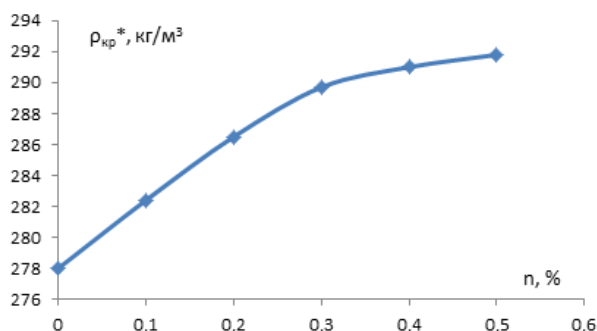
Муодилаи хати қачи дар расми 14 оварда шуда намунаи зеринро дорад:

$$\frac{\rho_{кр}}{\rho_{кр}^*} = \left( -3,631 \left( \frac{T}{T_{кр}} \right) + 5,994 \left( \frac{T}{T_{кр}} \right)^2 - 1,3451 \right). \quad (19)$$

Бузургии  $\rho_{кр}^*$  – функсияи консентратсияи нанопуркунанда мебошад  $\rho_{кр}^* = f(n)$ . Иҷро шавии ифодаи (18) дар расми 15 нишон дода шудааст.



**Расми 14.** Вобастагии  $\frac{\rho_{кр}}{\rho_{кр}^*}$  аз  $\left( \frac{T}{T_{кр}} \right)$  барои маҳлӯлҳои тадқиқотӣ



**Расми 15.** Вобастагии  $\rho_{кр}^* = f(n)$  дар  $T_{кр}$  барои маҳлӯлҳои тадқиқотӣ

Хати қачи дар расми 15 нишон дода шуда бо муодилаи зерин ифода карда мешавад:

$$\rho_{кр}^* = \left[ 277,83 + 54,071 (n) - 52,143 (n)^2 \right] \cdot 10^{-3}, \left[ \frac{кг}{м.^3} \right] \quad (20)$$

Дар ин ҷо,  $T$  – интервали ҳароратҳо дар соҳаи бӯҳронӣ (К).

Аз муодилаи (19) бо назардошти (20) муодилаи эмпирикиро дар намунаи зерин ҳосил мекунем

$$\rho_{кр} = \left( -3,631 \left( \frac{T}{T_{кр}} \right) + 5,994 \left( \frac{T}{T_{кр}} \right)^2 - 1,3451 \right) \left[ 277,83 + 54,07 (n) - 52,143 (n)^2 \right] \cdot 10^{-3}, \text{ кг/м}^3 \quad (21)$$

Бо ёрии муодилаи (21) зичии маҳлӯлҳои таҷрибавӣ тадқиқ накардано вобаста аз ҳарорат дар ҳудуди бӯҳронии параметрҳои ҳолат ҳисоб намудан мумкин аст, ки барои ин бузургии консентратсияи нанонайчаҳои карбониро доништан зарур мебошад.

Санҷиши муодилаи (21) нишон дод, ки бо ҳатогии 0,2% зичии маҳлӯлҳои тадқиқотиро дар ҳудуди ҳароратҳои (320-466) К ва фишори  $P=3,68$  МПа ҳисоб кардан мумкин аст.

### Алоқамандӣ миёни ҳароратгузаронӣ, гармигузаронӣ ва зичии бӯҳронии системаҳои эфири диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ

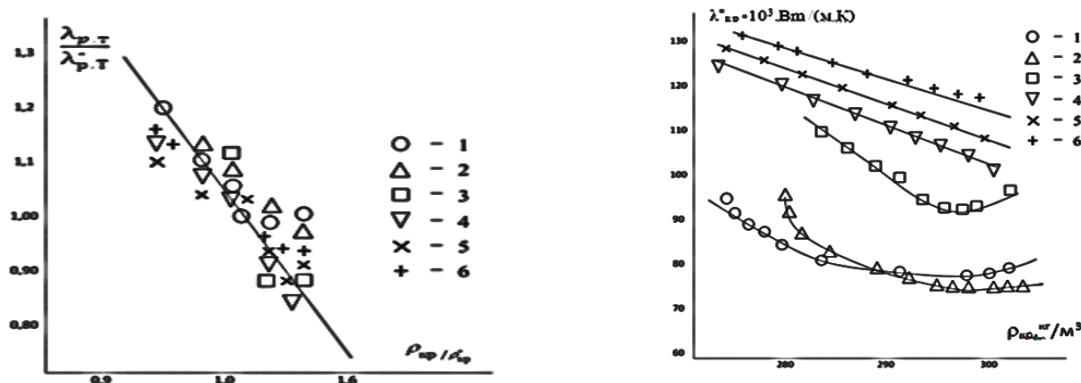
Барои ҳосил кардани муодилаҳои эмпирикии алоқамандкунандаи ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронии эфири диэтили моеъ бо иловаи нанонайчаҳои карбонӣ дар ҳудуди бӯҳронӣ,

мо қонуни мувофиқоварии ҳолат ва монандии термодинамикиро дар намуди зерин истифода бурдем

$$\frac{a_{кр}}{a_{кр}^*} = f\left(\frac{\rho_{кр}}{\rho_{кр}^*}\right) \quad (22)$$

ин ҷо,  $a_{кр}, \lambda_{кр}^*$  – ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронии маҳлулҳои тадқиқотӣ дар зичии дар каҷии худуди бўҳронӣ;  $a_{кр}^*, \lambda_{кр}^*$  – ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронии намунаи тадқиқотӣ дар  $\rho_{кр}^*$ ;  $\rho_{кр}^*$  – зичии системаи тадқиқотӣ дар  $\rho_{кр}^* = 278 \text{ кг/м}^3$  (барои ин ҳолат);  $P_{кр} = 3,68 \text{ МПа}$ .

Маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ ва зичии системаҳои тадқиқотиро истифода бурда графикаи вобастагии зеринро сохтем  $\lambda_{кр} = f(\rho_{кр})$  (расмҳои 17 ва 18)



маҳои тадқиқотии эфири диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ

**Расми 17.** Вобастагии гармигузаронӣ аз зичии системаҳои тадқиқотии (эфири диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ) дар худуди бўҳронӣ: 1- эфири диэтил; 2- эфири диэтил + 0,1% НЯҚ; 3- эфири диэтил + 0,2% НЯҚ; 4- эфири диэтил + 0,3% НЯҚ; 5- эфири диэтил + 0,4% НЯҚ; 6- эфири диэтил + 0,5% НЯҚ

Тавре аз расми 17 дида мешавад гармигузаронии системаҳои эфири диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ дар худуди бўҳронӣ аз рӯи қонуниятҳои гуногун тағйир меёбанд. Барои эфири диэтели моеъ бо иловаи аз 0,1 то 0,2% нанонайчаҳои карбонӣ (НЯҚ ва НЯК) гармигузаронӣ аз рӯи қонунити экспоненсионалӣ кам шуда, ва барои системаи (эфири диэтил + 0,3% НЯҚ), (эфири диэтил + 0,4% НЯҚ) (эфири диэтил + 0,5% НЯҚ)  $\lambda$  аз рӯи қонуни хати рост кам мешавад.

Барои таҳлили маълумотҳои таҷрибавии гармигузаронӣ ва зичии системаҳои эфири диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ дар худуди бўҳронӣ, яъне коррелятсияи байни ин хосиятҳои гармофизикӣ мо вобастагии функционалии зеринро истифода бурдем:

Иҷро павии вобастагии функционалии (24) дар расми 18 нишон дода шудааст.

Чӣ тавре аз расми 18 дида мешавад, ҳамаи бузургҳои таҷрибавии  $\rho$  дар атрофи хати рост меҳобанд.



Аз муодилаи (25), бо назардошти (26) ҳосил мекунем

Бо ёрии муодилаи кореллясионии (27) гармигузаронии намунаҳои тадқиқотиро дар ҳудуди бӯхронии параметрҳои ҳолат бо ҳатогии 2-3% ҳисоб намудан мумкин аст, ки барои ин донишҷӯи консентратсияи нанонайчаҳои карбонӣ ва зичии онҳоро дар ҳудуди бӯхронӣ зарур мебошад.

Таҳлили графоаналитикии маълумотҳои таҷрибавӣ нишон дод, ки онҳо дар хатҳои қачи алоҳида меҳобанд, ки бо полиноми дараҷаи чорум муайян карда ва дар намуди зерин муайян карда мешаванд:

ё

Бузургиҳои коэффитсиентҳои муодилаҳои (28- 30) дар ҳудуди бӯхронӣ дар ҷадвалҳои 5 ва 6 оварда шудааст.

**Ҷадвали 5-** Коэффитсиентҳои полиномаҳои дараҷаи чорум барои маҳлӯлҳои системаҳои эфири диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ дар ҳудуди бӯхронии параметрҳои ҳолат.

Намунаҳо		Коэффитсиентҳои муодилаи (29)				
		$a_0 \cdot 10^5$	$a_1 \cdot 10^5$	$a_2 \cdot 10^5$	$a_3 \cdot 10^5$	$- a_4 \cdot 10^5$
1.	Эфири диэтил	- 1.651	6.682	1.0	0.682	0.172
2.	Эфири диэтил + 0.1%НЯК	- 1.346	5.404	0.813	0.544	0.136
3.	Эфири диэтил + 0.2%НЯК	-0.335	1.341	0.201	0.134	0.034
4.	Эфири диэтил + 0.3%НЯК	- 1.820	0.731	0.110	0.073	0.0184
5.	Эфири диэтил + 0.4%НЯК	0.227	0.906	0.135	0.089	0.023
6.	Эфири диэтил + 0.5%НЯК	0.227	0.906	0.135	0.089	0.023

**Ҷадвали 6-** Коэффитсиентҳои полиномаҳои дараҷаи чорум барои маҳлӯлҳои системаҳои эфири диэтил ва нанонайчаҳои карбонӣ дар ҳудуди бӯхронии параметрҳои ҳолат.

Намунаҳо		Коэффитсиентҳои муодилаи (30)				
		$b_0 \cdot 10^5$	$b_1 \cdot 10^5$	$b_2 \cdot 10^5$	$b_3 \cdot 10^5$	$- b_4 \cdot 10^5$
1.	Эфири диэтил	- 1.651	6.682	1.0	0.682	0.172
2.	Эфири диэтил + 0.1%НЯК	- 1.346	5.404	0.813	0.544	0.136
3.	Эфири диэтил + 0.2%НЯК	-0.335	1.341	0.201	0.134	0.034
4.	Эфири диэтил + 0.3%НЯК	- 1.820	0.731	0.110	0.073	0.0184
5.	Эфири диэтил + 0.4%НЯК	0.227	0.906	0.135	0.089	0.023
6.	Эфири диэтил + 0.5%НЯК	0.227	0.906	0.135	0.089	0.023

Натиҷаи таҳлили бузургиҳои  $\lambda_{кр}^{**}$  ва  $a_{кр}^{**}$  нишон дод, ки онҳо функцияи консентратсияи нанонайчаҳои карбонӣ мебошанд.

$$a_{кр}^* = (1,94 \cdot n + 0,5) \cdot 10^7, \text{ м}^2/\text{с} \quad (31)$$

$$\lambda_{кр}^* = (-0,0336 \cdot (n_{нк})^2 + 0,0673 \cdot n_{нк} + 0,101), \text{ Вт}/(\text{мК}) \quad (32)$$

Аз муодилаҳои (29) ва (30) бо назардошти (31) ва (32) барои ҳисобкунии ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронии системаҳои эфири диэтил ҳам дар намуди тоза ва ҳам бо иловаи нанонайчаҳои карбонӣ (НЯК ва НБК) дар ҳудуди бӯхронӣ ҳосил мекунем

Дар асоси муодилаҳои (33) ва (34) ва ифодаҳои (31) ва (32) муодилаҳои эмпирикии зеринро ҳосил намудан мумкин аст:

Минбаъд, дар муодилаҳои (35) ва (36) мо ифодаҳои (33) ва (34)-ро ҳамчун асос истифода намуда ва муодилаи нимэмпирӣ ҳосил кардем, ки ба мо имкон медиҳад ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронии ҳам суспензияҳои омӯхташуда ва ҳам омӯхтанишудаи эфири диэтилно бо илова кардани нанонайчаҳои карбонӣ (НЯК) ва (НБК) дар ҳудуди бӯхронии параметрҳои ҳолат (293-673) К ва фишори  $P = 3,68 \text{ МПа}$ , бо ҳатогии 2-3% ва дар нуқтаҳои алоҳида бо ҳатогии  $\sim 5,2\%$  ҳисоб кунем

Бо истифода аз муодилаҳои (35) ва (36) ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронии мавҷҳои тадқиқнашударо вобаста аз фишор дар ҳароратҳои гуногун бо ҳатогии то 4% ҳисоб кардан мумкин аст. Барои ин донишҷӯи бузургӣҳои консентратсияи нанопуркунанда, зичӣ дар ҳудуди бӯхронӣ ва маълумотҳои чадвали 5 ва 6 зарур мешавад.

### ХУЛОСАҲО ВА НАТИҶАҲО

1. Дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои чен кардани гармигузаронӣ (речаи гармкунии мунтазам ва ноқили тафсон), ҳароратгузаронӣ (усули акалориметр) тақдир дода шуд, ки имкони чен кардани тавсифҳои пеш зикршудаи ( $\lambda, a$ ) маҳлӯлҳои аз ҷиҳати химиявӣ фаъол, инчунин системаҳои дорои иловаҳои гуногуни нанонайчаҳои карбонии (НЯК) ва (НБК) дар параметрҳои васеи ҳолат бо назардошти ҳудудҳои бӯхронӣ ва баъди бӯхронии параметрҳои ҳолатро медиҳад [1- М3- М5- М6- М8- М9- М11- М12- М13- М14- М16- М17- М18- М20- М22- М].
2. Санҷиши модели математикии ғайристатсионарии алоқамандии гармидиҳӣ миёни ядрои бикалориметр ва силиндри беруна бо роҳи муқоисакунӣ натиҷаи ҳисобкуниҳо бо маълумотҳои таҷрибавӣ маълум ва маълумотҳои ҳисобкардашудаи дигар муаллифони иҷро карда шуд. Муқоисаи натиҷаҳо нишон медиҳад, ки умуман, мувофиқати қаноатбахшро нишон медиҳад [2- М4- М6- М8- М9- М15- М19- М21- М23- М].
3. Аввали маротиба маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии системаҳои эфири диэтил бо иловаи то 0,5% нанонайчаҳои карбонӣ (НЯК ва НБК) дар ҳароратҳои (298-673) К ва фишори (3,68) МПа ба даст оварда шуд [1-М3- М5- М10- М].
4. Нишон дода шуд, ки гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии наномоеҳои коллоидӣ дар ҳарорати додашуда бо зиёдшавии фишор, ҳарорат хангоми доимӣ будани фишор афвуда ва бо зиёдшавии ҳарорат кам мешавад. Ҷарҳи миқдории тағйирёбии гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии наномоеҳои коллоидӣ тадқиқотӣ бо тағйирёбии параметрҳои ҳолат оварда шуда [1- М3- М5- М6- М8- М9- М11- М12- М13- М].
5. Муқаррар карда шуд, ки гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии системаҳои тадқиқотӣ дар ҳудуди бӯхронӣ ба таври аномалӣ меафвоянд; нишон дода шуд, ки иловаи нанонайчаҳои карбонӣ дар моеҳои органикӣ ба тағйирёбии хосиятҳои эфири диэтил, яъне илованабудани нанонайчаҳои карбонӣ (НЯК) ва (НБК) сабаби зиёдшавии гармигузаронӣ ва ҳаро-

ратгузаронии эфери диэтил дар тамоми параметрҳои ҳолат мегардад [1- М5- М8- М11- М13- М16- М18- М20- М22- М].

6. Ҳангоми коркарди маълумотҳои таҷрибавӣ дар асоси қонуни монандии термодинамикӣ ва қонуни мувофиқоварии ҳолат оид ба гармӣ -, ҳароратгузаронии объектҳои тадқиқотӣ дар параметрҳои гуногуни ҳолат (фишр, ҳарорат, консентратсия) як қатор муодилаҳои эмпирикӣ ба даст оварда шуд [2- М4- М6- М8- М9- М15- М19- М21- М23- М].
7. Барои ҳисобкунии гармигузаронӣ амсилаҳои Максвелл, Дулнев Г. истифода шуд; дар асоси маълумотҳои таҷрибавии ҳосиятҳои гармофизикии намунаҳои тадқиқотӣ аввалин маротиба критерияҳои Прандтл ва Михеев дар ҳарорат ва фишрҳои гуногун ҳисоб карда шуд [1- М3- М10- М12- М13- М14- М15- М19- М].
8. Натиҷаҳои ассосии назариявӣ ва таҷрибавии тадқиқотҳои таҷрибавӣ барои таъбиқ дар таҷкилотҳои саноати истеҳсолии гуногуни Ҷумҳурии Тоҷикистон, инчунин дар раванди таълими Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик МС Осимӣ ва Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни истифода мешаванд (Санадҳои таъбиқ замима гардидаанд).

### Тавсияҳо барои истифодаи амалии натиҷаҳо

1. Намудҳои нави таҳияшудаи асбобҳои ченкуниро (усули нокили тафсон, асбоб барои муайян кардани коэффитсиенти эффекивии гармигузарони вобаста ба ҳарорат дар фишрҳои гуногун) барои омӯзиши гармигузаронии наномоеъҳои мавриди омӯзиш истифода мешаванд (ақтҳои иҷрош дар рисолаҳои замима карда мешаванд)
2. Маълумоти таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ, ҳароратгузаранда ва зичии эфери моеъи диэтил ҳам дар шакли ҳолис ва ҳам дар таркибаш то 0,5%(НЯҚ) ва (НБК) дар ҳарорати (298 - 673) К ва фишри (3,68) МПа ба даст оварда шудааст, ҳангоми ҳисоб кардани реаксияҳои химиявӣ дар коллекторҳои офгобии навъи нав ва тартиб додани модели математикӣ ҳамчун маълумот истифода мешаванд (ду патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон гирифта шудааст).
3. Ҷадвалҳои муфассали ҳоситҳои гармофизики (коэффитсиенти гармигузаронӣ, ҳароратгузарони)-и наномоеъҳои аз ҷиҳати техникӣ муҳими коллоидӣ дар асоси эфери диэтили моеъ ва дорои то 0,5%(НЯҚ) ва (НБК) дар ҳарорат (298-673) К ва фишр (3,68) МПа тартиб дода шудаанд, ки таҷкилотҳои лоиҳакаи ҶИ дар равандҳои гуногуни технологӣ истифода бурда метавонанд
4. Вобастагии апримаксиматсионӣ бадастомадаро барои ҳисоб кардан ва пешгӯии гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии наномоеъҳои дар таҷриба омӯхта шуда дар доираи васеи тағирёбии параметрҳои ҳолати (ҳарорат, консентратсияи пуркунанда ва зичии), аз ҷумла ҳолатҳои критикӣ ва суперкритики истифода бурдан мумкин аст.
5. Модели математикӣ барои ҳисоб кардани вақти гармқунии сохтори саҳти табдилдиҳандаи каталитикӣ бо назардошти тақсимоти ҷараёни гармӣ дар ҷараёни гармидиҳии ғайристатсионӣ таҳия ва пешниҳод карда шудааст.

### ИНТИШОР ОТ АЗ РӯИ МАВЗӯИ РИСОЛА

*Мақолаҳои, ки дар маҷаллаҳои илмӣи ҚОА-и номи Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба наир расидаанд:*

[1- М. Раджабова, Д Ш Термическая стабильность фуллеритов и расчет потенциала Леннарда Джонса / ММ Сафаров, ММ Гуломов, Д Ш Раджабова, ДШ Ҳакимов/ Пблтехнический вестник. Серия Интелект. Инновации. Инвестиции Душанбе, № (40) – 2017. - С. 66-77.

[2- М. Раджабова, Д Ш Анализ применимости уравнение Тейта к различным классам веществ в конденсированном состоянии на примере плотности I. вычисление плотности / М М Сафаров, ММ Гуломов, С С Рафиев, ДШ Раджабова и др.// Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. ТНУ, Душанбе-2018, №2, - С 92-98

[3- **М. Раджабова, Д Ш** Эффективная теплопроводность и коэффициент адсорбции многостенных углеродных нанотрубок (МСУНТ)-вода. / ММ Гуломов, ММ Сафаров, С С Рафиев, **Д Ш Раджабова**, и др// Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. ТНУ, Душанбе, 2018, №, - С 115-121.

[4- **М. Раджабова, Д Ш** Влияние нанопорошка с эффектами памяти на поведение динамической вязкости теплоносителей при различных температурах и атмосферном давлении / ММ Сафаров, МА Зарипова, МУ. Умарализода, К Мирзоева, **Д Ш Раджабова**, Мтлаби Джаборзода. Теоретический и научно-практический журнал, Кишварз, ТАУ имени Ш Шхтемур, Душанбе, 2(91), 2021. - С 85-88 ISSN 2074-5435.

[5- **М. Раджабова, Д Ш** Влияние углеродных нанотрубок на изменение теплопроводности жидкого диэтилового эфира, включая в критический область// **Д Ш Раджабова** / Вестник Технологического университета Таджикистан № (50) 2022. С 43-49.

#### *Дар дигар на ирияҳо:*

[6- **М. Rajabova, DSh** Computer modeling of heat transfer process for nanofluids. / ММ Safarov, ММ Gilomov, **DSh Rajabova**, S S Rafiev et.// 4 International computer simulation, China, 2017, - p 56.

[7- **М. Раджабова, Д Ш** Термодинамические свойства газообразных простых эфиров при различных температурах. Эксперимент и численные методы / ММ Сафаров, ММ Гуломов, МА Зарипова, **Д Ш Раджабова**, Х Х Ойматова и др// Материалы международной научно-практической конференции «Независимость - основа развития энергетики страны» 22-23 декабря 2017 года, Хатлонская область, Бохтарский район, Республика Таджикистан Псвященный к празднованию дня энергетиков. - С 139-142.

[8- **М. Раджабова, Д Ш** Исследование испаряемость жидкостей и их температуры кипения. / ММ Сафаров, Дж А Зарипов, ММ Гуломов, **Д Ш Раджабова**, МА Зарипова.// Материалы международную конференцию «Актуальные проблемы современной физики» посвященной 80-летию памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, док-тора физико-математических наук, профессора Нарзиева Б Н, Душанбе, 2018, - С 215-216.

[9- **М. Раджабова, Д Ш** Математическое моделирование процесса сгорания и тепло-выделения в цилиндре двигателя. / ММ Холиков, ММ Сафаров, ММ Гуломов, **Д Ш Раджабова** и др// Материалы Республиканской научно-практической конференции “Техника и технология: основные проблемы, достижения и инновации”, Душанбе, 16 мая 2018. - С 109-112.

[10- **М. Rajabova, DSh** Thermal conductivity of gaseous simple ethers at various temperatures with the account of nunt clusters. / ММ Safarov, ММ Gilomov, МА Zaripova, **D Sh Rajabova** et.// 20<sup>th</sup> Symposium on Thermophysical Properties, June 24-29, 2018 in Boulder, Colorado, -p 423.

[11- **М. Rajabova, DSh** Influence of diisopropyl ether on change of density of benzene. / ММ Safarov, ММ Gilomov, S S Rafiev, **DSh Rajabova**// 20<sup>th</sup> Symposium on Thermophysical Properties, June 24-29, 2018 in Boulder, Colorado, -p 278.

[12- **М. Rajabova, DSh** The Effect Of Silver Nanoparticles On The Change in Some Of The Thermodynamic Characteristics of Coolants In Coolers Collectors. / E. Abdjalilzoda, ММ Safarov, ММ. Gilomov, Т R Tillioeva, МА Zaripova, **DSh Rajabova** et.// XV Joint European Thermodynamic Conference. Barselone 21<sup>th</sup> - 24<sup>th</sup> May 2019, Abstracts book. - p 105.

[13- **М. Rajabova, DSh** Influence Of Polymer and Carbon - Containing Systems on the Change in Thermodynamic Properties of Solvents. / ММ Gilomov, Т R Tillioeva, МА Zaripova, А А Khubatkhuzina, Kh. H Oymatova, **DSh Rajabova**// XV Joint European Thermodynamic Conference. Barselone 21<sup>th</sup> - 24<sup>th</sup> May 2019, Abstracts book. - p 107.

[14- **М. Rajabova, DSh** Effect Of Temperature, Pressures, Concentrations Of Carbon Nanotubes On The Change in the Heat Capacity Liquids Diethyl Ether. / ММ Safarov, ММ Gilomov, **D Sh Rajabova**, et.// XV Joint European Thermodynamic Conference. Barselone 21<sup>th</sup> - 24<sup>th</sup> May 2019, Abstracts book. - p. 32.

[15- **М. Раджабова, Д Ш** Уравнение Тейта для расчета вязкости, плотности электролитов и простых эфиров. /ФД Ёмонов, ММ Гуломов, **Д Ш Раджабова**// Материалы Международной научной конференции на тему «Перспектива развития науки и образования», ТТУ имени акад. МС Осими, 2019,- С 286-289.

[16- **М. Rajabova, DSh** Experimental study of thermal conductivity of liquid hydrocarbon mixtures at the addition of fillers in the m / A R Rajabov, S S Dzhumaev, M M Gilomov, M M Safarov, **DSh Rajabova**, Matlaby Jabborzoda // Rostoc-2020, Sermany, 8-9, October 2020, -p 58.

[17- **М. Раджабова, Д Ш** Коэффициент изотермической сжимаемости и текучести некоторых органических водных растворов. /Матлаби Джабборзода, **Д Ш Раджабова**, С С Джумбаев, ММ Гуломов, Ф Абдужалилзода и др.// Сборник статей республиканской научно-теоретической конференции на тему «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан», посвященной 60-летию химического факультета и памяти д.х.н., профессора, академика НАН РТ Нуманова Ишанкула Усмановича (12-14 сентября 2020 г).- С 47-49.

[18- **М. Раджабова, Д Ш** Влияние добавки полимеров на изменение плотности и поверхностного натяжения некоторых углеводов. /Матлаби Джабборзода, **Д Ш Раджабова**, С С Джумаев, ММ Гуломов, ММ Сафаров// Сборник статей республиканской научно-теоретической конференции на тему «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан», посвященной 60-летию химического факультета и памяти д.х.н., профессора, академика НАН РТ Нуманова Ишанкула Усмановича (12-14 сентября 2020 г). - С 249-252.

#### ***Патентҳои хурди ҶТ ва шаҳодатномаҳо***

[19- **М.** Патент № ТҶ 919, 2017. Республики Таджикистан МПК F24J2/00; F 24 J2/42. Комплексная солнечная установка для получения тепловой и электрической энергии Раджабова Д Ш и др. -№ 1801177; заявл. 2018.02.13. опубл. 2018.07.27.

[20- **М. Раджабова, Д Ш** Устройства для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей / ММ Сафаров, МА Зарипова, ММ Гуломов, Дж Ф Собиров, С С Рафиев, **Д Ш Раджабова и др.**// Патент Республики Таджикистан №ТҶ 923, 2017.-5с.

[21- **М.** Патент № ТҶ274/10, 2010. Республики Таджикистан Программа расчета границ несмешиваемости трехкомпонентных систем в системе Matlab. Раджабова Д Ш и др. №274; опубл. 2010.08.11.

[22- **М.** Патент № ТҶ 275/10, 2010. Республики Таджикистан Программа расчета термодинамических двухкомпонентных систем в системе Matlab. Раджабова Д Ш и др. №275; опубл. 2010.07.30.

[23- **М.** Патент № ТҶ 138, 2022. Республики Таджикистан Программа национальной поисковой системы «snj.tj» на языках программирования PHP, CSS и HTML. Раджабова Д Ш и др. №138; опубл. 2022.06.01.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН  
ТАДЖИКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Садриддина Аййни**

*На правах рукописи*



**УДК 536.24(575.3)**

**РАДЖАБОВА Дилафруз Шохзодовна**

**ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ИЗМЕНЕНИЕ  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ  
ЖИДКОГО ДИЭТИЛОВОГО ЭФИРА, ВКЛЮЧАЯ КРИТИЧЕСКУЮ И  
ЗАКРИТИЧЕСКУЮ ОБЛАСТИ**

Специальность 01.04.14. - Теплофизика и теоретическая теплотехника

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

**Душанбе-2024**

Работа выполнена в Таджикском государственном педагогическом университете имени Садриддина Айни на кафедре «Общая физика»

Научный консультант: Сафаров Махмадали Махмадиевич, Заслуженный деятель науки и техники Таджикистана, академик Международной инженерной академии (МИА), академик Инженерной академии РТ (ИА) доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты Шрифов Абдумунин – доцент, кандидат технических наук, Заведующий отделом водородной энергетики Химического института им. В.И. Никитина Национальной Академии Республики Таджикистан;

Гафоров Сатор – доцент кафедры общей и теоретической физики Кулябского Государственного Университета им. Рудаки;

Ведущая организация: Институт Энергетики Таджикистана

*Защита диссертации состоится «15» Апреля 2024г на заседании диссертационного совета 6ДКОА-041 при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими, по адресу: 734042, г. Душанбе, проспект акад. Рабобовых 10а, e-mail: [ds6dkoa041@yandex.ru](mailto:ds6dkoa041@yandex.ru)*

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

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета 6Д КОА- 041,  
кандидат технических наук, доцент



Тагоев С.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы** Исследования физико-химических, теплофизических свойств (плотности, теплоемкости, тепло- и температуропроводности), термодинамических и кинетических характеристик проводилось во все времена. Сегодня исследования данного направления с качественной стороны приобрели новое направление.

Одним из направлений на пути улучшения теплообменных процессов является достижение роста теплопроводности и температуропроводности за счет добавления в теплоноситель частиц твердой фазы. Ряд исследователей доказали, что применение для данных целей частиц микронного и наноразмера может способствовать не интенсификации, а снижению теплоотдачи, поскольку их наличие уменьшает турбулентность (Pakhotov, 2007). Целью группы исследователей из многих стран посвятили свои исследования данному направлению например, США, Корея, Китай, Япония, Англия и др.

В частности, опубликованы монографии (Das, 2007) и ряд обзорных статей, охватывающих широкий круг вопросов от локальных свойств наножидкостей до возможностей их практического применения. (Das, 2007, Wang, Mijumdar, 2007, Yi, 2007, Chio, 2008, 2009, Wang, Wei, 2009, Chandrasekar, 2009, Rudyak, 2000 и др.).

В представленной работе исследованы процессы тепло- и температуропроводности диэтилового эфира, как в чистом виде, так и с определенным количеством углеродных нанотрубок (ОСУНТ и МСУНТ) (0,1-0,5) % в интервале температур (293-673) К включая критическую и за критическую диапазоны параметров состояния.

Изучение теплофизических свойств исследуемых объектов, включено в **координационный план** важнейших научно-исследовательских работ по комплексной проблеме «Теплофизика» Национальной академии наук Таджикистана.

**Объект исследования:** Диэтиловый эфир и углеродные нанотрубки (ОСУНТ и МСУНТ).

**Цель диссертационной работы** Разработка и создание экспериментальной установки для измерения тепло- и теплопроводности системы диэтилового эфира и углеродных нанотрубок ОСУНТ и МСУНТ (до 0,5%) в интервале температур (293-673) К включая критическую и за критическую области параметров состояния.

**Задачи исследования:**

1. Усовершенствована экспериментальная установка для измерения теплопроводности, температуропроводности растворов при разных температурах и давлениях, включая критическую и за критическую области;
2. Получение экспериментальных значений по теплопроводности, температуропроводности коллоидных растворов системы диэтилового эфира на базе усовершенствованной экспериментальной установки при  $T=(293\div 673)$  К и критическом давлении (3,68) МПа;
3. Установление зависимости теплопроводности и температуропроводности исследованных образцов от температуры, давления и массовой концентрации углеродных нанотрубок (до 0,5 % ОСУНТ и МСУНТ);
4. Получение аппроксимационной зависимости, устанавливающей взаимосвязь теплопроводности и температуропроводности исследуемых образцов с температурой, давлением и особенностями структуры исследуемых коллоидных растворов; (Патент РТ за №Т 274/10.2010 и №Т 275/10.2010)
5. Изучение процесса теплопереноса в коллоидных растворах (диэтилового эфира и углеродных нанотрубок ОСУНТ и МСУНТ).

**Научная новизна работы заключается в следующем**

1. Усовершенствованы экспериментальные установки для исследования теплопроводности (по методу нагретой нити *Патент Республики Таджикистан № ТТ 923, 2017.-5с* и цилиндрического бикалориметра – автоматизация, использование пережимного сосуда) и температуропроводности (метод акалориметра). При сборке установок, учтены



специфические особенности растворов, которые потребовали новых конструктивных и методических решений;

2. Получены экспериментальные данные по теплопроводности и температуропроводности чистых компонентов диэтилового эфира и с добавкой углеродных нанотрубок (до 0,5% ОСУНТ и МСУНТ) в интервале температур (293-673) К и давлений (3,68) МПа, включая критическую и закритическую области параметров состояния.
3. Получены аппроксимационные зависимости, предназначенные для расчета теплопроводности и температуропроводности исследованных растворов. По результатам экспериментальных данных и аппроксимационной зависимости произведены тепловые расчеты
4. Составлены таблицы результатов экспериментальных исследований по теплопроводности и температуропроводности исследуемых коллоидных растворов в критической и закритической области
5. Разработаны методы расчета теплопроводности и температуропроводности для исследуемых растворов.

#### **На защиту выносятся:**

1. Новые и более усовершенствованные версии экспериментальных установок и обоснование возможности их применения для исследования теплопроводности и температуропроводности исследуемых коллоидных растворов в критической и закритической области параметров состояния.
2. Автоматизированный теплофизический комплекс, применяемый для экспериментального исследования теплопроводности, температуропроводности растворов в широком интервале параметров состояния.
3. Экспериментальные данные по теплопроводности и температуропроводности растворов (диэтилового эфира и углеродных нанотрубок) в диапазоне температур (293-673) К и критическом давлении (3,68) МПа.
4. Методы расчета теплопроводности коллоидных растворов на основе жидкого диэтилового эфира и анализ процесса теплопереноса в исследуемых объектах.
5. Аппроксимационные зависимости для расчета теплопроводности и температуропроводности исследуемых веществ в широком интервале температуры и при критическом давлении

#### **Теоретическая и практическая значимость работы**

2. Составлены подробные таблицы ТФС технических важных веществ (на основе диэтилового эфира) в широком интервале температур (293-673) К и давлений (3,68) МПа, которые могут быть использованы проектными организациями в различных технологических процессах.
3. Результаты исследований теплопроводности, температуропроводности коллоидных растворов диэтилового эфира внедрены в Институте промышленности Министерства науки и новых технологий Республики Таджикистан в расчеты модельных химических реакторов и технологических процессов, и полученные экспериментальные данные используются в качестве справочных.
4. Разработанные экспериментальные установки можно применять для быстрого экспериментального исследования теплопроводности и температуропроводности технологических материалов в различных лабораториях.
5. Предложенные устройства используются в научных и учебных лабораториях кафедры Теплотехника и теплоэнергетика Таджикского технического университета имени академика МС Осими, а также кафедры общей физики Таджикского государственного педагогического университета имени С. Айни. Этим аппаратом могут пользоваться аспиранты, магистранты и преподаватели для выполнения диссертационных работ и студенты для выполнения лабораторных, курсовых и дипломных работ.

б. Получен акт внедрения от Таджикского технического университета им академика М С Осими г. Душанбе и Таджикского государственного педагогического университета им Садриддина Айни (акты внедрения прилагаются).

**Степень достоверности и апробация результатов** Достоверность результатов исследований обеспечивается:

- ✓ использование апробированных и протестированных измерительных приборов, а также воспроизводимость результатов измерений;
- ✓ согласование полученных результатов измерений с известными данными, полученными в результате независимых исследований с использованием других физико-химических методов анализа;
- ✓ полным метрологическим обеспечением измерительных установок; соответствующим использованием теорий измерений и погрешностей; применением проверенных и стандартных установок; воспроизводимостью результатов; согласованность расчетных результатов тепло – и теплопроводности, теплоемкости, коэффициента адсорбции, коэффициента массопередачи и плотности, численных расчетов скорости падения наночастиц и определения их размеров, в том числе диаметров наночастиц с экспериментальными данными;
- ✓ корректной математической моделью физических процессов и проверенным математическим аппаратом численного решения дифференциальных уравнений тепло-массопереноса модели Максвелла (теплопроводность), Дульнева (теплопроводность), Ленарда – Джонса (теплопроводность), Тейга (плотность), уравнения Мамедова – Ахундова (плотность) (компьютерное моделирование);

**Внедрение результатов работы** Результаты исследования приняты к использованию в Научно-исследовательском институте промышленности Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан и в учебном процессе Таджикского государственного педагогического университета им Садриддина Айни, Таджикского технического университета им академика М С Осими (акты внедрения прилагаются).

**Личный вклад автора включает:** постановку цели, выбор методов и разработку алгоритмов пошагового выполнения работы, установление закономерностей наблюдаемых процессов в изучаемых растворах, а также реализацию опытных исследований в производственных условиях, получение данных по теплопроводности и теплопроводности и их соответствующую обработку, формулировку основных выводов по работе, выбор средств и способов решения поставленных задач, а также написание и публикацию статей и тезисов.

Все результаты диссертационной работы получены автором лично под руководством научного руководителя.

**Основные методы научных исследований.** При выполнении диссертационной работы для получения данных использованы метод цилиндрического бикалориметра, метод нагретой нити (теплопроводность),  $\alpha$ -калориметра (теплопроводность), регулярного теплового режима первого рода, монотонного разогрева, сканирующего калориметра (теплоемкость), метод гидростатического взвешивания (установка К Д Гусейнова и его учеников), теории подобия, пакет программы SigmaPlot, Excele и др. Предложен способ получения тепловой энергии и электрического тока (Патент РТ №ТJ 919), метод термодинамического подобия, закон соответствующих состояний.

#### **Апробация работы**

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

*4 International computer simulation, China, (2017); 1-я научно-практической Международная конференция “Информационные технологии в управлении и моделировании мехатронных систем” (ИГУММС-2017); Международной научно-практической конференции «Независимость - основа развития энергетики страны» Хаттонская область, Бохтарский район, Республика Таджикистан Посвященный к празднованию дня энергетиков 22-23 декабря*

(2017); Международную конференцию «Актуальные проблемы современной физики» посвященной 80-летию памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора физико-математических наук, профессора Нарзиева Б. Н., Душанбе, (2018); Республиканской научно-практической конференции «Техника и технология: основные проблемы достижения и инновации», Душанбе, 16 мая (2018); 20<sup>th</sup> Symposium on Thermophysical Properties, in Boulder, Colorado, June 24-29, (2018); XV Joint European Thermodynamic Conference. Barcelona 21<sup>st</sup>-24<sup>th</sup> May (2019); Республиканской научно-теоретической конференции на тему «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан», посвященной 60-летию химического факультета и памяти д.х.н., профессора, академика НАН РТ Нуманова Ишанкула Усмановича (12-14 сентября 2020); Международной научно-практической конференции «Энергетика Таджикистана. Проблемы энергосбережения, энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии» посвященной 30-летию независимости РТ, 90-летию МЭИ и 100-летию плана ГОЭЛРО Филиал МЭИ в г. Душанбе - (2021);

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 23 работы, из них 6 статей в журналах, включённых в список рецензируемых ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, пять малых патентов Республики Таджикистан и 13 тезисов докладов и материалов международных и Всероссийских научно-технических конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная включает введение, четыре главы, выводы, список использованной литературы и приложение. Работа изложена на **161** страницах машинописного (компьютерного) текста. Она также включает **49** рисунков, **30** таблиц, **136** наименований использованной литературы и приложение (**18** стр.).

#### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первой главе** представлены характеристики изучаемых веществ (диэтиловый эфир и нанонаполнители) и обзор данных.

**Во второй главе** приведены схемы всех установок, использованных для измерения теплопроводности и температуропроводности коллоидных растворов на основе жидкого диэтилового эфира с различным количеством добавления углеродных нанотрубок (ОСУНТ и МСУНТ) при различных параметрах состояния, включая критическую и сверхкритическую области и соответствующая оценка их погрешностей.

**Третья глава** содержит результаты экспериментального исследования по тепло- и температуропроводности образцов на основе диэтилового эфира с различным содержанием углеродных нанотрубок в составе при различных температурах и давлениях, в том числе и в критической и сверхкритической областях.

**В четвертой главе** представлены результаты обработки представленных в третьей главе экспериментальных данных по теплопроводности и температуропроводности исследуемых образцов исследования в зависимости от критической температуры и критического давления и соответствующее их обобщение.

**В приложении** приведены исполнительные акты для исследования теплофизических свойств рабочего тела в широком диапазоне изменения параметров состояния, в том числе в критическом и сверхкритическом диапазоне параметров состояния, а также таблицы расчета погрешностей аппроксимационных зависимостей по тепло- и температуропроводности образцов с учетом изменения концентрации добавок (ОСУНТ и МСУНТ).

**Работа выполнена в Таджикском государственном педагогическом университете имени Садриддина Айни.**

#### **Объекты исследования:**

Объектом исследования являлись суспензированные и коллоидные растворы на основе диэтилового эфира с различной концентрацией добавок (ОСУНТ и МСУНТ).

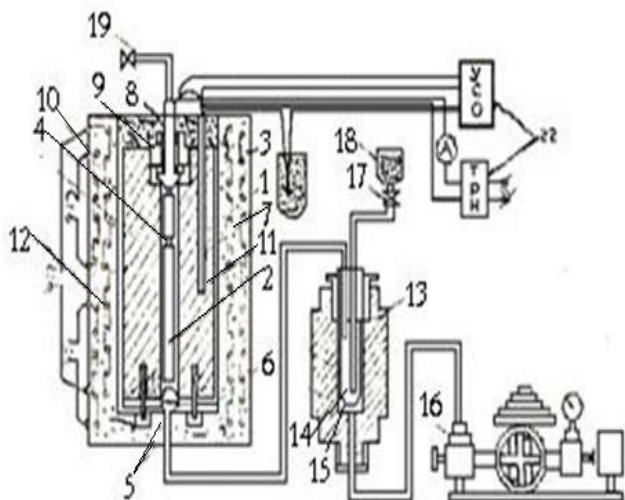
Рассмотрены следующие рабочие тела:

- Диэтиловый эфир (химически чистый)
- Диэтиловый эфир + ОСУНТ (различной концентрации, %);

- Диэтиловый эфир + МСУНТ (различной концентрации, %).

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

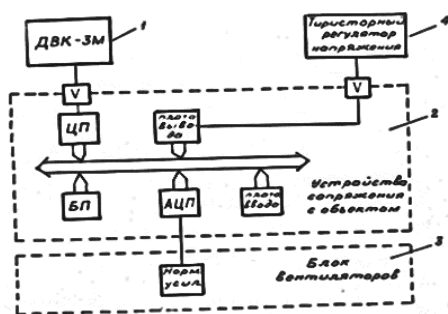
Опытное устройство, предназначенное для измерения теплопроводности веществ при различных параметрах состояния, основанная на методе цилиндрического бикалориметра регулярного теплового режима первого рода представлено на рисунке 1.



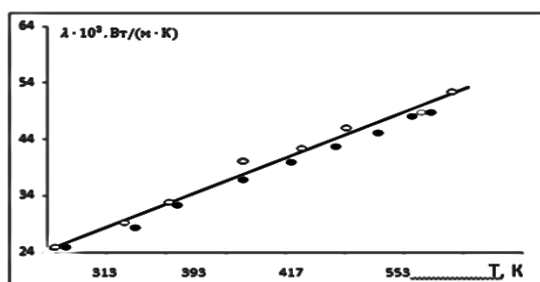
**Рисунок 1** – Схема экспериментальной установки для измерения теплопроводности растворов в зависимости от температуры и давления: 1 – внешний цилиндр; 2 – измерительный цилиндр; 3 – компенсационный цилиндр; 4 – ниппель; 5 – нижний конус; 6 – фланец; 7, 11 – термопары; 8 – конусное уплотнение верхней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

Предложенный автоматизированный теплофизический комплекс (рис. 2), соединенный с бикалориметром, позволяет изучить процесс теплопереноса в неоднородных средах в области температур (293–773) К. Комплекс состоит из диалогового вычислительного комплекса ПК (1); устройства сопряжения с объектом УСО (2); нормирующих усилителей с блоком вентиляторов БВ (3); блока тиристорных регуляторов мощности, установки для измерения ТФС и эффективных параметров теплопереноса.

Результаты ряда опытов по теплопроводности воздуха в виде графика показаны на рис. 3, согласно которому результаты экспериментов с литературными данными хорошо согласуются между собой при всех рассматриваемых температурах.



**Рисунок 2** – Блок-схема автоматизированного теплофизического комплекса



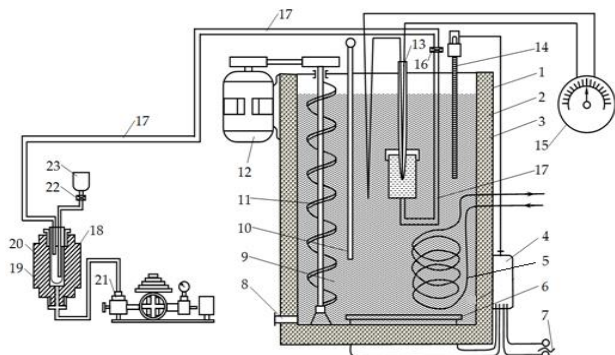
**Рисунок 3** – Сравнение экспериментальных значений теплопроводности воздуха с литературными данными: о – литературные данные; • – наши данные.

Согласно расчетам общая относительная погрешность результатов опытов по теплопроводности при  $\alpha = 0,95$  составляет не более 4,2 %. Основные узлы и механизмы устройства, расчетное уравнение по теплопроводности и методика проведения эксперимента подробно приведены в диссертации.

### Устройство для определения температуропроводности наножидкостей

На экспериментальных установках, приведенных на рисунке 1 (метод регулярного теплового режима первого рода); рисунке 4 (метод  $\alpha$ -калориметра) нами исследованы тепло-

и температуропроводность изучаемых веществ при различных температурах и давлениях, включая критическую область.

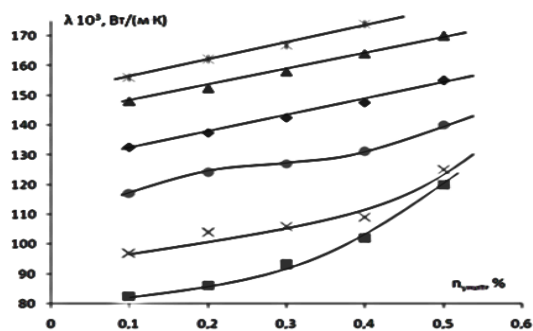


**Рисунок 4** – Схема установки для определения коэффициента температуропроводности при высоких параметрах состояния

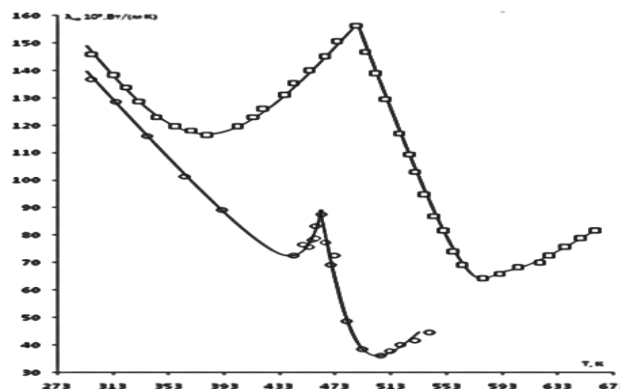
Чтобы измерить температуропроводность образцов нами была решена другая задача, т.е. разработка и сборка опытного устройства. Оно основано на методе нагретой нити и состоит из следующих основных элементов: насос вакуумный, манометр, пережимной сосуд высокого давления и ячейка измерительная. Подробное описание, схема, принцип и порядок работы устройства представлены в приложении диссертации. Общая относительная погрешность измерения теплопроводности на данном устройстве при  $\alpha = 0,95$  в среднем соответствует 2,56%. Чтобы с точностью утверждать о том, что устройство работает достоверно, нами был выполнен ряд контрольных замеров, для чего были применены толуол, бензол и воздух. Результаты сравнения полученных данных с литературными совпадали в пределах погрешности опыта (до 3%).

На рисунке 5 и 6 представлены результаты экспериментов по теплопроводности образцов исследования (диэтиловый эфир и углеродная нанотрубка (ОСУНТ) до 0,5%) в зависимости от температуры и давления. Согласно рисункам теплопроводность диэтилового эфира наряду с ростом концентрации ОСУНТ тоже растет по линейному (линии 1, 3, 5, 6) и параболическому закону (линии 2 и 4).

При условиях ( $P=0,101$  МПа,  $T=293$  К) теплопроводность диэтилового эфира уменьшается в 3,1 раза, а при ( $P=29,4$  МПа,  $T=293$  К),  $\lambda$  – уменьшается в 3,2 раза; изменение концентрации добавки (от 0,1 до 0,5% ОСУНТ), т.е. на втором участке графика при  $P=0,101$  МПа и  $T=293$  К теплопроводность растет на 33,3%. Изменение параметров состояния, а именно  $P=29,4$  МПа и  $T=683$  К способствует росту теплопроводности на 26,1%. По нашему мнению резкий спад теплопроводности образцов в данной области связан с изменением их структуры.

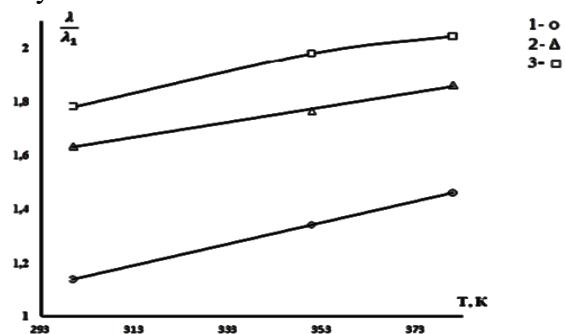


**Рисунок 5** Влияние ОСУНТ на изменение теплопроводности диэтилового эфира при различных температурах и давлениях: 1-  $T=293$  К  $P=0,101$  МПа; 2-  $T=467$  К  $P=0,101$  МПа; 3-  $T=293$  К  $P=19,62$  МПа; 4-  $T=467$  К  $P=19,62$  МПа; 5-  $T=293$  К  $P=49,01$  МПа; 6-  $T=467$  К  $P=49,01$  МПа.



**Рисунок 6** Влияние ОСУНТ на изменение теплопроводности диэтилового эфира в критической и закритической области параметров состояния; 1- диэтиловый эфир, 2- диэтиловый эфир + 0,5% ОСУНТ.

Результаты вычислений по выражению (3.8) диссертации графически представлены на рисунке 7:

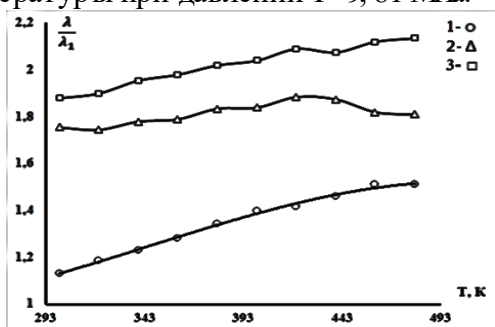


**Рисунок 7.** Зависимость ( $\lambda/\lambda_1$ ) от температуры при атмосферном давлении ( $P=0, 101 \text{ МПа}$ ): 1- диэтиловый эфир +0, 5%ОСУНТ; 2- диэтиловый эфир +0, 5%МСУНТ)

По рисунку 7 видно, что относительный коэффициент теплопроводности изучаемых растворов (диэтиловый эфир + наночастицы (ОСУНТ, МСУНТ)) увеличивается с изменением температуры в сторону ее повышения.

Выявлен факт того, что относительная теплопроводность системы диэтилового эфира +0, 5% ОСУНТ возрастает до 30, 4% при условии  $P=0, 101 \text{ МПа}$  и изменение температуры от 290 до 390 К для образца диэтиловый эфир+0, 5%МСУНТ рост данного показателя доходит до ~14, 7%

На рисунке 8 представлена зависимость относительной теплопроводности от изменения температуры при давлении  $P=9, 81 \text{ МПа}$ .



**Рисунок 8** Зависимость относительной теплопроводности ( $\lambda/\lambda_1$ ) от температуры при давлении ( $P=9, 81 \text{ МПа}$ ): 1 - диэтиловый эфир+0, 5% ОСУНТ; 2 - диэтиловый эфир+0, 5% МСУНТ.

По рисунку 8 видно, что добавка наночастиц (ОСУНТ) до 0,5% согласно параболическому закону повышает относительную теплопроводность образцов до 3,16% а добавка 0,5% МСУНТ увеличивает этот показатель зигзагообразно до 5,71%

Расчет коэффициента теплоотдачи нами был произведен согласно формуле (3.11) диссертации, результаты которого в табулированном варианте представлены ниже (таблица 1). Расчет произведен (критерий А М Михеева) для сопла Льюэля с рабочей жидкостью из диэтилового эфира, как в чистом виде, так и с добавкой ОСУНТ и МСУНТ (0,1 до 0,5%) при давлениях (0,101 и 49,01) МПа.

Согласно таблице 1 изменение коэффициента теплоотдачи при охлаждении ракетных топлив, главным образом, зависит от давления и концентрации нанонаполнителя. При росте последних (давление, концентрация нанодобавок) коэффициент теплоотдачи уменьшается.

Например, для жидкого диэтилового эфира коэффициент теплоотдачи при  $P=(0, 101-49, 01) \text{ МПа}$  уменьшается на ~18,7% для образца с добавкой 0,1% ОСУНТ изменение составляет ~21,3% а для образца с добавкой 0,5% ОСУНТ данная разница составляет ~16,9%

**Таблица 1.** - Вычисленные значения коэффициента теплоотдачи для диэтилового эфира с добавкой углеродной нанотрубки при различных температурах и давлениях.

		Диэтиловый эфир	
		$\alpha_{ж}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$	
$P, \text{ МПа}$	$T, \text{ К}$	0, 101	49, 01

	293	806,3	655,6		
<b>Диэтиловый эфир + ОСУНТ</b>					
P = 0,101 МПа					
n, %	0,1% ОСУНТ	0,2% ОСУНТ	0,3% ОСУНТ	0,4% ОСУНТ	0,5% ОСУНТ
T, К	800,0	783,3	771,6	772,8	770,7
P = 49,01 МПа					
T, К	646,5	641,6	648,9	634,4	632,4

### Обобщение экспериментальных данных по тепло-, температуропроводности растворов в зависимости от температуры и давления

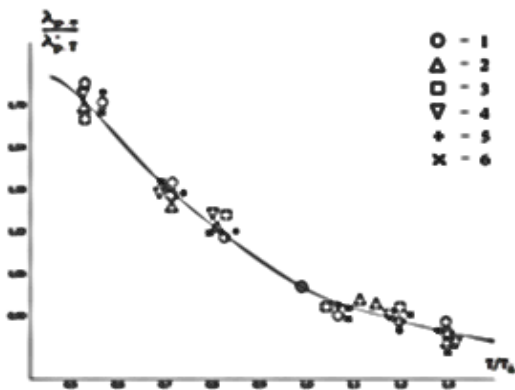
Установление связи теплопроводности с температуропроводностью изученных образцов в зависимости от температуры было выполнено с помощью

$$\frac{a_{p,T}}{a_{p,T}^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right). \quad (2)$$

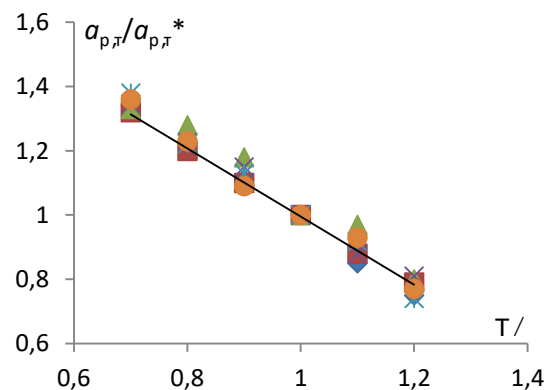
при различных температурах и давлениях и  $\lambda_{p,T}^*$ ,  $a_{p,T}^*$  - теплопроводность, температуропроводность соответственно при T и T<sub>1</sub>; T<sub>1</sub>=413 К

В соответствии с рисунками 9 и 10 можно заключить, что соотношения (1) и (2) хорошо выполняются для выбранной группы образцов исследования, то есть результаты экспериментов по теплопроводности и температуропроводности удовлетворительно ложатся вдоль общих кривых, выражения которых выглядят:

$$a_{p,T} = (-2,66 \cdot 10^{-3} T + 2,1) \cdot a_{p,T}^* \quad (4)$$



**Рисунок 9.** Зависимость относительной теплопроводности ( $\lambda/\lambda_1$ ) от относительной температуры ( $T/T_1$ ) для исследуемых систем диэтилового эфира, как в чистом виде, так и с добавкой углеродных нанотрубок: 1 - жидкий диэтиловый эфир; 2 - диэтиловый эфир + 0,1 % углеродных нанотрубок; 3 - диэтиловый эфир + 0,2 % углеродных нанотрубок; 4 - диэтиловый эфир + 0,3 % углеродных нанотрубок; 5 - диэтиловый эфир + 0,4 % углеродных нанотрубок;



**Рисунок 10.** Зависимость относительной температуропроводности ( $a/a_1$ ) от относительной температуры ( $T/T_1$ ) для исследуемых систем диэтилового эфира, как в чистом виде, так и с добавкой углеродных нанотрубок: 1 - жидкий диэтиловый эфир; 2 - диэтиловый эфир + 0,1 % углеродных нанотрубок; 3 - диэтиловый эфир + 0,2 % углеродных нанотрубок; 4 - диэтиловый эфир + 0,3 % углеродных нанотрубок; 5 - диэтиловый эфир + 0,4 % углеродных нанотрубок;

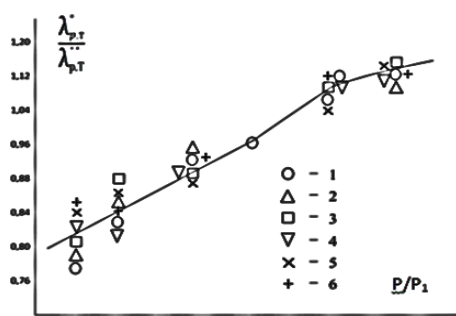
6 - диэтиловый эфир + 0,5 % углеродных нанотрубок

бок; 6 - диэтиловый эфир + 0,5 % углеродных нанотрубок

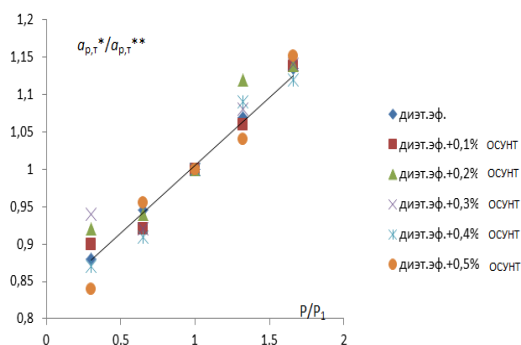
давления.

Далее для обобщения значений  $\lambda_{p,T}^*$  и  $\lambda_{p,T}^{**}$  на оси координат построен график зависимости  $\frac{a_{p,T}^*}{a_{p,T}^{**}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right)$  и  $\frac{\lambda_{p,T}^*}{\lambda_{p,T}^{**}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right)$  от  $(P/P_1)$ .

Выполнимость  $\frac{\lambda_{p,T}^*}{\lambda_{p,T}^{**}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right)$  и  $\frac{a_{p,T}^*}{a_{p,T}^{**}} = f\left(\frac{P}{P_1}\right)$  показана на рисунках 11 и 12.



**Рисунок 11.** Зависимость  $\frac{\lambda_{p,T}^*}{\lambda_{p,T}^{**}} от \left(\frac{P}{P_1}\right)$  для исследуемых образцов. Обозначение как на рисунке 9.



**Рисунок 12.** Зависимость  $\frac{a_{p,T}^*}{a_{p,T}^{**}} от \left(\frac{P}{P_1}\right)$  для исследуемых образцов. Обозначение как на рисунке 10.

В соответствии с рисунками 11 и 12 данные хорошо ложатся вдоль общей прямой и кривой, выражения которых имеют вид:

$$\frac{a_{p,T}^*}{a_{p,T}^{**}} = 0,214 \left( \frac{P}{P_1} \right) + 0,786 \quad (6)$$

При анализе значений  $\lambda_{p,T}^{**}$  и  $a_{p,T}^{**}$  было установлено, что они представляют собой функции концентрации углеродных нанотрубок.

$$a_{p,T}^{**} = (0,31 \cdot n_{унт} + 0,699) \cdot 10^{-7}, M^2 / c \quad (8)$$

По выражениям (5) и (6) получим



$$a_{P,T}^* = [0,214 \left( \frac{P}{P_1} \right) + 0,786] (0,31n + 0,699) \cdot 10^{-7}, m^2 / c \quad (10)$$

Из уравнений (3) - (4) с учетом уравнений (5) - (10) получим

$$a_{P,T} = (-2,66 \cdot 10^{-3} T + 2,1) \left( 0,214 \cdot (P/P_1) + 0,786 \right) (0,31n + 0,699) \cdot 10^{-7}, m^2 / c \quad (12)$$

С помощью уравнений (11), (12) можно вычислить теплопроводность и температуропроводность экспериментально неисследованных растворов при различных температурах и давлениях, для чего требуется располагать данными о концентрации углеродных нанотрубок

По результатам сравнения было установлено, что выражения (11) и (12) позволяют рассчитать тепло- и температуропроводность образцов с погрешностью 2-5% при изменении температуры от 293 до 653 К

### **Обобщение экспериментальных данных по тепло-, температуропроводности растворов системы диэтилового эфира и углеродных нанотрубок в критической области параметров состояния**

Для реализации обобщения результатов опытов по тепло-, температуропроводности образцов исследования в критической области мы воспользовались законом соответственных состояний следующим образом

$$\frac{a_{кр}}{a_{кр}^*} = f\left(\frac{T}{T_{кр}}\right) \text{ и } \frac{\lambda_{кр}}{\lambda_{кр}^*} = f\left(\frac{n}{n_1}\right), \quad (13)$$

где,  $a_{кр}$ ,  $\lambda_{кр}$  – температуропроводность и теплопроводность образца исследования при различных температурах в критической области;  $a_{кр}^*$ ,  $\lambda_{кр}^*$  – температуропроводность и теплопроводность испытуемого образца при  $T$ ;  $T_{кр}=47\text{K}$  и давлении  $P_{кр}=3,68 \text{ МПа}$ .

Приведенные выражения (13) для системы диэтилового эфира и углеродных нанотрубок обладают хорошей выполнимостью т.е. полученные результаты по тепло- и температуропроводности хорошо ложатся вдоль общей линии (рисунок 13).

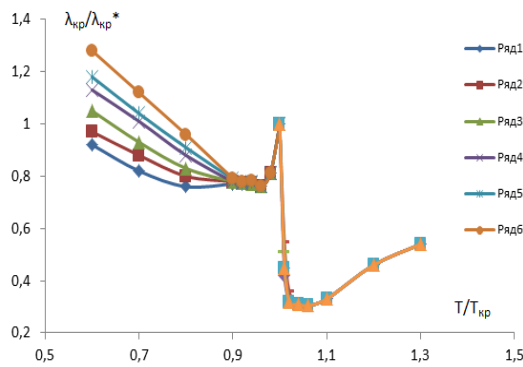
Уравнения кривых рисунка 13, имеют вид

$$\frac{\lambda_{кр}}{\lambda_{кр}^*} = \left( F \left( \frac{T}{T_{кр}} \right)^2 + D \left( \frac{T}{T_{кр}} \right) + E \right) \quad (14)$$

$$\frac{a_{кр}}{a_{кр}^*} = \left( A \left( \frac{T}{T_{кр}} \right)^2 + B \left( \frac{T}{T_{кр}} \right) + C \right) \quad (15)$$

Значения  $a_{кр}^*$ ,  $\lambda_{кр}^*$  являются функцией концентрации нанонаполнителей  $a_{кр}^*$ ,  $\lambda_{кр}^* = f(n)$ .

Значение коэффициентов выражений (14 и 15) представлены ниже (таблица 2).



**Рисунок 13** Зависимость  $\frac{\lambda_{кр}}{\lambda_{кр}^*} \text{ от } \left( \frac{T}{T_{кр}} \right)$  для исследуемых растворов. Обозначение как на рисунке 16.

**Таблица 2** - Коэффициенты уравнения для растворов системы диэтилового эфира и углеродных нанотрубок в критической области параметров состояния.

Исследуемые параметры	Коэффициенты уравнения 13 и 14		
	<i>F</i>	<i>-D</i>	<i>E</i>
<b>Теплопроводность, Вт/(м К)</b>			
Для первой половины графика, приведенного на рисунке 13, т.е. в интервале температуры 293- 466К			
Диэтиловый эфир	3,7675	7,4550	4,5756
Диэтиловый эфир+ 0,1 % ОСУНТ	4,2024	8,0172	4,6899
Диэтиловый эфир+ 0,2 % ОСУНТ	4,2024	8,0172	4,6899
Диэтиловый эфир+ 0,3 % ОСУНТ	4,3997	8,1597	4,6252
Диэтиловый эфир+ 0,4 % ОСУНТ	4,5337	8,3097	4,6382
Диэтиловый эфир+ 0,5 % ОСУНТ	4,9179	8,8827	4,8193
Для второй половины графика, приведенного на рисунке 13, т.е. в интервале температуры 466- 633К			
Диэтиловый эфир и его суспензии*	20,845	35,818	15,579
<i>Примечание: Правая сторона графика приведенного на рисунке 14 описывается единым параболическим уравнением, коэффициенты которого приведены выше</i>			
<b>Температуропроводность, м<sup>2</sup>/с</b>			
Коэффициенты уравнения 13 и 14			
	<i>A</i>		<i>B</i>
T=( 293- 433) К T <sub>кр</sub> *=353К	1,95		-1,0
T=( 443- 513) К T <sub>кр</sub> *=466К	1,823		-0,824
T=( 533- 633) К T <sub>кр</sub> *=573К	1,632		-0,627

Для расчета теплопроводности и температуропроводности в критических областях изученных образцов на основе графоаналитической обработки были получены соответствующие выражения:

$$\lambda_{кр} = \left( 0,167 \left( \frac{n}{n_1} \right) + 0,827 \right) \left[ a_0 + a_1(T) + a_2(T)^2 \right] \cdot 10^{-3}, \text{ Вт/(м К)} \quad (16)$$

$$a_{кр} = \left\{ A \left( \frac{T}{T_{кр}} \right)^2 + B \left( \frac{T}{T_{кр}} \right) + C \right\} \left[ b_0 + b_1(T) + b_2(T)^2 \right] \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (17)$$

Значение коэффициентов выражений (16 и 17) для показанной критической области представлены в таблице 3.

**Таблица 3-** Коэффициенты  $a$  и  $b$  для растворов системы диэтилового эфира и углеродных нанотрубок, в критической области параметров состояния.

Исследуемые параметры	Коэффициенты уравнения 16 и 17				
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
<b>теплопроводность</b>					
$T=(293-433) \text{ К}$ $T_{кр}^*=353\text{К}$	220,8	-0,286	-	-	-
$T=(443-513) \text{ К}$ $T_{кр}^*=466\text{К}$	-8910	3872	-0,0409	-	-
$T=(533-633) \text{ К}$ $T_{кр}^*=573\text{К}$	-51,4	0,195	-	-	-
	Коэффициенты уравнения 16 и 17				
<b>температуропроводность</b>					
	$A$	$B$	$C$		
$T=(293-433) \text{ К}$ $T_{кр}^*=353\text{К}$	1,95	-1,0	-		
$T=(443-513) \text{ К}$ $T_{кр}^*=466\text{К}$	1,846	-0,85	-		
$T=(533-633) \text{ К}$ $T_{кр}^*=573\text{К}$	1,632	-0,627	-		

Уравнения (16), (17) можно моно использовать для расчета тепло- и температуропроводности экспериментально неизученных веществ при изменении температуры и давления опыта, для чего следует знать значение концентрации добавляемых наночастиц (ОСУНТ и МСУНТ).

Проверка уравнений (16) и (17) показала удовлетворительный результат, поскольку они воспроизводимость экспериментальных значений с погрешностью 2-5% в исследованном диапазоне изменения температуры (293-653) К.

### **Обобщение экспериментальных данных по плотности растворов системы диэтилового эфира и углеродных нанотрубок в критической области параметров состояния**

Обобщение результатов опытов по плотности образцов в критической области нами выполнено с помощью закона соответственных состояний следующим образом

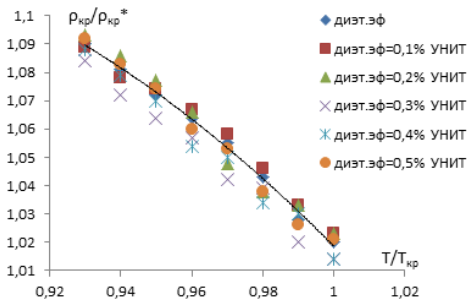
$$\frac{\rho_{кр}}{\rho_{кр}^*} = f\left(\frac{T}{T_{кр}}\right), \quad (18)$$

где,  $\rho_{кр}$  – плотность испытуемого растворов при различных температурах в критической области;  $\rho_{кр}^*$  – плотность испытуемого образца при  $T$ ;  $T_{кр}$  – критическая температура; т.е. при  $P_{кр}=3,68 \text{ МПа}$ .

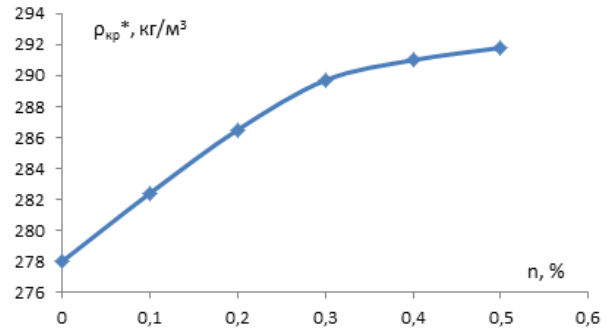
Соотношение (18) хорошо описывает результаты экспериментов, чему свидетельствует их хорошая согласованность на общей кривой (рисунок 14), уравнение которой имеет вид:

$$\frac{\rho_{кр}}{\rho_{кр}^*} = \left( -3,631 \left( \frac{T}{T_{кр}} \right) + 5,994 \left( \frac{T}{T_{кр}} \right)^2 - 1,3451 \right). \quad (19)$$

Значение  $\rho_{кр}^*$  - является функцией концентрации нано наполнителей  $\rho_{кр}^* = f(n)$ . Выполнимость выражения (18) показана на рисунке 15.



**Рисунок 14** Зависимость  $\frac{\rho_{кр}}{\rho_{кр}^*}$  от  $\left(\frac{T}{T_{кр}}\right)$  для исследуемых растворов



**Рисунок 15** Зависимость  $\rho_{кр}^* f(n)$  при  $T_{кр}$  для исследуемых растворов.

Кривая, показанная на рисунке 15 имеет следующее уравнение:

$$\rho_{кр}^* = \left[ 277,83 + 54,071 (n) - 52,143 (n)^2 \right] \cdot 10^{-3}, \left[ \frac{кг}{м.^3} \right] \quad (20)$$

где, T– измеряемый диапазон температур для исследуемых образцов в критической области в Кельвинах.

Из уравнения 19, с учетом 20 получим

$$\rho_{кр} = \left( -3,631 \left( \frac{T}{T_{кр}} \right) + 5,994 \left( \frac{T}{T_{кр}} \right) - 1,3451 \right) \left[ 277,83 + 54,07 (n) - 52,143 (n)^2 \right] \cdot 10^{-3}, кг/м^3 \quad (21)$$

С помощью уравнения (21), можно произвести расчет плотности экспериментально неисследованных веществ с учетом изменения температуры (320-466) К и давления P= 3,68 МПа с погрешностью 0,2% для чего следует располагать данными о концентрации добавляемых наночастиц

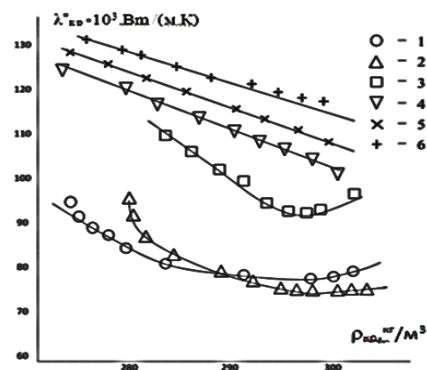
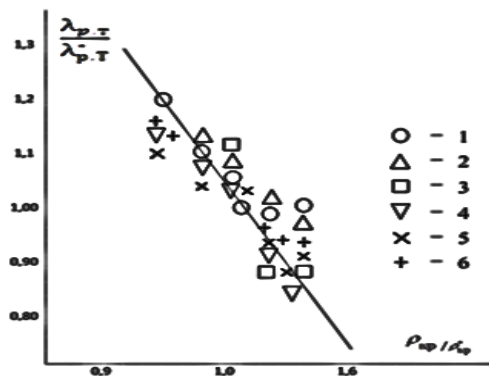
### **Взаимосвязь между критической температуропроводностью теплопроводностью и критической плотностью системы диэтилового эфира и углеродных нанотрубок**

Взаимосвязь выше эмпирическое уравнение тепло- и температуропроводности образцов, мы воспользовались законом термодинамического подоя и соответственных состояний

$$\frac{a_{кр}}{a_{кр}^*} = f \left( \frac{\rho_{кр}}{\rho_{кр}^*} \right) \quad (22)$$

где,  $a_{кр}, \lambda_{кр}^*$  – температуропроводность и теплопроводность образцов плотностью ( $\rho_{кр}$ ) в критической области,  $a_{кр}^*, \lambda_{кр}^*$  – температуропроводность и теплопроводность образцов при  $\rho_{кр}^*$ ;  $\rho_{кр}^*$  – плотность образцов  $\rho_{кр}^* = 278 кг/м^3$  (для этого случая);  $P_{кр} = 3,68 МПа$ .

Используя экспериментальные данные нами был построен график зависимости  $\lambda_{кр} f(\rho_{кр})$  (рисунок 17 и 18)



двух систем диэтилового эфира и углеродных нанотрубок

**Рисунок 17.** Зависимость теплопроводности от плотности исследуемых систем (диэтиловый эфир и углеродных нанотрубок) в критической области 1- диэтиловый эфир; 2- диэтиловый эфир + 0,1% ОСУНТ; 3- диэтиловый эфир + 0,2% ОСУНТ; 4- диэтиловый эфир + 0,3% ОСУНТ; 5- диэтиловый эфир + 0,4% ОСУНТ; 6- диэтиловый эфир + 0,5% ОСУНТ.

Соответственно рисунку 17, изменение теплопроводности образцов в критической области выполняется по различным закономерностям. Для жидкого диэтилового эфира с добавкой до 0,1 и 0,2% углеродных нанотрубок (ОСУНТ и МСУНТ) теплопроводность уменьшается по экспоненциальному закону, а для систем (диэтиловый эфир + 0,3% ОСУНТ), (диэтиловый эфир + 0,4% ОСУНТ), (диэтиловый эфир + 0,5% ОСУНТ),  $\lambda$  уменьшается линейно.

Корреляция теплопроводности образцов с их плотностью мы воспользовались следующим выражением

Выполнимость зависимости (24) графически изображено на рисунке 18.

Согласно рисунку 18, все экспериментальные значения  $\rho$  соответствуют общей прямой

Используя выражение (25), с учетом (26) получим

С помощью зависимости (27) с погрешностью до 2-3% можно произвести численное определение теплопроводности образцов в критической области параметров состояния, что требует знания концентрации УНТ и плотности образцов в критической области.

Графоаналитическая обработка полученных результатов опытов показала, что они ложатся вдоль отдельных кривых, которые определяются полиномами четвертой степени.

или

Значение коэффициентов, приведенных в уравнениях (28- 30) для критической области представлены ниже (таблицы 5 и 6).

**Таблица 5** - Коэффициенты полиномы четвертой степени для растворов системы диэтилового эфира и углеродных нанотрубок в критической области параметров состояния.

Образцы		Коэффициенты уравнения 29				
		$a_0 \cdot 10^5$	$a_1 \cdot 10^5$	$a_2 \cdot 10^5$	$a_3 \cdot 10^5$	$- a_4 \cdot 10^5$
1.	диэтиловый эфир	- 1.651	6.682	1.0	0.682	0.172
2.	диэтиловый эфир+ 0.1%ОСУНТ	- 1.346	5.404	0.813	0.544	0.136
3.	диэтиловый эфир+ 0.2%ОСУНТ	-0.335	1.341	0.201	0.134	0.034
4.	диэтиловый эфир+ 0.3%ОСУНТ	- 1.820	0.731	0.110	0.073	0.0184
5.	диэтиловый эфир+ 0.4%ОСУНТ	0.227	0.906	0.135	0.089	0.023
6.	диэтиловый эфир+ 0.5%ОСУНТ	0.227	0.906	0.135	0.089	0.023

**Таблица 6**- Коэффициенты полиномы четвертой степени для растворов системы диэтилового эфира и углеродных нанотрубок в критической области параметров состояния.

Образцы		Коэффициенты уравнения 30				
		$b_0 \cdot 10^5$	$b_1 \cdot 10^5$	$b_2 \cdot 10^5$	$b_3 \cdot 10^5$	$- b_4 \cdot 10^5$
1.	диэтиловый эфир	- 1.651	6.682	1.0	0.682	0.172
2.	диэтиловый эфир+ 0.1%ОСУНТ	- 1.346	5.404	0.813	0.544	0.136
3.	диэтиловый эфир+ 0.2%ОСУНТ	-0.335	1.341	0.201	0.134	0.034
4.	диэтиловый эфир+ 0.3%ОСУНТ	- 1.820	0.731	0.110	0.073	0.0184
5.	диэтиловый эфир+ 0.4%ОСУНТ	0.227	0.906	0.135	0.089	0.023
6.	диэтиловый эфир+ 0.5%ОСУНТ	0.227	0.906	0.135	0.089	0.023

Результаты анализа параметров  $\lambda_{кр}^{**}$  и  $a_{кр}^{**}$  показали, что они представляют собой функцию концентрации УНТ.

$$a_{кр}^{**} = (1,94 \cdot n + 0,5) \cdot 10^7, \text{ м}^2/\text{с} \quad (31)$$

$$\lambda_{кр}^{**} = (-0,0336 \cdot (n_{унт})^2 + 0,0673 \cdot n_{унт} + 0,101), \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (32)$$

С помощью выражений (29) и (30) с учетом (31) и (32) для вычисления температуро- и теплопроводности системы диэтилового эфира, как в чистом виде, так и с добавкой углеродных нанотрубок (ОСУНТ и МСУНТ) в критической области получим:

На основе уравнений (33) и (34) и выражений (31 и 32) можно получить следующие эмпирические уравнения:

Далее, в уравнениях (35) и (36) за основу были приняты выражения (33 и 34) и получены соответствующие полуэмпирические уравнения, позволяющие произвести расчет тепло- и температуропроводности, как изученных, так и неисследованных растворов диэтилового

эфира с добавлением в него УНТ (ОСУНТ и МСУНТ) при (293-673) К и  $P=3,68$  МПа. Погрешность расчета данными выражениями составляет 2-3% а в отдельных точках ~5,2%. Для произведения расчета следует располагать только данными о концентрации нанонаполнителя, плотностью в критической области и значениями коэффициентов (таблицы 5 и 6).

### **Результаты и выводы**

1. Модернизированы устройства для опытных исследований теплопроводности (методы регулярного теплового режима и нагретой нити), температуропроводности (метод лазерной вспышки) химически активных растворов в чистом виде, а также с добавкой в них различного количества углеродных нанотрубок (ОСУНТ и МСУНТ) при высоких параметрах состояния, включая критическую и закритическую области [1- А3- А5- А6- А8- А9- А11- А12- А13- А14- А16- А17- А18- А].
2. Выполнено тестирование нестационарной математической модели по определению теплообмена между ядром бикалориметра и внешним цилиндром путем сравнительного анализа итогов расчета с известными экспериментальными данными и расчетными данными других авторов. Результаты анализа показали удовлетворительное согласие [2- А4- А6- А8- А9- А15- А19- А21- А23- А].
3. Впервые получены экспериментальные данные по теплопроводности, температуропроводности системы диэтилового эфира с добавкой до 0,5% углеродных нанотрубок (ОСУНТ и МСУНТ), при температуре (298-673) К и давлении (3,68) МПа [1- А3- А5- 10- А].
4. Показано, что тепло- и температуропроводность изученных растворов при заданной температуре с ростом давления и с ростом температуры при постоянном давлении увеличиваются, плотность соответственно с ростом давления растет, а при повышении температуры уменьшается [1- А3- А5- А6- А8- А9- А11- А12- А].
5. Установлен аномальный рост тепло- и температуропроводности образцов в критической области; показано, что добавки углеродных нанотрубок в диэтиловый эфир изменяют его свойства, т.е. их добавка способствует увеличению данных параметров во всем диапазоне изменения температуры и давления [1- А5- А8- А11- А13- А16- А19- А20- А22- А].
6. При обработке экспериментальных данных во всем рассматриваемом диапазоне изменения температуры и давления, на основе закона термодинамического подобия и закона соответственных состояний по тепло-, температуропроводности изученных веществ, получен ряд эмпирических уравнений [2- А4- А6- А9- А15- А19- А21, А23- А].
7. Для численного определения теплопроводности использованы модели Максвелла и Дульнева Г.Н.; на основе экспериментальных данных по теплофизическим свойствам исследованных систем впервые рассчитаны критерии Грандтля и Михеева с учетом изменения температуры и давления [1- А3- А10- А12- А13- А9- А14- А15- А19- А].
8. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований приняты к использованию и внедрены в учебный процесс Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими и Таджикского государственного педагогического университета им. Садриддина Айни (Акты о внедрения прилагается).

### **Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы исследования диссертационной работы**

1. Разработанные новые варианты измерительных устройств (метод нагретой нити, устройство для определения коэффициента эффективной теплопроводности в зависимости от температуры при различных давлениях) используются магистрами, докторантами и студентами для исследования теплопроводности исследуемых наножидкостей (акты о внедрения приложены в Приложение диссертации) [115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132].
2. Полученные экспериментальные данные по теплопроводности, температуропроводности и плотности жидкого диэтилового эфира, как в чистом виде, так и содержащей до 0,5% ОСУНТ и МСУНТ при температуре (298 - 673) К и давлении (3,68) МПа, используются как

справочные данные при расчетах продуктов реакции (теплоносителя) в Солнечных коллекторах нового типа и составлении математической модели (получена два Малых патента Республики Таджикистан) [115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132].

3. Составлены подробные таблицы ТФС (теплопроводности, температуро-проводности) технически важных коллоидных наножидкостей на основе жидкого диэтилового эфира, так и содержащей до 0,5 % ОСУНТ и МСУНТ при температуре (298 - 673) К и давлении (3, 68) МПа, которые могут быть использованы проектными организациями в различных технологических процессах [115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132].
4. Полученную аппроксимационную зависимость можно использовать для расчета и прогнозирования теплопроводности и температуропроводности экспериментально неисследованных наножидкостей в широком интервале изменения параметров состояния (температура, концентрации наполнителя и плотность) включая критической и сверхкритической области параметров состояния [117, 118, 119, 121, 122, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 132].
5. Разработана и приведена математическая модель для расчёта времени нагрева твёрдой структуры каталитического нейтрализатора, учитывающего распределение тепловых потоков при нестационарном процессе нагрева [115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132].

*Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан*

[1-А]. **Раджабова, Д Ш** Термическая стабильность фуллеритов и расчет потенциала Леннарда-Джонса. / ММ Сафаров, ММ Гуломов, **Д Ш Раджабова**, Д Ш Хакимов/ Пли-технический вестник. Серия Интелект. Инновации. Инвестиции. Душанбе, № (40) – 2017. - С 66-77.

[2-А]. **Раджабова, Д Ш** Анализ применимости уравнение Тейга к различным классам веществ в конденсированном состоянии на примере плотности. I. вычисление плотности. / ММ Сафаров, ММ Гуломов, С С Рафиев, **Д Ш Раджабова** и др.// Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. ТНУ, Душанбе-2018, №2, - С 92-98

[3-А]. **Раджабова, Д Ш** Эффективная теплопроводность и коэффициент адсорбции многостенных углеродных нанотрубок (МСУНТ)-вода. / ММ Гуломов, ММ Сафаров, С С Рафиев, **Д Ш Раджабова**, и др.// Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. ТНУ, Душанбе, 2018, №2, - С 115-121.

[4-А]. **Раджабова, Д Ш** Влияние нанопорошка с эффектами памяти на поведение динамической вязкости теплоносителей при различных температурах и атмосферном давлении. / ММ Сафаров, МА Зарипова, М У. Умарализова, К Мирзоева, **Д Ш Раджабова**, Мтлаби Джаборзода. Теоретический и научно-практический журнал, Кишварз ТАУ имени Ш Шхтемур, Душанбе, 2(91), 2021. С 85-88. ISSN 2074-5435.

[5-А]. **Раджабова, Д Ш** Влияние углеродных нанотрубок на изменение температуропроводности жидкого диэтилового эфира, включая в критической области// Д Ш Раджабова / Вестник Технологического университета Таджикистан №3 (50) 2022. С 43-49.

*В других изданиях*

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

[7-А]. **Раджабова, Д Ш** Термодинамические свойства газообразных простых эфиров при различных температурах. Эксперимент и численные методы / ММ Сафаров, ММ Гуломов, МА Зарипова, **Д Ш Раджабова**, ХХ Ойматова и др.// Материалы международной научно-практической конференции «Независимость - основа развития



энергетики страны» 22-23 декабря 2017 года, Хатлонская область, Бохтарский район, Республика Таджикистан Псвятенный к празднованию дня энергетиков. - С 139-142.

[8-А]. **Раджабова, Д Ш** Исследование испаряемость жидкостей и их температуры кипения. / ММ Сафаров, Дж А Зарипов, ММ Гуломов, **Д Ш Раджабова**, МА Зарипова.// Материалы международную конференцию «Актуальные проблемы современной физики» посвященной 80-летию памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, док-тора физико-математических наук, профессора Нарзиева Б Н, Душанбе, 2018,- С 215-216.

[9-А]. **Раджабова, Д Ш** Математическое моделирование процесса сгорания и тепловыделения в цилиндре двигателя. / ММ Холиков, ММ Сафаров, ММ Гуломов, **Д Ш Раджабова** и др.// Материалы Республиканской научно-практической конференции “Техника и техно-логия: основные проблемы достижения и инновации”, Душанбе, 16 мая 2018.- С 109-112.

[10-А]. **Rajabova, DSh** Thermal conductivity of gaseous simple ethers at various temperatures with the account of MYNT clusters. / ММ Safarov, ММ Gulomov, МА Zari pova, **DSh Rajabova** et.// 20<sup>h</sup> Symposium on Thermophysical Properties, June 24-29, 2018 in Boulder, Colorado, -p423.

[11-А]. **Rajabova, DSh** Influence of di zopropyl ether on change of density of benzene. / М М Safarov, М М Gulomov, S S Rafiev, **DSh Rajabova**// 20<sup>h</sup> Symposium on Thermophysical Properties, June 24-29, 2018 in Boulder, Colorado, -p 278

[12-А]. **Rajabova, DSh** The Effect Of Silver Nanoparticles On The Change in Some Of The Thermodynamic Characteristics of Coolants In Coolers Collectors. /F Abdujalilzoda, М М Safarov, М.М. Gulomov, Т R Till oeva, МА Zari pova, **DSh. Rajabova** et.// XV Joint European Thermodynamic Conference. Barselone 21<sup>th</sup> - 24<sup>th</sup> May 2019, Abstracts book. - p 105

[13-А]. **Rajabova, D Sh** Influence Of Polymer and Carbon - Containing Systems on the Change in Thermodynamic Properties of Solvents. / М М Gulomov, Т R Till oeva, МА Zari pova, А А Khubat khuzin, Kh. H Oy matova, **DSh. Rajabova**// XV Joint European Thermodynamic Conference. Barselone 21<sup>th</sup> - 24<sup>th</sup> May 2019, Abstracts book. - p 107.

[14-А]. **Rajabova, DSh** Effect Of Temperature, Pressures, Concentrations Of Carbon Nanotubes On The Change in the Heat Capacity Liquids Diethyl Ether. / М М Safarov, М М Gulomov, **DSh Rajabova**, et.// XV Joint European Thermodynamic Conference. Barselone 21<sup>th</sup> -24<sup>th</sup> May 2019, Abstracts book. - p 32

[15-А]. **Раджабова, Д Ш** Уравнение Тейта для расчета вязкости, плотности электролитов и простых эфиров. / ФД Ймонов, ММ Гуломов, **Д Ш Раджабова**// Материалы Международной научной конференции на тему «Перспектива развития науки и образования», ТГУ имени акад. МС Осими, 2019,- С 286-289.

[16-А]. **Rajabova, DSh** Experimental study of thermal conductivity of liquid hydrocarbon mixtures at the addition of fillers in the m / A R Rajabov, S S Dzhumaev, М М Gulomov, М М Safarov, **DSh Rajabova**, Mtlaby Jabborzoda // Rostoc-2020, Germany, 8-9, October 2020, -p 58.

[17-А]. **Раджабова, Д Ш** Коэффициент изотермической сжимаемости и текучести некоторых органических водных растворов. / Мтлаби Джабборзода, **Д Ш Раджабова**, С С Джумбаев, ММ Гуломов, Ф Абдужалилзода и др.// Сборник статей республиканской научно-теоретической конференции на тему «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан», посвященной 60-летию химического факультета и памяти д.х.н., профессора, академика НАН РТ Нуманова Ишанкула Усмановича (12-14 сентября 2020 г).- С 47-49.

[18-А]. **Раджабова, Д Ш** Влияние добавки полимеров на изменение плотности и поверхностного натяжения некоторых углеводородов. / Мтлаби Джабборзода, **Д Ш Раджабова**, С С Джумбаев, ММ Гуломов, ММ Сафаров// Сборник статей республиканской научно-теоретической конференции на тему «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан», посвященной 60-летию химического

факультета и памяти д.х.н., профессора, академика НАН РТ Нуманова Ишанкула Усмановича (12-14 сентября 2020 г). - С 249-252.

#### **Патенты и свидетельства:**

[19-А]. Патент № ТҶ 923, 2017. Республики Таджикистан МПК С01 N 25/00. Устройства для определения коэффициента теплопроводности наножидкостей Раджабова Д Ши др - №1701147; заявл. 2017. 10. 10. опубл. 2018. 08. 01.

[20-А]. Патент № ТҶ 919, 2017. Комплексная солнечная установка для получения тепловой и электрической энергии / ММ Сафаров, Ф Абдужалилзода, МА Зарипова, М М, Гуломов ММ, С С Рафиев, Д Ш Раджабова, МБ Махмадиев и др.// Патент Республики Таджикистан №ТҶ 919, 2017.-5с.

[21-А]. Патент № ТҶ274/10, 2010. Республики Таджикистан Программа расчета границ несмешиваемости трехкомпонентных систем в системе Matlab. Раджабова Д Ши др. №0274; опубл. 2010. 08. 11.

[22-А]. Патент № ТҶ 275/10, 2010. Республики Таджикистан Программа расчета термодинамических двухкомпонентных систем в системе Matlab. Раджабова Д Ши др. №0275; опубл. 2010. 07. 30.

[23-А]. Патент № ТҶ 138, 2022. Республики Таджикистан Программа национальной поисковой системы «snj.tj» на языках программирования PHP, CSS и HTML. Раджабова Д Ши др. №138; опубл. 2022. 06. 01.

## АННОТАЦИЯ

к диссертации раджабовой Дилафруз Шухродовны на тему “Влияние углеродных нанотрубок на изменение теплопроводности и температуропроводности жидкого диэтилового эфира, включая критическую и закритическую области”, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника

**Ключевые слова:** диэтиловый эфир, углеродные нанотрубки, теплопроводность, плотность, температуропроводность, температура, давления, концентрация, критическая и закритическая область.

**Цель диссертационной работы** Разработка и создание экспериментальной установки для измерения тепло- и температуропроводности системы диэтилового эфира и углеродных нанотрубок ОСУНТ и МСУНТ (до 0,5%) в интервале температур (293-673) К включая критические и закритические области параметров состояния.

**Объект исследования:** Диэтиловый эфир и углеродные нанотрубки (ОСУНТ и МСУНТ).

**Основные методы научных исследований** При выполнении диссертационной работы для получения данных использованы метод цилиндрического бикалориметра, метод нагретой нити (теплопроводность) и акалориметра (температуропроводность) регулярного теплового режима первого рода.

**Научная новизна работы заключается в следующем** Усовершенствованы экспериментальные установки для исследования теплопроводности и температуропроводности. При сборке установок, учтены специфические особенности растворов, которые потребовали новых конструктивных и методических решений. Получены экспериментальные данные по теплопроводности и температуропроводности чистых компонентов диэтилового эфира с добавкой углеродных нанотрубок (до 0,5% ОСУНТ и МСУНТ) в интервале температур (293-673) К и давлений (3,68) МПа, включая критические и закритические области параметров состояния. Получены аппроксимационные зависимости для расчета теплопроводности и температуропроводности коллоидных растворов. По результатам экспериментальных данных и аппроксимационной зависимости произведены тепловые расчеты. Составлены таблицы экспериментальных данных по теплопроводности и температуропроводности исследуемых коллоидных растворов в критической и закритической области.

**Теоретическая и практическая значимость работы** Составлены подробные таблицы ТФС технических важных веществ (на основе диэтилового эфира) в широком интервале температур (293-673) К и давлений (3,68) МПа, которые могут быть использованы проектными организациями в различных технологических процессах; Результаты исследований теплопроводности, температуропроводности коллоидных растворов диэтилового эфира внедрены в Институте промышленности Министерства науки и новых технологий Республики Таджикистан в расчеты модельных химических реакторов и технологических процессов, и полученные экспериментальные данные используются в качестве справочных; Разработанные экспериментальные установки могут быть использованы для скоростного определения теплопроводности и температуропроводности технологических материалов в различных лабораториях; На основе диэтилового эфира созданная аппаратура служит для измерения теплопроводности и температуропроводности коллоидных растворов, используется в научных и учебных лабораториях кафедры Теплотехника и теплоэнергетика Таджикского технического университета имени академика МС Осими, а также кафедры общей физики Таджикского государственного педагогического университета имени С Айни.

**Личный вклад автора заключается:** включает постановку цели, выбор методов и разработку алгоритмов решения задач, поставленных при выполнении работы, определение главных закономерностей протекающей в теплофизических процессов при получении исследуемых коллоидных растворов, а также проведение экспериментальных исследований в реальных производственных условиях, полученные данные по теплопроводности и температуропроводности, переработка и анализ полученных исследований, формулирование основных выводов диссертационной работы, выбора средства и способов достижения поставленной цели для работы, анализировать результат исследования, подводить итог формулированных выводов, написание и публикаций статей и тезисов.

**Внедрение результатов работы** Результаты исследования приняты к использованию в Научно-исследовательском институте промышленности Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан и в учебном процессе в Таджикском государственном педагогическом университете им Садриддина Айни, в Таджикском техническом университете им академика МС Осими для специальности «Теплоэнергетика».

## ШАРҲИ МУХТАСАР

**ба рисолаи рачабова Дила фруз Шеходовна др мавзӯи “таъсири нанонайчаҳои карбонӣ ба тағйирёбии гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии эфири диэтилӣ мөъ ба назардошти соҳаҳои бӯхронӣ ва баъди бӯхронӣ”, барои дарёфтги дараҷаи илмӣ номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси**

### **01.04.14 – Физикаи гармо ва назарияи техникаи гармо**

**Вожакалимаҳо:** эфири диэтилӣ, нанонайчаҳои карбонӣ, гармигузаронӣ, зичӣ ҳароратгузаронӣ, ҳарорат, фишор, консентратсия, ҳудудҳои бӯхронӣ ва баъди бӯхронӣ.

**Мақсади рисолаи илмӣ:** таҳия ва сохтани дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои чен кардани гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии системаҳои эфири диэтилӣ ва нанонайчаҳои карбонӣ НЯК ва НБК (то 0,5%) дар ҳудуди ҳароратҳои (293-673) К бо назардошти ҳудудҳои бӯхронӣ ва баъди бӯхронии параметрҳои ҳолат.

**Объектҳои тадқиқотӣ:** Эфири диэтилӣ ва нанонайчаҳои карбонии (НЯК ва НБК).

**Усулҳои асосии тадқиқоти илмӣ.** Ҳангоми иҷрои рисола барои ба даст овардани маълумотҳо усули бикалориметри цилиндрӣ, усули ноқили тафсон (гармигузаронӣ) ва акалориметрӣ (ҳароратгузаронӣ), гармҷунии мунтазами чинси якум

**Навгониҳои илмӣ рисола инҳо мебошанд:** Дастгоҳҳои таҷрибавӣ барои тадқиқи гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронӣ такмил дода шуданд; Ҳангоми ҷамъоварӣ ва васли дастгоҳҳо хусусиятҳои конкретии маҳлӯлҳо ба назар гирифта шуданд, ки барои онҳо талаботҳои нави конструксионӣ ва методӣ талаб карда шуд; Маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии компонентҳои тозаи эфири диэтилӣ бо иловаи нанонайчаҳои карбонӣ (то 0,5% НЯК ва НБК) дар ҳудуди ҳароратҳои (203-673) К ва фишори (3,68) МПа, бо назардошти ҳудудҳои бӯхронӣ ва баъди бӯхронии параметрҳои ҳолат ба даст оварда шуд; Вобастагиҳои аппроксиматсионӣ барои ҳисоб намудани гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлӯлҳои коллоидӣ ба даст варда шуд; Аз рӯи натиҷаҳои маълумотҳои таҷрибавӣ ва вобастагиҳои аппроксиматсионӣ ҳисобкуниҳои ҳароратӣ гузаронида шуд. Ҷадвалҳои маълумотҳои таҷриба оид ба гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронӣ маҳлӯлҳои коллоидӣ тадқиқотӣ дар ҳудудҳои бӯхронӣ ва баъди бӯхронӣ тартиб дода шуд.

**Аҳамияти назариявӣ ва амалии рисола:** Ҷадвалҳои мушаххаси ҳосиятҳои гармофизикии маводҳои аз ҷиҳати техникӣ муҳим (дар асоси эфири диэтилӣ) дар ҳудуди васеи ҳарорат (293-673) ва фишори (3,68) МПа тартиб дода шуд, ки таҷрибаҳои лоиҳаҳои метавонанд дар равандҳои гуногуни технологӣ истифода баранд. Натиҷаҳои тадқиқи гармигузаронӣ, ҳароратгузаронии маҳлӯлҳои коллоидӣ эфири диэтилӣ дар Институти саноати Вазорати саноат ва технологияи нави Ҷумҳурии Тоҷикистон дар ҳисобкуниҳои амсиласозии реакторҳои химиявӣ ва равандҳои технологӣ татбиқи ҳудро ёфта, инчунин маълумотҳои таҷрибавӣ ба даст омада ба сифати маълумотномаҳои истифода мешаванд. Дастгоҳҳои таҷрибавӣ таҳия шуд метавонанд дар муайянкунӣ босуръати гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маводҳои технологӣ дар озмоишгоҳҳои гуногун истифода шаванд. Таҷриботи барои чен кардани гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии маҳлӯлҳои коллоидӣ дар озмоишгоҳҳои таълимӣ ва илмӣ кафедраи Техника ва энергетикаи гармои Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ, инчунин дар кафедраи Физикаи умумии Донишгоҳи давлатии омӯзгорӣ Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ хизмат мекунанд.

**Саҳми шахсии муаллиф инҳо мебошанд:** гузоштани мақсад, интихоби усулҳо ва коркарди алгоритмҳои ҳалли масъалаҳои дар рафти кор ба миён омада, коркард ва таҳлили натиҷаҳои ба даст оварда шуда, таҳияи хулосаҳои асосии рисола, интихоби воситаҳо ва усулҳои ноил шудан ба мақсади кор, таҳлили натиҷаҳои тадқиқот, ҷамъбасти хулосаҳои таҳия шуда, навиштан ва наҷри мақолаҳо ва фишурдаи мақолаҳо.

**Татбиқи натиҷаҳои рисола.** Натиҷаҳои тадқиқот барои истифода қабул карда шуданд; дар Институти тадқиқоти-илмӣ саноатии Вазорати саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон ва дар раванди таълим дар Донишгоҳи давлатии омӯзгорӣ Тоҷикистон ба номи Садриддин Айнӣ, Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ барои ихтисоси «Энергетикаи гармӣ» (санад оид ба натиҷаҳои татбиқ пешниҳод мешавад).

## Abstract

to the dissertation of Rajabova Dlafruz Shokhzodovna on the topic "The influence of carbon nanotubes on the change in thermal conductivity and thermal diffusivity of liquid diethyl ether, including critical and supercritical regions", submitted for the degree of candidate of technical sciences in the specialty

04/01/14 – thermal physics and theoretical heat engineering

**Key words:** diethyl ether, carbon nanotubes, thermal conductivity, density, thermal diffusivity, temperature, pressure, concentration, critical and supercritical region.

**Purpose of the dissertation work:** Development and creation of an experimental setup for measuring the thermal and thermal conductivity of a system of diethyl ether and carbon nanotubes SWCNT and MWCNT (up to 0.5%) in the temperature range (293-673) K, including critical and supercritical regions of state parameters.

**Object of study:** Diethyl ether and carbon nanotubes (SWCNT and MWNT).

**Basic methods of scientific research** When performing the dissertation work, the method of a cylindrical calorimeter, the method of a heated filament (thermal conductivity) and an calorimeter (thermal diffusivity) of a regular thermal regime of the first kind were used to obtain data.

The scientific novelty of the work is as follows: Experimental installations for studying thermal conductivity and thermal diffusivity have been improved. When assembling the installations, the specific features of the solutions were taken into account, which required new design and methodological solutions; Experimental data were obtained on the thermal conductivity and thermal diffusivity of pure components of diethyl ether with the addition of carbon nanotubes (up to 0.5% SWCNT and MWCNT) in the temperature range (293-673) K and pressure (3.68) MPa, including critical and supercritical regions of state parameters. Approximation dependencies were obtained for calculating the thermal conductivity and thermal diffusivity of colloidal solutions. Based on the results of experimental data and the approximation dependence, thermal calculations were made; Tables of experimental data on thermal conductivity and temperature conductivity of the studied colloidal solutions in the critical and supercritical regions have been compiled;

**Theoretical and practical significance of the work:** Detailed tables of TPS of technically important substances (based on diethyl ether) have been compiled in a wide range of temperatures (293-673) K and pressures (3.68) MPa, which can be used by design organizations in various technological processes; The results of studies of thermal conductivity, temperature conductivity of colloidal solutions of diethyl ether were introduced at the Institute of Industry of the Ministry of Science and New Technologies of the Republic of Tajikistan into the calculations of model chemical reactors and technological processes, and the obtained experimental data are used as reference; The developed experimental installations can be used for high-speed determination of thermal conductivity and thermal diffusivity of technological materials in various laboratories; Based on diethyl ether, the equipment created is used to measure the thermal conductivity and thermal diffusivity of colloidal solutions; it is used in scientific and educational laboratories of the Department of Heat Engineering and Thermal Power Engineering of the Tajik Technical University named after academician M.S. Gimi, as well as the Department of General Physics of the Tajik State Pedagogical University named after S. Anil.

**The author's personal contribution consists of:** setting a goal, choosing methods and developing algorithms for solving problems posed during the work, determining the main patterns of thermophysical processes occurring in the production of colloidal solutions under study, as well as conducting experimental studies in real production conditions, obtained data on thermal conductivity and thermal diffusivity, processing and analysis of the obtained research, formulation of the main conclusions of the dissertation work, selection of means and methods for achieving the set goal for the work, analyzing the result of the research, summing up the formulated conclusions, writing and publishing articles and theses.

**Implementation of work results.** The results of the study were accepted for use: at the Scientific Research Institute of Industry of the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Tajikistan and in the educational process at the Tajik State Pedagogical University named after. Sadriiddin Anil, at the Tajik Technical University named after. Academician M. S. Gimi for the specialty "Thermal Power Engineering".