

**ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДОНИШГОҶИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН**

ТДУ (УДК) 519:536. 424+538.9

Бо ҳуқуқи дастнавис

ТКБ (ББК) 22.31+22.311+22.317

Н - 41

НАҶМИДДИНИЁН АСАДУЛЛО МИРЗО

**ТАҲҚИҚИ АМСИЛАВИИ РАВАНДҶОИ ҒАЙРИҲАТТИИ
СТАТСИОНАРИИ ГАРМИГУЗАРОНӢ ДАР МУҲИТҶОИ
КОНДЕНСӢ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

**диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии доктори илмҳои физикаю
математика аз рӯи ихтисоси 05.13.18 – Амсиласозии математикӣ,
усулҳои ададӣ ва комплекси барномаҳо**

Душанбе – 2024

Кори илмӣ дар кафедраи мошинҳои ҳисоббарор, системаҳо ва шабакаҳои Донишгоҳи миллии Тоҷикистон анҷом дода шудааст.

Мушовири илмӣ: **Солихзода Давлат Қуват** - доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи физикаи назариявии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Муқарризони расмӣ: **Қобилов Маруф Маҳмудович** - доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи технологияи информатсионии Донишгоҳи славянии Руссия ва Тоҷикистон

Муҳаммадҷон Исмаи – доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи риёзиёт дар иқтисодиёти Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибқори Тоҷикистон;

Шарипов Бобоалӣ – доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи математикаи олии Донишгоҳи давлатии молия ва иқтисоди Тоҷикистон.

Муассисаи пешбар: Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Ҳимояи диссертатсия «12» -уми феввали соли 2025 соати 14:00 дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D.КOA-011 назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон (суроғай 734017, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдаки, 17) баргузор мегардад.

Бо диссертатсия ва автореферати он тавассути сомонаи www.tnu.tj ва дар китобхонаи илмии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон шинос шудан мумкин аст.

Автореферат «___» _____ соли 20___ фиристода шуд.

Котиби илмии Шӯрои диссертатсионӣ,
н.и.ф.м.



Ғафоров А.Б.

МУҚАДДИМА

Мубрамии мавзӯи таҳқиқот. Таҳқиқоти амсилавии равандҳои ғайрихаттии статсионари гармигузаронӣ дар муҳити конденсӣ аҳаммияти калон дорад. Муҳити конденсӣ (масалан, моеъ ва газҳо) дар бисёр соҳаҳои саноат ва технологияҳои баланд истифода мешаванд. Дарк намудани рафтори гармигузаронӣ дар ин муҳитҳо метавонад ба беҳтар кардани самаранокии энергия, таҳияи системаҳои сардкунӣ ва гармикунии нав ва инчунин, фаҳмидани равандҳои табиӣ кумак расонад.

Равандҳои гармигузаронӣ дар муҳити конденсӣ ба соҳаҳои гуногуни илмӣ ва технологӣ таъсири назаррас доранд. Дар муҳитҳои конденсӣ, ки дар онҳо гузариши гармӣ ба таври ғайрихаттӣ ва статсионарӣ рух медиҳад, таҳқиқи дақиқи ин равандҳо барои рушди технологияҳои муосир муҳим аст. Муҳитҳои конденсӣ ба таври васеъ дар соҳаҳои мухталиф, аз ҷумла, саноати кимиё, электроника, энергетика ва ҳифзи муҳити зист истифода мешаванд. Дар ин замина, таҳқиқи амсилавии равандҳои гармигузаронӣ аҳамияти афзоянда дорад.

Дар соҳаи саноати кимиё муҳити конденсӣ дар равандҳои истеҳсоли маҳсулоти химиявӣ, аз ҷумла, реакторҳои кимиёвӣ истифода мешаванд. Таъмини шароити мувофиқ барои гузариши гармӣ дар ин равандҳо барои самаранокӣ ва беҳатарии истеҳсолот муҳим аст. Масалан, таҳқиқи дақиқи гармигузаронӣ дар реакторҳои кимиёвӣ метавонад ба хубтар шудани шароити реаксия ва маҳсулнокии онҳо мусоидат намояд.

Дар соҳаи электроника муҳити конденсӣ барои сардкунии дастгоҳҳои электронӣ истифода мешаванд. Дар таҷҳизоти электронии муосир, ки бо суръати баланд кор мекунанд, гармӣ ба зудӣ ҷамъ мешавад. Агар ин гармӣ самаранок хориҷ нашавад, он метавонад боиси вайроншавии дастгоҳҳо ва коҳиши муҳлати истифодашавии онҳо оварда расонад. Аз ин лиҳоз, таҳқиқи амсилавии равандҳои гармигузаронӣ дар муҳитҳои конденсӣ барои тарҳрезии системаҳои сардкунии муассир ва беҳатар муҳим арзёбӣ мегардад.

Дар соҳаи энергетика муҳити конденсӣ дар системаи истеҳсоли энергия, аз ҷумла, нерӯгоҳҳои атомӣ ва таҷҳизоти истеҳсоли энергия аз манбаъҳои барқароршаванда истифода мешаванд. Таъмини гузариши гармии самаранок дар ин системаҳо барои баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ ва коҳиши истеъмоли захираҳои табиӣ муҳим аст. Масалан, дар нерӯгоҳҳои атомӣ таҳқиқи равандҳои гармигузаронӣ дар муҳити конденсӣ барои таъмини беҳатарии реактор ва пешгирии ҳодисаҳои нохуш хеле муҳим аст.

Дар соҳаи ҳифзи муҳити зист таҳқиқи равандҳои гармигузаронӣ дар муҳити конденсӣ барои фаҳмидани равандҳои табиӣ, аз ҷумла гардиши об ва муҳити атмосфера, муҳим аст. Таҳқиқоти мазкур метавонад ба беҳтар кардани пешгӯии ҳавошиносӣ ва таҳияи стратегияҳои мутобиқшавӣ ба тағйироти иқлим мусоидат кунад.

Таҳқиқоти амсилавии равандҳои ғайрихаттии статсионари гармигузаронӣ дар муҳити конденсӣ ба масъалаҳои мураккаби физикӣ ва муҳандисӣ равшанӣ меандозад. Бо дарназардошти хусусиятҳои ғайрихаттии

ин равандҳо таҳияи моделҳои дақиқ ва эътимоднок барои пешгӯӣ ва идоракунии равандҳои гармигузаронӣ муҳим маҳсуб меёбад.

Технологияҳои муосир, амсоли симулятсияҳои компютерӣ ва усулҳои амсилави, имкониятҳои навро барои таҳқиқ ва дарки равандҳои гармигузаронӣ имконоти нав фароҳам меоваранд. Масалан, бо истифода аз компютерҳои пуриктидор ва алгоритмҳои пешрафта муҳаққиқон метавонанд моделҳои мураккаби гармигузарониро таҳия ва таҳлил намоянд. Моделҳо ба муҳандисон имкон медиҳанд, ки тарҳрезии системаҳои самаранок ва бехатарро анҷом диҳанд.

Дар соҳаи тиб муҳитҳои конденсӣ дар барномаҳои термографӣ ва табобати гармии бофтаҳо истифода мешаванд. Дарёфти равандҳои гармигузаронӣ дар бофтаҳои инсон метавонад ба пешрафти табобати бемориҳо, мисли саратон, мусоидат кунад. Термотерапия, ки барои нобуд кардани ҳуҷайраҳои саратонӣ истифода мешавад, ба равандҳои гармигузаронӣ дар бофтаҳои организм асос ёфтааст. Таҳқиқоти амсилави метавонад ба бехтар намудани натиҷаҳои табобат ва коҳиш додани асари беморӣ кумак расонад.

Таҳқиқоти амсилави равандҳои ғайрихаттии статсионари гармигузаронӣ на танҳо дар амалия, балки дар раванди таълим ва таҳқиқоти академӣ низ аҳамияти калон дорад. Ин таҳқиқотҳо ба донишҷӯён ва муҳаққиқон имкон медиҳанд, ки дарк ва фаҳмиши амиқи равандҳои гармигузарониро дар муҳити гуногун пайдо кунанд. Таҳқиқоти амсилави ҳамзамон чун воситаи омӯзиши муассир барои омӯзиши мавзӯҳои мураккаби физикӣ ва муҳандисӣ хизмат мекунад.

Ояндаи таҳқиқоти амсилави равандҳои гармигузаронӣ метавонад имкониятҳои зиёдеро фароҳам орад. Бо рушди технологияи компютерӣ ва алгоритмҳои пешрафта муҳаққиқон метавонанд моделҳои дақиқтар ва мураккабтарро таҳия кунанд. Пажӯҳишҳои минбаъда метавонанд ба омӯхтани таъсири вижагӣ ва мушаххасоти гуногун, амсоли тағйироти ҳарорат, фишор ва таркиби химиявӣ ба раванди гармигузаронӣ роҳ кушоянд.

Таҳқиқи амсилави равандҳои ғайрихаттии статсионари гармигузаронӣ дар муҳити конденсӣ аҳамияти калони илмӣ ва амалӣ дорад. Таҳқиқотҳо метавонанд ба рушди технологияҳои муосир, баланд бардоштани самаранокии истеҳсолот, таъмини бехатарӣ дар системаҳои энергетикӣ ва бехтар дарк кардани равандҳои табиӣ мусоидат намоянд. Дар оянда рушди моделҳои амсилави дақиқтар ва усулҳои амсилави пешрафта ба рушди назарраси соҳаҳои гуногуни илм ва техника мусоидат хоҳад кард.

Дарачаи таҳқиқи мавзуи илмӣ. Дар аксарияти корҳои пешин амсилаи сӯзиши газ дар тафсдони андозааш охиринок пешниҳод шудааст, ки дар он як силсила шароити зарури ҷудокунанда барои речаҳои гуногуни сӯзиш муайян шуда, бо роҳи тағйирдиҳии хусусиятҳои геометрии таҷҳизот, суръати воридкунии газ ва ҳарорати тафсдон танзим карда мешаванд. Нишон дода шуда буд, ки майлқунии адади Люис *Le* аз як ба тавсифоти речаҳои статсионарӣ таъсири назаррас мерасонад, ҳол он ки дар аксарияти корҳои назариявии то ин замон маълум ин омил мавриди назар қарор дода шудааст. Афзоиши бемайлони интишороти илмӣ дар

робита ба ин самт баёнгари мавҷудияти таваҷҷуҳи хоси олимон ба равандҳои сӯзиш дар муҳити дарунҳолӣ ё ковок мебошад. Он масъалаи таҳияи амсилаҳоеро ба миён мегузорад, ки нопуррагии равандҳои физикиро дар вазъи мавҷуда ба назар мегирад. Масалан, асарҳои И.А. Андреев «Критические условия теплового взрыва для антикаталитической реакции горения с учётом теплопередачи» (1996), А.А.Самарский, П.Н.Вабищевич «Вычислительная теплопередача» (2003), В.И.Байков, Н.В.Павлюкевич «Теплофизика. Т.1. Термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика» (2013) ва В.И.Байков, Н.В.Павлюкевич, А.К.Федотов, А.И.Шнип «Теплофизика. Т.2. Термодинамика необратимых процессов, теория конвективного теплообмена, перенос энергии теплового излучения, процессы переноса и фазовые превращения в твёрдых телах» (2014).

Дар марҳилаи ибтидоии рушди назарияи сӯзиш бояд номҳои В.А. Михельсон (Россия), Р. Daniell, D.L. Chapman (Англия), М. Bertelot, Е. Jouguet, Р. Vieille, Taffanel (Франсия) ва дигаронро бояд зикр кунем.

Дар қатори мактаби кинетикаи химиявӣ мактабҳои замонавии сӯзиши Я.Б. Зельдович, Д.А. Франк-Каменецкий, К.И. Щелкин, К.К. Андреев, А.Я. Апин, А.Ф. Беляев, Л.А. Вулис, Ю.А. Победоносцев, П.Ф. Похил, А.С. Соколик, Л.Н. Хитрин, Е.С. Щетинков, А.Г. Мержанов, В.Н. Вилунов ва дигарон ба амал омаданд, ки татбиқи амалии натиҷаҳои нави илмиро ба сатҳи комилан нав бароварданд. Ин дастовардҳо моёи ифтихори собиқ замони шӯравӣ буданд ва имрӯзҳо низ дар фазои пасошӯравӣ боқӣ монда, эътирофи умумичаҳонӣ пайдо кардаанд.

Равнақи босуръати илми хориҷӣ дар бораи сӯзиш дар мисоли мактабҳои бузург (калон) дар ИМА (В. Lewis, G. von Elbe, Th. von Karman, S.S. Penner, G.V. Kistiakowsky, M. Summerfield, A.K. Oppenheim, G.H. Markstein, F.A. Williams и др.), Британияи Кабир (Р. Gray, D.V. Spalding, A.G. Gaydon, H.G. Wolfgard, F.J. Weinberg), Фрасия (N. Manson, R. Delbourgo, M. Barrere), Германия (W. Iost), Венгрия (Z.G. Szabo), Лаҳистон (S. Wojcicki), Япония (S. Kumagai) ва мамоликҳои дигар ба назар мерасад.

Мусаллам аст, ки дар муҳити амволу ашё паҳншавии гармӣ ҳама вақт бо ҳаракати унсурҳои сохторӣ алоқаманд аст. Агар раванди интиқоли гармӣ мураккаб бошад, пас, барои таҳқиқи он аз натиҷаҳои ҷамъбасти усулҳои гуногуни содда истифода карда мешавад.

Мушкилоти таҳқиқи тағйироти назарраси физикӣ дар фазо ва амсилакунонии онҳо ҳанӯз дар ибтидои асри XX пайдо шуда буд. Бо ин зумра мушкилот Н.Н. Семенов, Д.А. Франк-Каменецкий, Я.Б. Зельдович, Л.Д. Ландау ва дигарон машғул буданд. Мубрамияти хосро дар нимаи асри XX масъалаи таҳқиқи равандҳои комилан нави хаттӣ ва ғайрихаттӣ дар системаҳои кушода касб мекунад. Алалхусус, барои системаҳои сӯзиш суръати баланди хуручи гармӣ дар суръатҳои нисбатан пасти хароҷоти маводи сӯхт хос ва табиӣ аст.

Бинобар пайдошавии мушкилоти мухталиф дар доираи силсилаи фанҳои илмӣ амсоли кинетикаи химиявӣ, физикаи химиявӣ, гармо-

физика, механикаи муҳити якфазавӣ ва бисёрфазавии реаксиякунанда дар аксарияти муассисаҳои илмӣ ҳангоми ҷустуҷӯи ҳалҳои муодилаҳои ҳатӣ ва ғайриҳатӣ имконияти ҳалли муаммо бо истифода аз усулҳои тахминӣ ва техникаи муосири компютерӣ пайдо шуд. Усулҳои тахминии коркардшуда барои аксарияти муодилаҳои физикаи математикӣ имконияти амсилакунони адабии аксарияти масъалаҳоро, аз ҷумла, масъалаҳои ҳатӣ ва ғайриҳатии гармигузарониро дар системаҳои сӯзиш фароҳам меоранд. Дар ҷараёни таҳқиқ ва ҳалли баъзе масъалаҳои ҳатӣ ва ғайриҳатии сӯзиш мафҳуми ба ном речаи устуворҳо ва ноустуворҳо (баръаксҳо) дохил карда шуда буд. Бо таҳқиқ таҳлили чунин муаммоҳо А.Н. Колмогоров, И.Г. Петровский, Н.С. Пискунов «Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием вещества, и его применение к одной биологической проблеме» (1937), Самарский, Г.Г. Еленин, Н. В. Змитренко ва диг. «Горение нелинейной среды в виде сложных структур» (1977), С.П. Курдюмов, Е.С. Куркина, А.Б. Потапов, А.А. Самарский «Сложные многомерные структуры горения нелинейной среды» (1986), Г.Г. Еленин, С.П. Курдюмов, А.А. Самарский «Нестационарные диссипативные структуры в нелинейной теплопроводной среде» (1983), А.Г. Мержанов, «К квазистационарной теории теплового взрыва» (1961), А.Г. Мержанов, А.Г. Струнина «Закономерности теплового взрыва в условиях нагрева с постоянной скоростью» (1965) ва дигарон машғул буданд.

Омӯзиши равандҳои физикӣ-химиявӣ ва гармофизикӣ дар системаҳои гетерогении дар ҳолати таъсири мутақобилаи химиявӣ қарордошта ба аҳамияти махсус дороанд, чунки ҳар кадоме аз ин реаксияҳо, масалан, сӯзиш, дар таркиби системаҳои комили мухталиф метавонад ҷой дошта бошад. Аз ҷумла, дар системаҳои якфазавӣ ва бисёрфазавии аз рӯи таркиби химиявиашон якҷинса ва ғайриҷинса (баркашидаҳои газӣ, муҳитҳои ковок ва ҳубобчавӣ ва ғ.). Мутобиқан, раванди сӯзиш дар системаҳои гуногун дар ҳолати умумӣ на танҳо табиқоти химиявиро дарбар мегирад, балки дорои спектри васеи ҳодисаҳои дигари гармофизикӣ ва механикӣ, амсоли гармомассаинтиқол (гармигузаронӣ, диффузия, конвексия ва диг.), гузаришҳои фазавӣ, кашиши сатҳӣ, нурафканӣ, ҳодисаҳои мавҷӣ, турбулентнокӣ ва ғайра мебошад.

Истифодаи усулҳои адабии дар координатҳои ортогоналӣ қарордошта ба таҳлили масъалаи системаҳои муодилаҳои дифференциалӣ имконият медиҳад, то аз шарҳи содакардашудаи амсилаи математикии раванд мунсариф шавем ва бар ивази он нақшаи фарқкунандаи устуворро, ки ба таҷзияи муодилаҳо аз рӯи равандҳои физикӣ ва самтҳои фазой асос меёбад, ба кор барем. Барои баланд бардоштани савияи дақиқии ҳисобҳо бо ин усул турҳои фарқии бар асоси принципи вариатсионӣ сохташуда истифода бурда мешаванд.

Барои ҳалли адабии муодилаҳои ҳолати статсионари сӯзиши гармӣ то ба имрӯз шумораи калони нақшаҳои фарқӣ коркард шудаанд: В.А. Дородницын «Об инвариантных решениях уравнения нелинейной

теплопроводности с источником» (1982); А.А. Самарский «Теория разностных схем» (1983); А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич «Вычислительная теплопередача» (2003); Е.Г. Быкова, В.В. Шайдуров «Двумерная неоднородная разностная схема повышенного порядка точности» (1997) и «Неоднородная разностная схема четвертого порядка точности в области с гладкой границей» (1998); Р.Ш. Гайнутдинов «Тепловой взрыв полого цилиндра при граничных условиях третьего рода» (2004); В.Е. Ведь, В.А. Иванов, С.Ф. Лушпенко, Ю.М. Мацевитый «Определение теплопроводности керамических материалов с помощью решения обратной задачи теплопроводности» (1991); В.Е. Селезнев «Численный анализ пожарной опасности магистральных газопроводов» (2005); С.И. Фадеев, В.В. Когай «Нелинейные краевые задачи для систем обыкновенных дифференциальных уравнений на конечном отрезке» (2008) ва диг.

Махдудиятҳое, ки болои устуворияти нақшаҳои аён гузошта мешаванд, ҳарчоти барзиёди вақти мошинавиро талаб мекунанд ва дар як қатор ҳолатҳо онҳо аз назари иқтисодӣ, аз ҷумла, ҳангоми ҳали масъалаҳои статсионарӣ бо усули муқаррарӣ бесамар мегардонанд. Нақшаҳои фарқии ноаёни В.А. Дородницын «Об инвариантных решениях уравнения нелинейной теплопроводности с источником» (1982) махдудиятҳои заифро нисбат ба устуворнокӣ доранд. Нақшаи А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич «Вычислительная теплопередача» (2003), бешубҳа, устувор аст, вале аз ҳосияти консервативнокӣ ӯрӣ аст. Дар ин қорҳо нақшаи фарқии ноаён вале устувор пешниҳод карда шудааст, ки ба таҷзияи муодилаҳои ибтидоӣ аз рӯи равандҳои физикӣ ва тағйирёбандаҳои фазоӣ асос меёбад ва дар ҳолати статсионарӣ консерватив мебошад.

Пажуҳишҳои номбаршуда имкон медиҳанд фарз кунем, ки дар сурати интенсификации муҳталифи сӯзиш сохторҳои гармии дар речаи муташанниҷ инкишофёбанда шаклҳои гуногунро мегиранд, ки дорои ҳосиятҳои гуногун мебошанд. Бояд зикр кард, ки дар зинаи авҷии равандҳои бештар мураккаби ғайрестатсионарӣ, нишонаҳои равшан ба чашм мерасанд, ки ба яке аз ин речаҳо ҳосанд.

Ҳамин тариқ, омӯзиши равандҳои физикӣ-химиявӣ ва гармофизикӣ дар системаҳои гетерогении химиявӣ реаксияшаванда, бешубҳа, масъалаи рӯзмарра ва мубрам аст. Ин ҳодисаҳо, махсусан, дар раванди сӯзиши саҳталангавӣ ё сӯзиши газӣ бештар ба мушоҳида мерасанд. Ҳамаи ин дар якҷоягӣ ҷустуҷӯи усулҳои нав ва беҳкунии усулҳои мавҷудаи таҳлили амсилаҳои математикиро талаб менамояд. Барои таҳлили ҳалли масъалаҳои тақсимооти статсионарии сели гармӣ дар вобастагӣ ба ҳарорат дар муҳити конденсӣ усули танзимкунонӣ ва ҳамвории фазавӣ васеъ истифода мегардад. Пажуҳиши мазкур маҳз ба тақвияти усулҳо ва истифодаи онҳо барои тасвири амсилавии масоили тақсимооти статсионарии сели гармӣ вобаста ба ҳарорат дар муҳити конденсӣ бахшида шудааст.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоихаҳо) ва мавзӯҳои илмӣ. Таҳқиқоти диссертатсионӣ дар доираи нақшаи корҳои илмӣ – таҳқиқоти кафедраи мошинаҳои ҳисоббарор, системаҳо ва шабакаҳои факултети физикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон тибқи амалишавии нақшаи илми-таҳқиқоти мавзӯҳои бучавӣ, рақами қайди давлатӣ № 0122ТҚ1430 (01.01.2021-31.12.2025) «Моделсозии математикӣ, физикӣ ва компютери равандҳои физикӣ ва тадқиқоти он» ва лоихаи тадқиқоти бунёдии рақами қайди давлатӣ № 0121ТҚ1177 ба қайд гирифта шудааст. (01.01.2020-31.12.2024) "Моделҳои мавҷҳои наноқабат ва таҷрибаҳои ҳисоббарори раванди интиқоли гармӣ дар муҳити конденсатшуда, иҷро гардидааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот омӯзиши равиши гармидиҳӣ дар ҷараёни сӯхтани муҳити конденсатсияшуда бо ёрии модели таҳлилӣ ва рақамӣ мебошад. Дар ин замина, вобаста ба вобастагии ҳарорати хусусиятҳои гармӣ ва назорати ҷараёни гармӣ, амалҳои дахлдор роҳандозӣ мегарданд.

Вазифаҳои таҳқиқот. Барои расидан ба ҳадафи таҳқиқот масъалаҳо ва вазифаҳои зерин гузошта шудаанд:

- коркарди амсилаҳои математикӣ ва компютерӣ бо назардошти танзими ҷараёни гармӣ ва вобастагии ҳарорати хусусиятҳои гармофизикии равандҳои ғайрихаттии статсионарӣ бо нишондиҳандаҳои (схемаҳои) муқоисавӣ ва аналитикӣ;
- коркарди барномаҳои компютерӣ барои муайян намудани тақсимои ҳарорат ва ҷараёни гармӣ бо усулҳои ададӣ;
- мукамал гардонидани ҳалли масъалаҳои канорӣ барои системаи муодилаҳои равиши статсионарии ғайрихаттии гармӣ бо усулҳои рақамӣ (ададӣ) ва аналитикӣ;
- гузаронидани таҳқиқоти таҳлилӣ ва рақамӣ (ададӣ) барои муайян намудани ҳолати мувозинатӣ ва шароити бӯҳронӣ;
- вобаста ба ҳали масъалаҳои вобаста ба системаҳои динамикии ғайрихаттии умумӣ муайян намудани ҳалли муодилаҳои ғайрихаттии статсионарии гармигузаронӣ;
- амсиласозии математикӣ ба раванди сӯхтани маводҳои конденсӣ бо дарназардошти мубодилаи гармӣ бо муҳити атроф.

Объекти таҳқиқот. Масъалаҳои мустақим, бархилоф ва ғайримустақими марбут ба физикаи ҳолати конденсӣ, гармофизика ва гармотехника.

Предмети таҳқиқот. Муқаррар кардан, таҳлил ва муқоисаи натиҷаҳо дар шароити сӯхтани муҳити конденсӣ дар атрофи нуқтаҳои бӯҳронӣ.

Навгонии илмӣ таҳқиқот. Навгонии таҳқиқот дар муқаррароти зерин зухур меёбад:

✓ бори нахуст амсилаи математикӣ дар раванди статсионарии ғайрихаттӣ гармигузаронӣ дар муҳити конденсӣ таҳия шудааст;

✓ схемаҳои муқоисавӣ ва афзори математикӣ, ки нисбат ба афзорҳои маълуми дигар бартарӣ дорад, дар шакли ифодаҳои аналитикӣ коркард шудааст, ки он метавонад масъалаҳои нави амалиро ҳал кунад;

✓ қонуниятҳои паҳншавии статсионарии ҳарорат дар муҳит муайян гардида, дар ҳамвории фазавӣ ҳолати мувозинатии ҷараёни гармӣ ва ҳарорат тасвир шудааст;

✓ барномаи компютерӣ дар забони барномасозии C++ Builder барои моделсозии вобастагии дастгоҳ аз тақсимооти ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ коркард шудааст, ки чунин татбиқи ҳангоми муқоисаи ниҳойӣ дар ҳолати дуҷониба истифода мешавад;

✓ усулҳои математикӣ барои ҳалли муодилаи сӯзиш бо ёрии таҳқиқи ададӣ дар атрофи нуқтаҳои махсус навсозӣ шудаанд. Дар натиҷа, исбот шудааст, ки ҳодисаҳои таркиши гармӣ ва даргирӣ (алангагирӣ) равандҳои гуногун нестанд, балки речаҳои гуногуни ҳамон як раванд мебошанд;

✓ дар муҳити конденсӣ ҳолати мувозинатӣ ва шароити гармомубодила муайян карда шудааст, ки ҳамвориро ба соҳаҳои устувор ва ноустувор ҷудо мекунад ва шартҳои устувории ҳалли масъалаҳои назарияи сӯзиши гармигузаронии статсионарӣ мебошад.

Нуқтаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

➤ бо дарназардошти танзими ҷараёни гармӣ ва вобастагии ҳароратии хусусиятҳои гармофизикӣ моделсозии равандҳои ғайрихаттии статсионарии гармӣ дар муҳитҳои конденсӣ;

➤ амсилаҳои равандҳои сӯхтан дар муҳитҳои конденсӣ дар шакли ҳал намудани масъалаҳои сӯхтани гармӣ дар ҷисмҳои цилиндрӣ ва куравӣ, инчунин паҳншавии гармӣ дар девори ҳамвор бо дарназардошти мубодилаи гармӣ бо муҳити атроф;

➤ шароити устуворӣ ва ноустуворӣ, қонуниятҳои паҳншавии статсионарии ҳарорат дар муҳит ва муайян кардани он;

➤ барномаи компютерӣ барои ҳалли ададии муодилаи тавозуни гармии системаи гармидиҳӣ бо истифода аз усули Эйлер ва усули Рунге-Кутта, санҷиш ва таҳлили натиҷаҳо;

➤ ба соҳаҳои устувор ва ноустувор тақсим намудани ҳамворӣ дар муҳити конденсӣ, инчунин, муайян намудани ҳолати мувозинатӣ ва шароити гармомубодила;

➤ барномаҳо барои татбиқи нақшаҳои таҳлилӣ ва муқоисавӣ дар ҳақиқати ададии муодилаи сӯзиш дар координатҳои лагранжӣ таҳияшуда.

Аҳамияти назариявӣ ва илмию амалии таҳқиқот. Натиҷаҳо иборат аз он аст, ки усулҳои таҳлилӣ ва ададии пешниҳодшуда метавонанд барои коркарди амсилаҳои речаҳои ҳароратии муҳитҳои конденсӣ дар ҳолати таъсири лаппишҳои даврии ҳароратӣ, ҳалли масоили илмии гармофизика, инчунин дар раванди таълим ҳангоми хондани курсҳои махсус, иҷрои

корҳои курсӣ, хатм ва магистрӣ истифода бурда шаванд, равияи методологии ягонаи коркардшуда барои таҳқиқи майдони ҳароратӣ дар муҳити конденсӣ дар шароити таъсири гармии даврӣ метавонад барои таҳияи технологияҳои принсипан ҷадид дар соҳаҳои гуногуни илм ва техника, хоса, гармотехника истифода бурда шавад. Маҷмӯи ифодаҳои таҳлилӣ ва нақшаҳои муқоисавии ҳосилшуда барои низоми статсионари муодилаҳои гармомубодила ҳангоми сӯзиши маводҳои конденсии андозаҳояшон охиринок метавонад дар ҳали масоили мухталифи амалии сӯзиш ба кор бурда шавад.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо. Натиҷаҳои ба дастмада бо истифодаи асоснокии амсилаҳои физикӣ-математикии ба раванди воқеии гармигузаронӣ дар муҳити конденсӣ мувофиқ, дарёфти усулҳои ҳалли таҳминӣ таҳлилӣ ва адабии масъалаҳои мураккаб ва мухталифи гармигузаронӣ, ки аз суръати паҳншавии ҳарорати бефосила вобастаанд, тобеияти сели гармӣ аз хосиятҳои гармофизикӣ ва термодинамикии объектҳо, инчунин асоснокии назариявии натиҷаҳо, ниҳоят, мутобиқати онҳо бо натиҷаҳои дигар муаллифон тасдиқ мегардад.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Диссертатсия ба мундариҷаи бандҳои зерини шиносномаи ихтисоси 05.13.18 - амсиласозии математикӣ, усулҳои адабӣ ва муҷтамаъӣ барномаҳо мувофиқ аст:

- банди 1. Коркарди усулҳои математикии нави амсиласозии объектҳо ва ҳодисаҳо;

- банди 2. Инкишофи усулҳои сифатӣ ва таҳминӣ таҳлилии таҳқиқи амсилаҳои математикӣ;

- банди 3. Коркард, асосноккунӣ ва озмоиши усулҳои босамари ҳисоббарорӣ бо истифода аз технологияҳои компютери муосир;

- банди 4. Пӣдасозии усулҳои адабии босамар ва алгоритмҳо ба намуди маҷмӯи барномаҳои муаммой-тамоюлотӣ барои гузаронидани таҷрибаи ҳисоббарорӣ;

- банди 5. Таҳқиқи маҷмӯии муаммоҳои илмӣ ва техникӣ бо истифода аз технологияи муосири амсиласозии математикӣ ва таҷрибаи ҳисоббарорӣ;

- банди 6. Коркарди усулҳои математикии ҷадид ва алгоритмҳои тафтиши мутобиқати амсилаҳои математикии объектҳо бар асоси маълумоти таҷрибаи воқеӣ;

- банди 7. Коркарди усулҳои математикии нав ва алгоритмҳои шарҳи таҷрибаи воқеӣ бар асоси амсилаи математикии он;

- банди 8. Коркарди системаҳои амсиласозии компютерӣ ва тақлидӣ.

Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои таҳқиқот. Натиҷаҳои таҳқиқот дар семинарҳои илмии факултети физика ва кафедраи "Мошинҳои ҳисоббарор, системаҳо ва шабакаҳо"-и Донишгоҳи миллии Тоҷикистон (2018-2023); конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявии ҳайати профессорон ва кормандони ТНУ (Душанбе, 2019-2023); конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ "Вазъи муосири тадқиқот дар соҳаи мушкilotи физика-техника ва маводшиносӣ дар Ҷумҳурии Қирғизистон" (ЧК, шаҳри Бишкек, 2016); IV - умин конференсияи

байналмилалии илмӣ-амалии “Илм дар ҷаҳони муосир: назария ва амалия (ФР, шаҳри Уфа, 29-30 сентябри соли 2016); конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ “Аҳамияти илми физика дар рушди техника ва технологияи муосир” бахшида ба 20-солагии омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илм ва маориф (Хучанд, 9 феввали соли 2023); конференсияи байналмилалии илмӣ "Проблемаҳои муосири физикаи ҳолати конденсӣ" бахшида ба 75-солагии таъсиси Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, эълони гардидани соли 2025 соли ҳифзи пирияхҳо ва 80-солагии зодрузи корманди Шоистаи Тоҷикистон, барандаи Ҷоизаи Бюрои байналмилалии Патентии Аврусиё ва Ҷоизаи АМИ Тоҷикистон ба номи С.Умаров, д.и.ф.м., профессор Туйчиев Шарофиддин (Душанбе, 24-25 октябри соли 2023); Маводҳои конференсияи илмӣ-назариявӣ ҷумҳуриявӣ омӯзгорон, кормандони Институти илмию таҳқиқотии ДМТ “Ҳафтаи илм бахшида ба 75-солагии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, 115-солагии академик Бобочон Ғафуров, соли 2023 соли забони русӣ ва соли 2025 соли байналмилалии ҳифзи пирияхҳо (Душанбе, 20-27 апрели соли 2023); конференсияи илмӣ - методии ҷумҳуриявӣ “Моделсозии математикӣ ва компютери равандҳои физикӣ” (Душанбе, 2019, 2023) ва ғайра.

Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия. Оид ба мавзӯи рисола 14 мақолаи илмӣ дар нашрияҳои тақризшаванда аз рӯйхати КОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва 15 мақолаи дигар дар нашриётҳои мухталиф ва маводҳои конференсияҳои илмӣ ба таъб расидааст.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Рисолаи илмӣ мазкур аз 255 саҳифа бо матни таҳриргари матнии Microsoft Word ҳуруфчинӣ шуда, аз муқаддима, панҷ боб, хулоса, 310 номгӯ рӯйхати адабиёт, замима, 107 расм ва 4 ҷадвал иборат мебошад.

МУҲТАВОИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

Дар муқаддима аҳамият ва муҳаббатҳои мавзӯи рисола, ҳадаф, вазифаҳои таҳқиқот, нағзони илмӣ ва нуқтаҳои ба ҳимоя пешниҳодшуда асоснок карда шудаанд.

Боби аввали кор ба таҳлили адабиёт бахшида шуда, усули тасвири амсилавии ҳалҳои таҳлилий ва адабии тақсимоти ғайрихаттии ҳарорат дар муҳити конденсӣ оварда шудааст.

Дар боби дуввум амсилаи тақсимоти ғайрихаттии ҳарорат дар муҳити конденсӣ оварда шудааст.

Дар фасли 2.1 ҳалли таҳлилии амсилаи вобаста ба ҳолати статсионари тақсимоти ғайрихаттии ҳарорат дар муҳити конденсӣ пешниҳод шудааст.

Дар ин ҳолат системаи муодилаҳои дифференсиалиро дида мебароем:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} - \eta_1 T, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \eta_2 q, \end{cases} \quad (1)$$

ки ин чо ҳарорат $T = T(x)$, зичии сели гармӣ ($\text{Вт}/\text{м}^2$) (K), $q = q(x)$ буда, $\eta_1 = (\mu - 1) / [x + \varepsilon - (\mu - 1)(x + \varepsilon)^\mu]$ (м^{-1}) ва $\eta_2 = [1 - \mu(\mu - 1)(x + \varepsilon)^{\mu-1}] / [x + \varepsilon - (\mu - 1)(x + \varepsilon)^\mu]$, (м^{-1})- компонентаҳо мебошанд. Агар $\eta_1 + \eta_2 = 0$, $\mu = 0$ мешавад $\mu = 1$ мешавад, ҳангоми $\eta_1 + \eta_2 = 2/(x + \varepsilon)$, $\mu = 2$ зарф шакли кураро мегирад. Бузургии ε , ($0 \leq \varepsilon < 1$) - параметри хурд мебошад. $\varphi(T)$ - гармомубодилаи чисро бо муҳити атроф ифода мукунад.

Барои устуворӣ ва ҳолати мувозинатии система муодилаҳои (1) – ро ба намуди (2) ифода мекунем.

$$\begin{cases} -\frac{q}{\lambda} - \eta_1 T = 0, \\ \varphi(T) - \eta_2 q = 0. \end{cases} \quad (2)$$

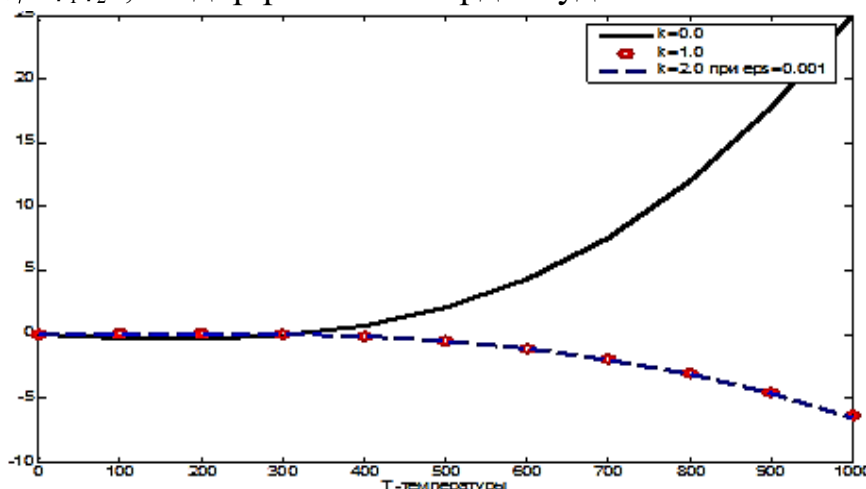
Аз ҳалли (2) нуқтаи махсус муайян карда шавад.

Бузургии q - ро меёбем, ки

$$q = \frac{\lambda(\eta_1 k T + \varphi(T))}{\lambda \eta_2 - k}, \quad \text{ҳангоми } \lambda \eta_2 \neq k. \quad (3)$$

Бо истифода аз (3) ҳисобкунии ададии вобастагии ҳароратии зичии сели гармиро меёбем, ки $\varphi(T) = \alpha_1 T - \alpha_2 T^3$.

Ҳангоми $q = \varphi(T)/\eta_2$ ё $q = -\lambda \eta_1 T$ танҳо як ҳолати статсионарӣ мавҷуд аст $T = -\varphi(T)/\lambda \eta_1 \eta_2$, ки дар расми 1 оварда шудааст.



Расми 1. Вобастагии ҳароратии сели гармӣ

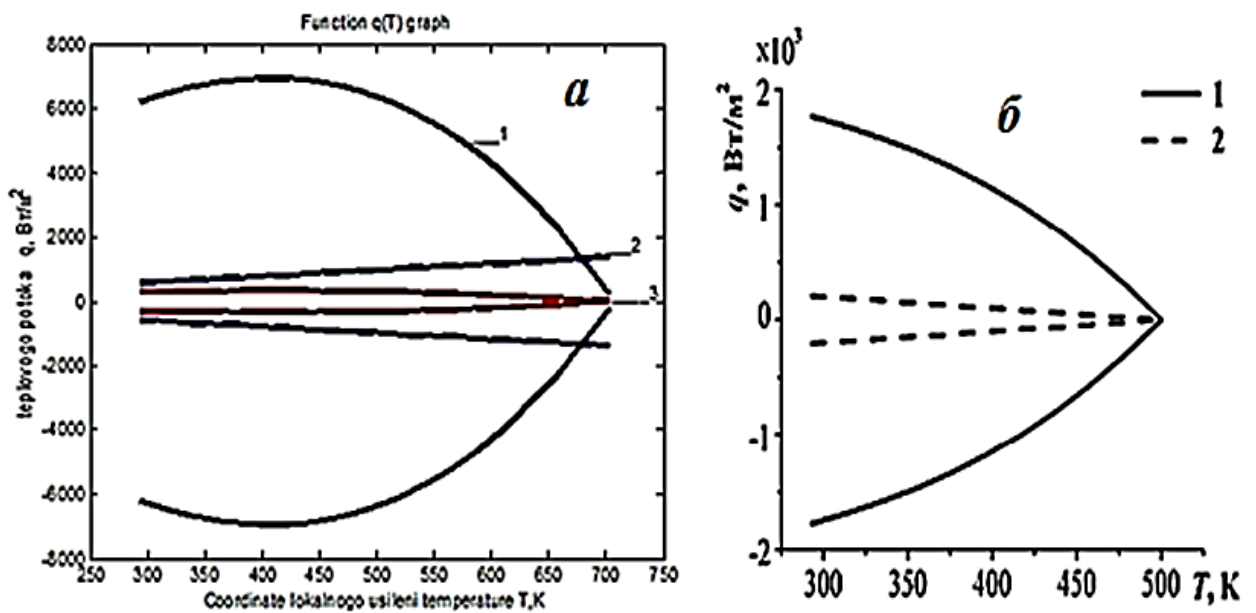
Дар фасли 2.2 амсилаи тақсмоти статсионарии гармӣ ҳангоми манбаъҳои дарунии вобастаи ҳарорат ва тафсидан оварда шудааст.

Ҳангоми $x = x_0 = 0$ ва $x = x_n = h$ бошад.

$$\begin{aligned} \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} &= 0 \quad \text{у} \quad q|_{x=0} = 0; \\ -\lambda \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=h} &= \alpha(T_1 - T_2) \quad \text{у} \quad q|_{x=h} = \alpha(T_1 - T_2), \end{aligned} \quad (4)$$

ки ин чо T_1 - ҳарорат дар аввал ва T_2 - ҳарорат дар охир мебошанд.

Ҳалҳои масъалаҳои ғайрихаттӣ дар расми 2 оварда шудаанд.



Расми 2. Вобастигии сели гармӣ аз ҳарорат дар ҳамвории фазавӣ

Дарачабандии (градиенти) ҳароратро дар кишр бо истифода аз ин усули ҳали ададӣ ҳисоб карда метавонем.

Як ҳолати статсионарии $T = -\varphi(T)/(\eta_1 k)$ мавҷуд аст. Массайи реаксияшавандаи майдони ҳароратии мунтазам ҳангоми гармкунӣ дар ин ҳолат ба вуқӯ меояд.

Дар фасли 2.3 тасвири амсилавии паҳншавии статсионарии гармӣ дар муҳити шакли ҳамвор бо истифода аз системаи муодилаҳои дифференсиалии зерин оварда шудааст:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} + \frac{T}{x + \varepsilon}, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \frac{q}{x + \varepsilon}, \end{cases} \quad (5)$$

ки дар ин ҷо ε - параметри танзимкунӣ мебошад.

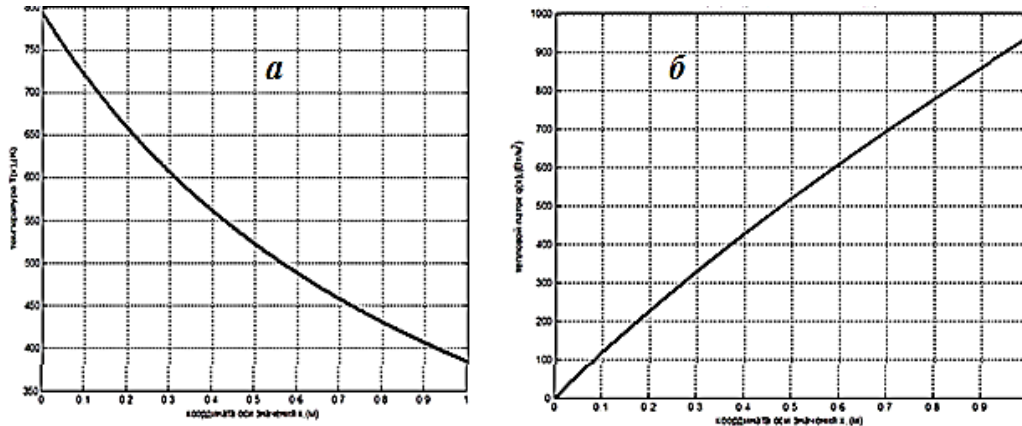
Чуноне ки дар фасли 2.1 нишон дода шудааст, табдили фазавӣ дар атрофи нуқтаи махсуси $(q(x_*), T(x_*))$ ба амал меояд. Яъне, зарурати идоракунии раванди сӯзиш дар атрофи ин нуқта ба миён меояд.

Ҳалли умумии (5) намуди зеринро дорад:

$$T(x, \varepsilon) = \frac{(x + \varepsilon) \left[(2\varepsilon - 1)x - 2\varepsilon(\varepsilon - 1) \right]}{\lambda(1 - x - \varepsilon)(2\varepsilon - 1)} (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3) - \left[1 - \frac{\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3}{(2\varepsilon - 1)\alpha(T_1 - T_2)} \cdot \frac{(\varepsilon - 2h(2\varepsilon - 1))(1 - h - \varepsilon) - (h - \varepsilon)^2(2\varepsilon - 1)}{(1 - h - \varepsilon)^2} \right] \cdot \left(\frac{h + \varepsilon}{\lambda} + (x + \varepsilon) \right) \alpha(T_1 - T_2),$$

$$q(x, \varepsilon) = \frac{(\varepsilon - 1)(x + \varepsilon)}{(2\varepsilon - 1)(1 - x - \varepsilon)^2} (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3) + \frac{(\varepsilon - 1)(h + \varepsilon)^2 (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3)}{(2\varepsilon - 1)(1 - h - \varepsilon)^2 (x + \varepsilon)} - \frac{h + \varepsilon}{x + \varepsilon} \alpha (T_1 - T_2). \quad (6)$$

Дар расми 3 натиҷаҳои ҳисобкуниҳои ададӣ дар асоси (6) оварда шудааст. Аз расм маълум аст, ки зичии сели гармӣ бо афзоиши андозаҳои ҳарорат ва зичии сели гармӣ ба намуди хаттӣ меафзояд, бо афзоиши координатаи ҷисм x - ҳарорати он ғайрихаттӣ паст мешавад.



Расми 3. Вобастагии ҳарорат (а) ва зичии сели гармӣ (б)

Вобастагии сели гармиро аз ҳарорат ба намуди (7) дида мебароем:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} + \frac{1}{x + \varepsilon} T, \\ \frac{dq}{dx} = \alpha_1 T - \alpha_2 T^3 - \frac{1}{x + \varepsilon} q. \end{cases} \quad (7)$$

Дар ин ҷо $T = T(x)$ - ҳарорат, $q = q(x)$ - зичии сели гармӣ, λ - зарифи гармигузаронӣ, x - координатаи Ox .

Зичии сели гармиро (7) муайян мекунем:

$$q = \frac{\lambda(x + \varepsilon)(\alpha_1 T - \alpha_2 T^3) - \lambda k T}{\lambda - k(x + \varepsilon)}. \quad (8)$$

Натиҷаро ба (7) гузошта, T - ро меёбем:

$$T = \pm \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{\lambda^2 k}{\alpha_2(x + \varepsilon)[\lambda(2\lambda - 1) + k(1 - \lambda)(x + \varepsilon)]}}. \quad (9)$$

Пасон, ин қимати T - ро ба (8) гузошта, ифодаи ниҳоиро барои зичии сели гармӣ ба намуди зерин пайдо мекунем:

$$q(x, \varepsilon) = \pm \frac{\lambda^3 k}{(\lambda - k(x + \varepsilon))[\lambda(2\lambda - 1) + k(1 - \lambda)(x + \varepsilon)]} \cdot \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{k\lambda^2}{\alpha_2(x + \varepsilon)[\lambda(2\lambda - 1) + k(1 - \lambda)(x + \varepsilon)]}} \quad (10)$$

Қиматҳои α_1 ва α_2 аз

$$-\lambda \left. \frac{dT(x)}{dx} \right|_{x=x^*} = q(x^*)$$

муайян карда мешаванд.

$$-\lambda \left. \frac{dT(x)}{dx} \right|_{x=x^*} = q(x^*), \quad \left. \frac{d}{dx} \left(-\lambda \frac{dT(x)}{dx} \right) \right|_{x=x^*} = \left. \frac{dq}{dx} \right|_{x=x^*} \quad (11)$$

Аз (11) бармеояд, ки

$$\alpha_1 = \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \quad (12)$$

Шарти (11)-ро ба назар гирифта, қимати (12) -ро ба ифодаҳои (9) ва (10) гузошта, α_2 -ро меёбем:

$$\alpha_2 = \frac{1}{2T^{*2}} \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \left(\sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \quad (13)$$

Қиматҳои α_1 ва α_2 ба (9) ва (10) гузошта, T ва q муайян мекунем.

Бо истифода аз (12) ва (13) ҳисобкунии ададии вобастагии зарифи мутаносибро аз нуқтаҳои тири координатии Ox ва параметри хурдро барои λ қимати $0,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ иҷро мекунем.

Вобастагиҳои зарифҳои α_1 ва α_2 дар ҷадвали 1 оварда шудаанд.

Ҷадвали 1.

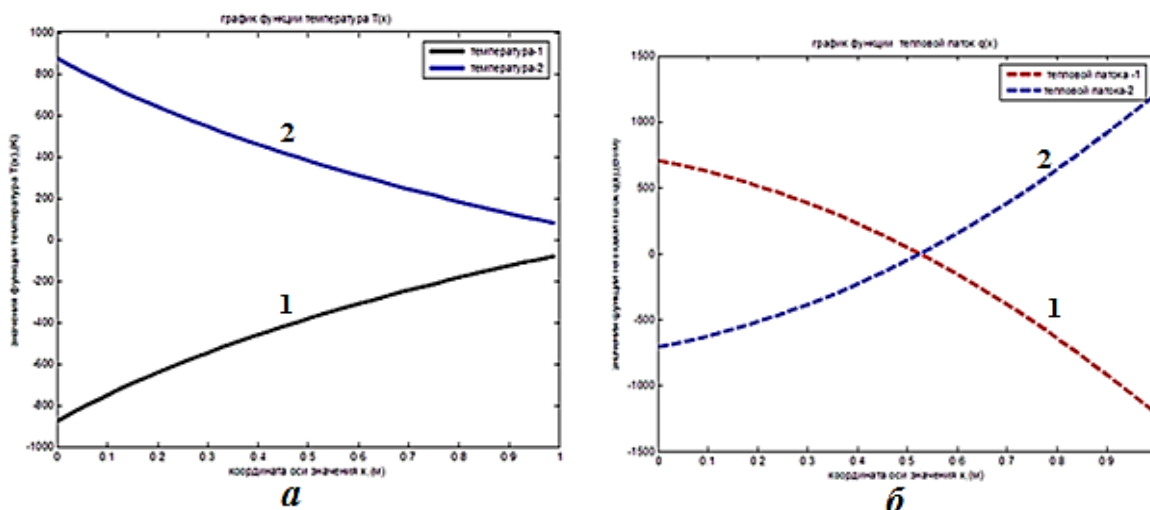
Вобастагиҳои зарифҳои мутаносибии α_1 ва α_2

x	0,0030	0,0060	0,0090	0,0120	0,0150	0,0180	0,0210	0,0240	0,0270	0,030
α_1	236,88	243,586	249,956	256,030	261,837	267,399	272,739	277,874	282,819	287,59
α_2	0,0011	0,0012	0,0012	0,0012	0,0013	0,0013	0,0013	0,0014	0,0014	0,0014

Нуқтаи ҳаққонияти формулаи (11) $x=0,03$ мебошад, ки ҳарорат қимати зеринро мегирад:

$$\sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}} = \sqrt{\frac{287,5893 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})}{0,0014 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}^3)}} = 453,23 \text{ К}.$$

Бо истифода аз (9) ва (10) ҳисобкунии ададии вобастагии зичии сели гармиро аз ҳарорат иҷро мекунем, ки дар расми 4 оварда шудаанд.



Расми 4. Вобастагиҳои ҳарорат (а) ва зичии сели гармӣ (б)

Аз расми 4 дида мешавад, ки рафтори баракси сели гармӣ ҳангоми зиёдшавӣ, афтиши ғайрихаттии он мушоҳида мешавад.

Дар фасли 2.4 таҳқиқи амсилваии паҳншавии статсионарии гармӣ дар муҳити цилиндршакл дида баромада шудааст. Аз рӯи тағйирёбандаҳои q ва T масъалаи тасвири амсилваии гармомубодила дар муҳити статсионарии цилиндри оварда мешавад:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda}, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \frac{q}{x+\varepsilon}, \end{cases} \quad (14)$$

ки ин ҷо параметри хурд ε ($0 \leq \varepsilon \ll 1$) аст.

Қимати T ва q -ро меёбем:

$$T = \pm \frac{\sqrt{A\alpha_1} \exp(-f_2(x, \alpha_1, \alpha_2 k, \varepsilon))}{\sqrt{\alpha_2} \sqrt{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}}, \quad (15)$$

$$q(x, \varepsilon) = \pm \frac{\alpha_1 \sqrt{A\alpha_1} \lambda (x+\varepsilon) \exp(-f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{\sqrt{\alpha_2} (\lambda - k(x+\varepsilon)) \sqrt{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}} * \frac{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - 2A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}, \quad (16)$$

ки дар ин ҷо

$$f_1(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) = [\lambda - k(x+\varepsilon)] \frac{2\alpha_2^2 \lambda}{\alpha_1 k^2}, \quad f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) = \frac{\alpha_2^2}{\alpha_1 k} (x+\varepsilon), \quad k = \frac{\lambda}{\varepsilon},$$

$$A = \varepsilon \cdot (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3).$$

Қиматҳои α_1 ва α_2 аз ифодаҳои (15) ва (16) муайян мекунем:

$$\alpha_1 = \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x+\varepsilon))} - \frac{\lambda}{x+\varepsilon} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \sqrt{k(3\lambda + k(x+\varepsilon))} - \frac{\lambda}{x+\varepsilon} \right), \quad (17)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2T^{*2}} \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \left(\sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right). \quad (18)$$

Аз ифодаҳои (17) ва (18) ҳисоби ададиро барои қимати $\lambda = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ иҷро мекунем. Дар ҷадвали 2 натиҷаҳои ҳисобҳо оварда шудаанд.

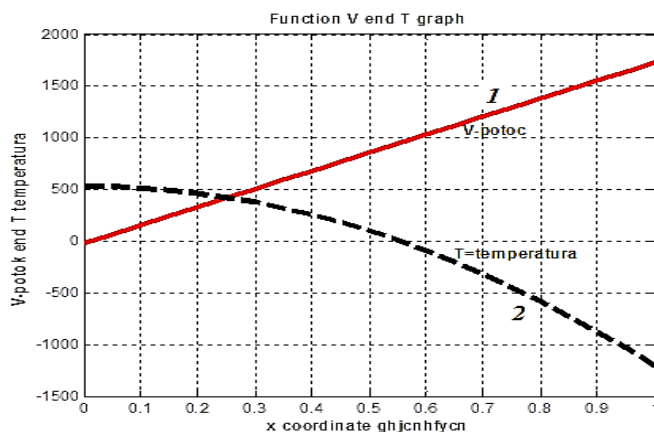
Ҷадвали 2.

Вобастагии коэффитсенти таносубии α_1 ва α_2

№ п/п.	x	α_1	α_2	x	α_1	α_2
0	0.0000	236.8854	0.0011	0.0300	238.9327	0.0011
1	0.0003	236.9060	0.0011	0.0600	240.9477	0.0012
2	0.0006	236.9266	0.0011	0.0900	242.9317	0.0012
3	0.0009	236.9473	0.0011	0.1200	244.8855	0.0012
4	0.0012	236.9679	0.0011	0.1500	246.8103	0.0012
5	0.0015	236.9885	0.0011	0.1800	248.7071	0.0012
6	0.0018	237.0091	0.0011	0.2100	250.5766	0.0012
7	0.0021	237.0298	0.0011	0.2400	252.4198	0.0012
8	0.0024	237.0504	0.0011	0.2700	254.2374	0.0012
9	0.0027	237.0710	0.0011	0.3000	256.0303	0.0012
10	0.0030	237.0916	0.0011	0.3300	257.7991	0.0013

Дар ҳолати $\varphi(T) = \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)$ натиҷаҳои ҳисоби ададӣ дар расми 5

оварда шудааст, ки параметрҳои зерин истифода гардидааст: $q_v = 8 \cdot 10^3$, $T_{\text{ж}} = 273\text{К}$, $\alpha = 5$, $\lambda = 23$, $h = (\sqrt{3.4.5} - 1) / (\sqrt{3.4.5} + 1)$, $\varepsilon = 0.001(0.0002, 0.003)$, $N = 20$.



Расми 5. Вобастагии зичии ҷараёни гармӣ (1) ва ҳарорат (2)

Аз расми 5 маълум аст, ки зичии сели гармӣ дар муҳити цилиндри бо афзоиши ҳатти меафзояд, ҳарорат бошад ғайрихатӣ паст мешавад.

Дар фасли 2.5 таҳқиқоти дар боло гузаронидашуда дар муҳити курравӣ дида баромада шудааст.

Дар боби сеюм натиҷаҳои усулҳои ҳисобии тасвири амсилавии ҳалли ғайриҳаттии тақсимои ҳарорат дар муҳити конденсӣ оварда шудаанд.

Дар боби мазкур афзори математикӣ ба намуди нақшаҳои муқоисавӣ коркард шудааст, ки бо ёрии он муодилаҳои статсионари куллан нави физикӣ ва математикӣ бо коэффисиентҳои тағйирёбанда ва доимӣ метавон ҳал кард.

Дар фасли 3.1 тасвири амсилавии ҳалли адабии масъала таҳқиқ гардида, тақроршавии амалиёти якхела шароити мувофиқро барои истифодаи технологияҳои муосири иттилоотӣ фароҳам меорад. Ба шарофати ин, самаранокии кор ба таври назаррас боло меравад.

Дар фасли 3.2 тасвири амсилавии ҳалли адабӣ дар муҳити шакли ҳамвор пешниҳод шудааст. Бигузур, системаи муодилаҳои дифференсиалии намуди (19) дода шуда бошад.

$$\begin{cases} q_k = \frac{1}{x_k + \varepsilon} T_k + \lambda \varepsilon_1, \\ \varphi(T_k) = \frac{1}{x_k + \varepsilon} q_k - \varepsilon_2. \end{cases} \quad k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

Нақшаи муқоисавӣ ба чунин намуд амалӣ мегардад:

$$\frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{T_{k+1} - T_{k-1}} = \frac{\lambda q_k - \lambda(x_k + \varepsilon)(\varepsilon_2 + \varphi(T_k))}{(x_k + \varepsilon)(\lambda \varepsilon_1 - q_k) - \lambda T_k}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (20)$$

Барои ҳалли статсионарӣ бо усули муқарраркунӣ ба сифати оператори устуворкунанда системаҳои номувофиқи устуворкунандаи (19) интиҳоб карда мешаванд. Ҳангоми $\varepsilon_1 \neq q_k / \lambda$ ва $T_k \neq (x_k + \varepsilon)q_k / \lambda - (x_k + \varepsilon)\varepsilon_1$ нуқтаҳои статсионарӣ аз муодилаи $(x_k + \varepsilon)(\varepsilon_2 + \varphi(T_k)) - q_k = 0$ ёфта мешавад.

Азбаски системаи дискретӣ бо (20) тасвир карда мешавад, он гоҳ нуқтаи расиш бо ифодаи

$$\frac{\lambda q_k - \lambda(x_k + \varepsilon)(\varepsilon_2 + \varphi(T_k))}{(x_k + \varepsilon)(q_k - \lambda \varepsilon_1) - \lambda T_k} = M_k, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (21)$$

муайян мегардад.

Барои ҳолати $M_k \neq \lambda / (x_k + \varepsilon)$ аз (21) метавон қимати функсияи туриро ҳосил кунем:

$$q_k = \frac{\lambda(x_k + \varepsilon)(\varepsilon_2 - M_k \varepsilon_1)}{\lambda - M_k(x_k + \varepsilon)} - \frac{\lambda[(x_k + \varepsilon)\varphi(T_k) - M_k T_k]}{\lambda - M_k(x_k + \varepsilon)}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (22)$$

Шарти $\varepsilon_2 = M_k \varepsilon_1$ ($k = 1, 2, 3, \dots$) иҷро гардад, он гоҳ

$$T_k^1 = 0, \\ T_k^2 = -\sqrt{\frac{\alpha_1 - M_k}{\alpha_2(x_k + \varepsilon)}}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots).$$

$$T_k^3 = \sqrt{\frac{\alpha_1 - \frac{M_k}{\alpha_2(x_k + \varepsilon)}}{\alpha_2}}, \quad (k=1,2,3,\dots).$$

$$M_k \varepsilon_1 = \varepsilon_2 \quad (k=1,2,3,\dots).$$

Шарти бӯхрониро меёбем:

$$T_{k+1} = T_{k-1} + \frac{2h(x_k + \varepsilon)}{\lambda - M_k(x_k + \varepsilon)} \varphi(T_k) + \frac{2h(\lambda - 2(x_k + \varepsilon)M_k)}{(x_k + \varepsilon)(\lambda - M_k(x_k + \varepsilon))} T_k,$$

$$q_{k+1} = q_{k-1} + 2h \frac{2\lambda - M_k(x_k + \varepsilon)}{\lambda - M_k(x_k + \varepsilon)} \varphi(T_k) - \frac{2h\lambda N_k}{(x_k + \varepsilon)(\lambda - M_k(x_k + \varepsilon))} T_k. \quad (23)$$

($k=1,2,\dots$).

Тазаккур медиҳем, ки барои гиреҳҳои дохили нуқтаҳои қабати k -вобастагӣҳои ҳосилшуда системаи тартиби $(n-1)$ -умро ташкил медиҳанд.

Дар фасли 3.3 ҳалли ададии амсилаи вобастагии тақсимои статсионари ҳарорат ва сели гармӣ дар муҳити шакли цилиндрӣ оварда шуда, дар асоси усули фасли 3.2 натиҷаҳои ҳисобкуниҳо барои муҳити зерин ҳосил карда шудаанд. **Дар фасли 3.4** ҳалли ададӣ дар муҳити шакли куравӣ оварда шудааст.

Дар боби 4 ҳалли таҳлилӣ ва ададии амсилаи тақсимои ҳарорат дар муҳитҳои конденсии дупараметра баррасӣ шудааст.

Дар фасли 4.1 масъалаҳои навъи зерин дида баромада шудаанд:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = f(x, y), \quad (24)$$

$$u(x, 0) = \varphi(x), \quad \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} = \psi(x), \quad (25)$$

Ҳалли тақрибии (24)-ро бо шартҳои (25) бо истифода аз усули аналитикӣ ёфтани мумкин аст. Роҳҳои сохтани усулҳои аналитикии ҳалли (24) бо истифода аз қатори ададии (26) ва (27)

$$u(x, y) = \sum_{k=0}^{\infty} y^k (a_k(x) + b_k(x)), \quad (26)$$

$$a_0(x) = \varphi(x), \quad a_1(x) = 0, \quad b_0(x) = 0, \quad b_1(x) = \psi(x), \quad (27)$$

дида баромада шудаанд.

Дар фасли 4.2 усули дарёфти ҳалҳои тахминии таҳлилии тақсимои статсионари дупараметрии ҳарорат дар муҳити конденсӣ пешниҳод мегардад.

Дар ин сурат ҳал ба шакли зерин навишта мешавад:

$$u(x, y, \mu, \lambda) = \varphi(x) + y\psi(x) + \sum_{k=1}^N (-1)^k \frac{y^{2k}}{k!} \left[\sum_{n=0}^k C_n^k Z_n(x) + y \sum_{n=0}^k C_n^k R_n(x) \right], \quad (28)$$

ки ин ҷо

$$Z_k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (-1)^k s^{2k} \Phi(s) \exp(-isx) ds, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N, \quad (29)$$

$$R_k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (-1)^k s^{2k} \Psi(s) ds, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (30)$$

Ҳамин тариқ, вобастагии бефосилаи паҳншавии статсионарии гармӣ аз ҳарорат тахминан сохта шуд.

Дар фасли 4.3 усули табдилдиҳии интегралҳои Фурье ва танзимкунии он пешниҳод шудааст. Дар ин ҷо масъалаи (24)-(25)-ро ба намуди

$$u_{\alpha}(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} g(s, \alpha) \left(\Phi_0(s) \operatorname{Ch}(ys) + \Psi_0(s) \frac{\operatorname{Sh}(ys)}{s} \right) \exp(-isx) ds \quad (31)$$

дорем, ки дар ин ҷо $g(s, \alpha)$ - дорой хосиятҳои (24)-(30) мебошад.

Дар фасли 4.4 бо истифода аз ифодаҳои (30) ва (31) таҷрибаи ҳисобӣ гузаронида шудааст.

Ҳалли аниқи масъала бо функсияи паҳншавии гармӣ намуди зеринро дорад

$$u(x, y) = \frac{b-y}{(b-y)^2 + (a-x)^2} + \frac{b-y}{(b-y)^2 + (a+x)^2}. \quad (32)$$

Функсияи ибтидоии паҳншавии гармӣ

$$\varphi(x) = \frac{b}{b^2 + (a-x)^2} + \frac{b}{b^2 + (a+x)^2},$$

мебошад, функсияи сели гармӣ

$$\psi(x) = \frac{b^2 - (a-x)^2}{b^2 + (a-x)^2} - \frac{b^2 - (a+x)^2}{b^2 + (a+x)^2},$$

ва сели гармии ангефта

$$\tilde{\psi}(x) = \frac{b^2 - (a-x)^2}{b^2 + (a-x)^2} - \frac{b^2 - (a+x)^2}{b^2 + (a+x)^2} + \delta \frac{b^2 - (a_1-x)^2}{b^2 + (a_1-x)^2} - \frac{b^2 - (a_1+x)^2}{b^2 + (a_1+x)^2}$$

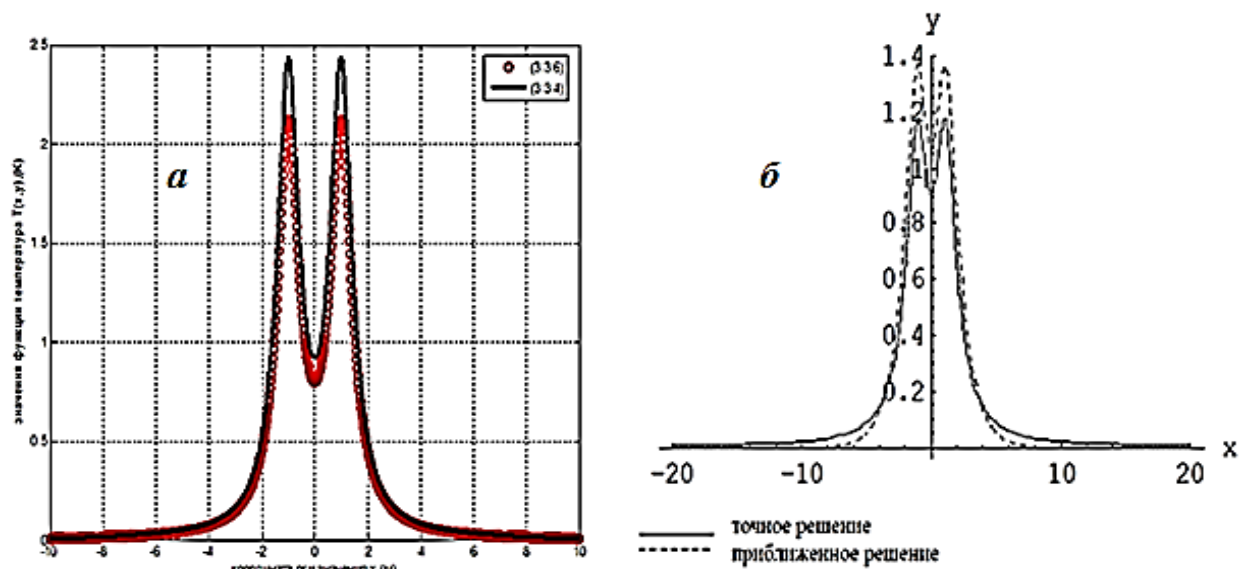
мебошад.

Қиматҳои $u(x, y)$, $\tilde{u}(x, y)$, $u_{\alpha}(x, y)$ бо истифода аз (28), (30), (31) ба ифодаи (32) дохилшаванда ҳисоб карда шудаанд:

$$\{-a < x < a, \quad 0 < y < b\}; \quad a = 2; \quad a_1 = 1.5; \quad b = 0.75 \quad (0.5; \quad 0.3);$$

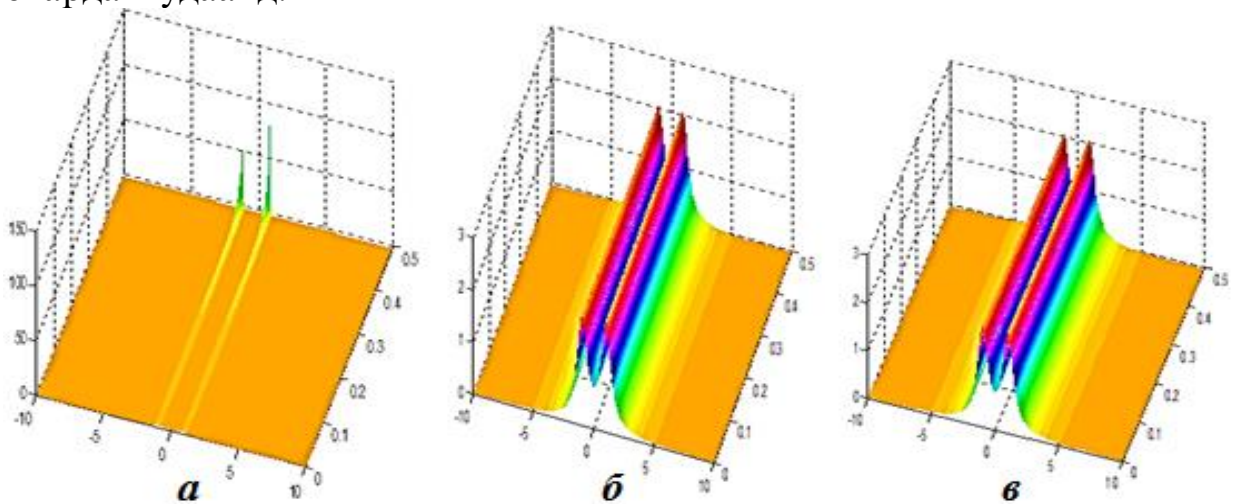
$$\delta = 3.0e - 1; \quad (3.0e - 2; \quad 3.0e - 3).$$

Қиматҳои ҳалҳои тақрибӣ ва аниқи (27) дар расми 6 оварда шудаанд.



Расми 6. Ҳалҳои аниқ ва тақрибӣ

Қиматҳои ҳалҳои дақиқи таҳлили функсияи гармӣ дар расми 6 оварда шудаанд.



Расми 7. Паҳншавии статсионрии гармӣ дар фазо

Дар боби 5 амсиласозии компютери тақсими ғайрихаттии ҳарорат дар муҳити конденсӣ баррасӣ шудааст.

Амсиласозии компютери тақсими ғайрихаттии ҳарорат дар муҳити конденсӣ як равиши муҳим барои фаҳмидан ва пешгӯии равиши системаҳои гармӣ мебошад. Он имконият медиҳад, ки муҳандисон ва олимон ба таҳқиқоти душвору мураккаб дар соҳаҳои гуногун, аз ҷумла физикаи конденсӣ, гармофизика ва гармотехника машғул шаванд.

Фасли 5.1 дар муҳити конденсӣ нақшаи амсиласозии компютери тақсими ғайрихаттии ҳароратро ифода мекунад.

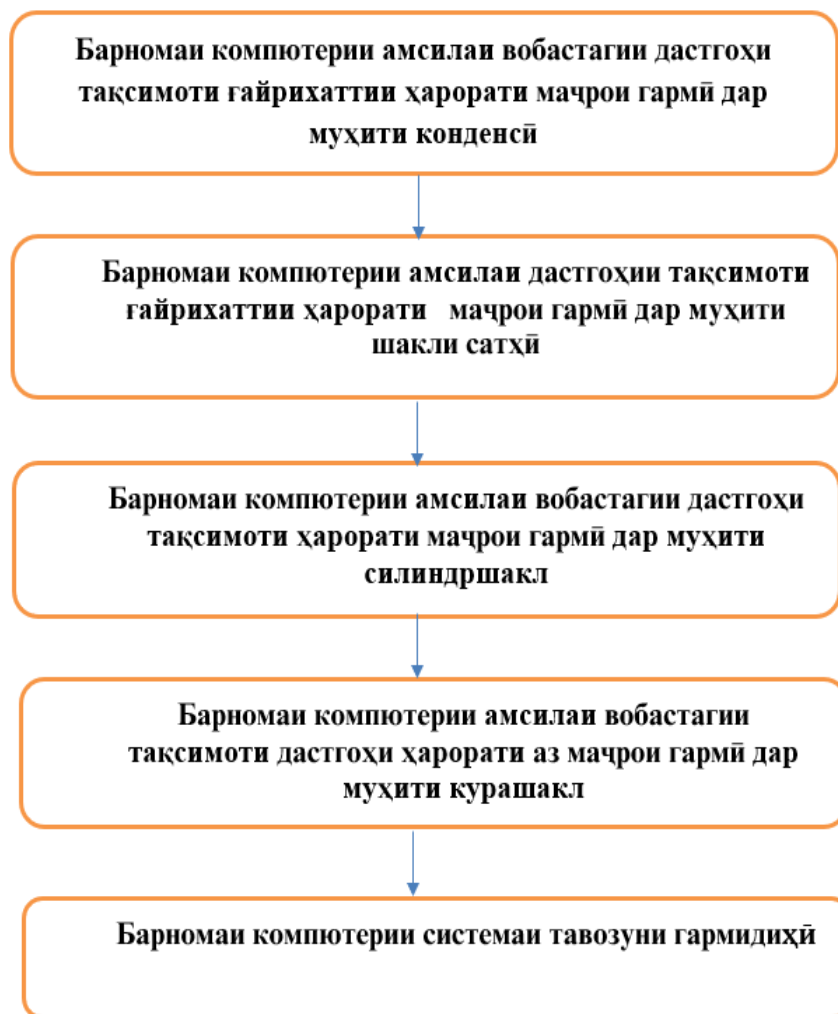
Дар фасли 5.2 алгоритми ҳисоби ададӣ ба ҳалли тақсими ғайрихаттии ҳарорат дар муҳити конденсӣ пешниҳод шудааст.

Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки барои таҳқиқи майдонҳо, майдонҳои алоқаманди ҳарорат ва сели гармӣ, консентратсия ва дигар параметрҳои муҳит барномаи компютерӣ ва алгоритми тасвиршуда метавонад васеи истифода бурда шавад.

Фасли 5.3 ба ҳалли ададии ҳаммонанди тақсимоти ғайрихаттии статсионарии ҳарорат дар муҳити конденсӣ бахшида шудааст.

Дар фасли 5.4 сохтори комплекси барномавии раванди гармигузаронӣ дар муҳитҳои конденсӣ ва натиҷаҳои таҳлилҳои компютерӣ оварда шудааст.

Сохтори комплекси барномавии раванди гармигузаронӣ дар муҳити конденсиро ба намуди нақшаи зерин ифода намудан мумкин аст:

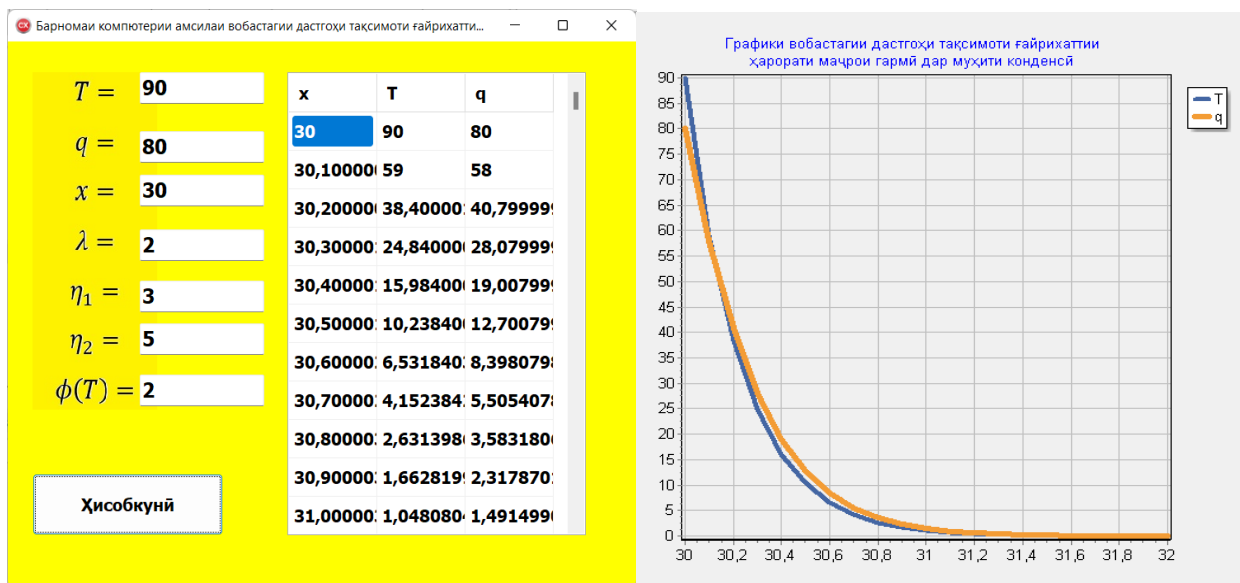


Расми 8. Сохтори комплекси барномавӣ

1. Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимоти ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ

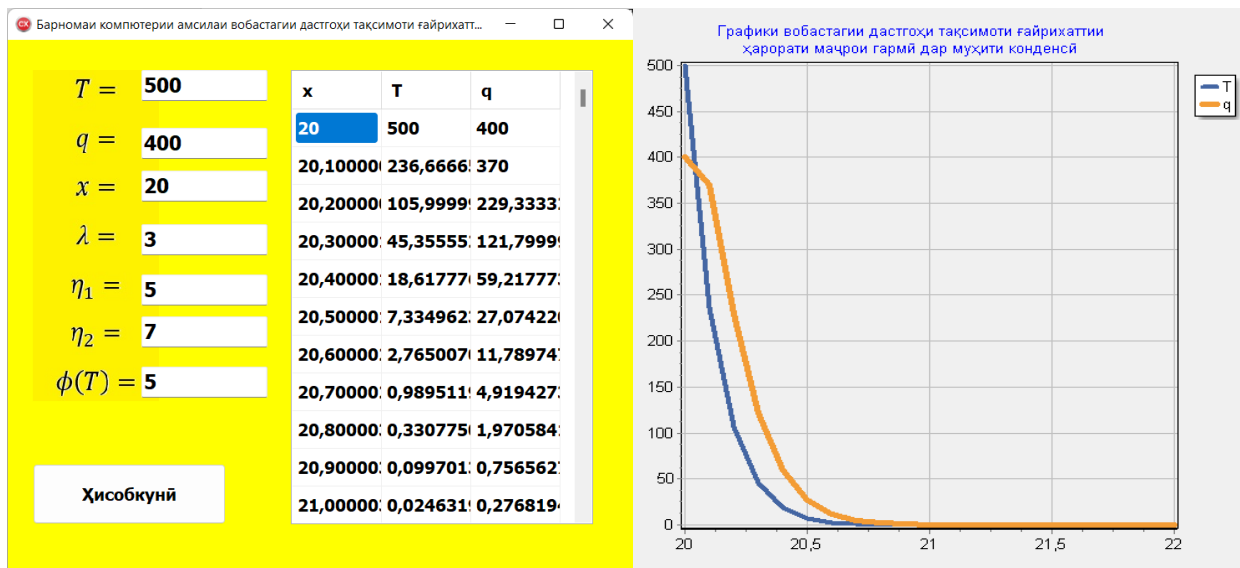
Сохтани барномаи компютерӣ дар забони барномасозии C++ Builder барои моделсозии вобастагии дастгоҳ аз тақсимоти ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ истифодаи усулҳои ададиро барои ҳалли муодилаҳои гармидиҳӣ дар назар дорад. Дар ин татбиқ усули муқоисаи ниҳой нисбати ҳолати дуҷониба истифода мешавад.

Сенарияи 1.



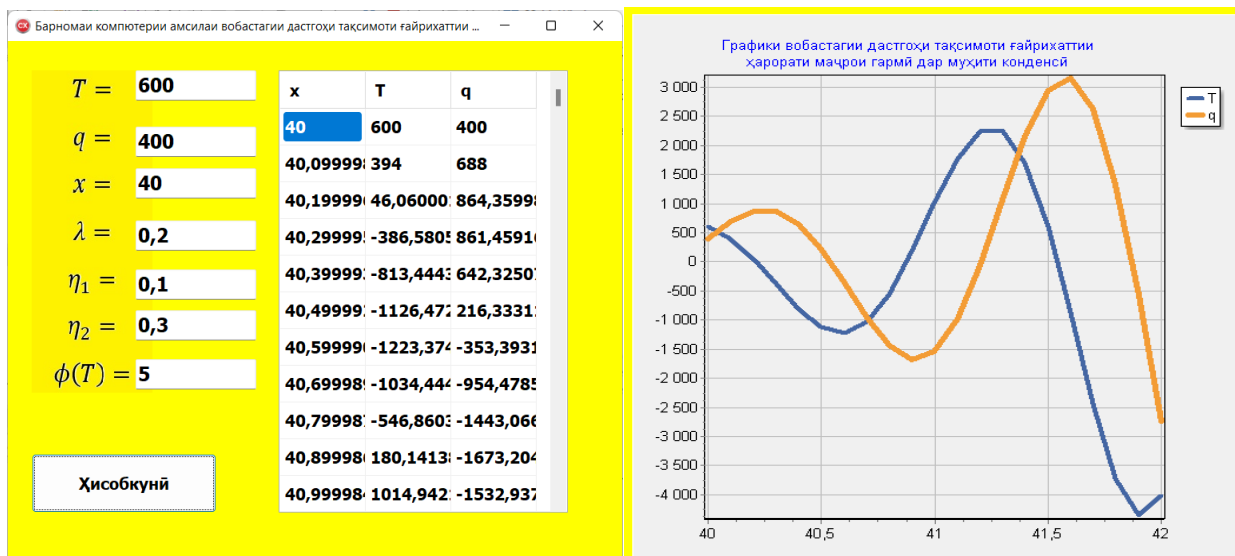
Расми 9. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимоти ғайрихатти ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди қадвалӣ ва графикӣ

Сенарияи 2.



Расми 10. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимоти ғайрихатти ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди қадвалӣ ва графикӣ

Сераияи 3.

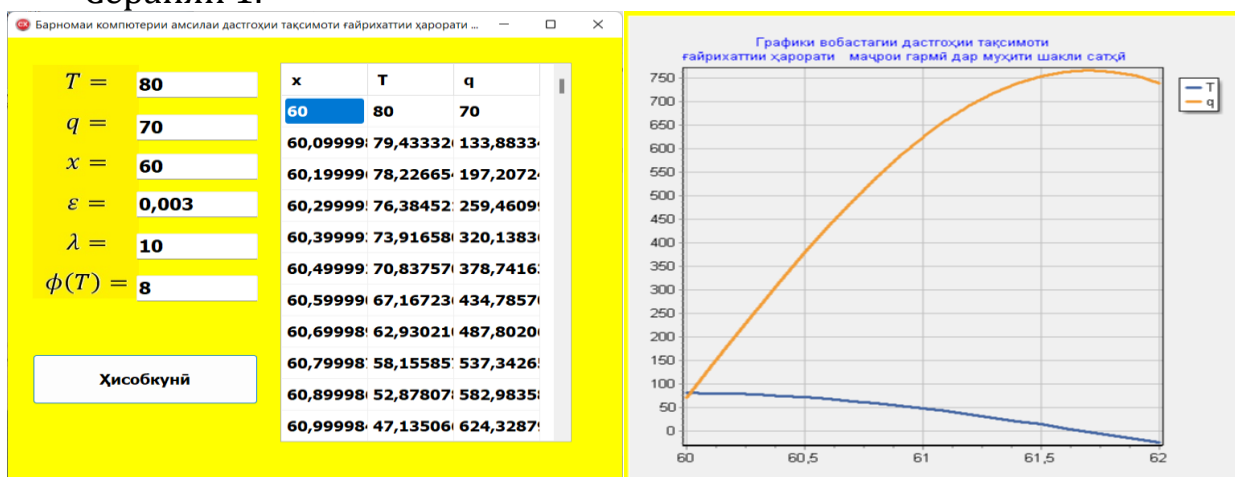


Расми 11. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимоти ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди ҷадвалӣ ва графикӣ

2. Барномаи компютери амсилаи дастгоҳи тақсимоти ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити шакли сатҳӣ

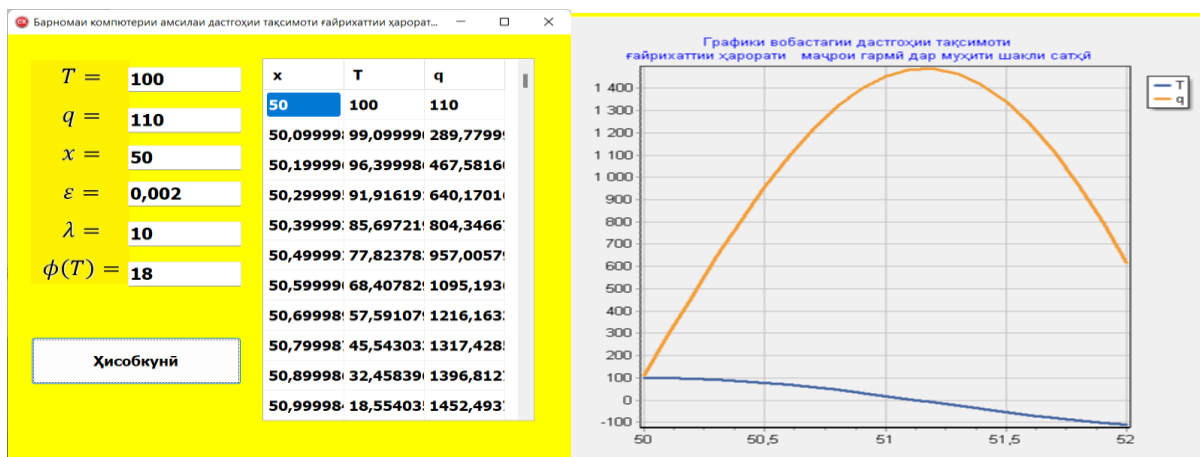
Барои сохтани барномаи компютери амсилаи дастгоҳ бо тақсимоти ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити сатҳӣ мо метавонем усули шабеҳро истифода барем, ки қаблан барои амсиласозии гармидиҳӣ дар муҳити ҳаҷмӣ тавсифи шуда буд. Аммо, дар ин ҳолат, мо тақсимоти гармиро дар баробари сатҳ баррасӣ хоҳем кард, ки метавонад дар ҳисобҳо ва тасвирҳо (визуализатсия) баъзе хусусиятҳоро талаб кунад.

Натиҷаи барномаҳо ҳамчун сенария ба намуди скриншот меорем:
Сераияи 1.



Расми 12. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимоти ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди ҷадвалӣ ва графикӣ

Сериияи 2.



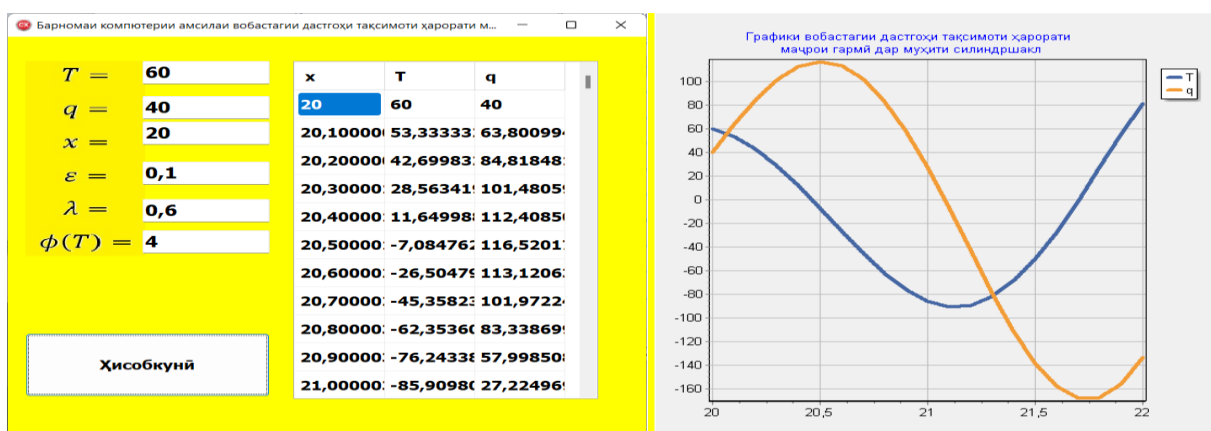
Расми 13. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимоти ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди ҷадвалӣ ва графикӣ

Ин барнома қолаби асосиро барои моделсозии тақсимоти ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити дучониба бо истифода аз усули муқоисаи ниҳой пешниҳод мекунад. Барнома ба мо имкон медиҳад, ки шартҳои ибтидоӣ ва канориро дохил кунем, муодилаи гармидиҳиро ҳал кунем ва натиҷаҳоро дар интерфейси графикии C++ Builder бубинем.

3. Барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимоти ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл

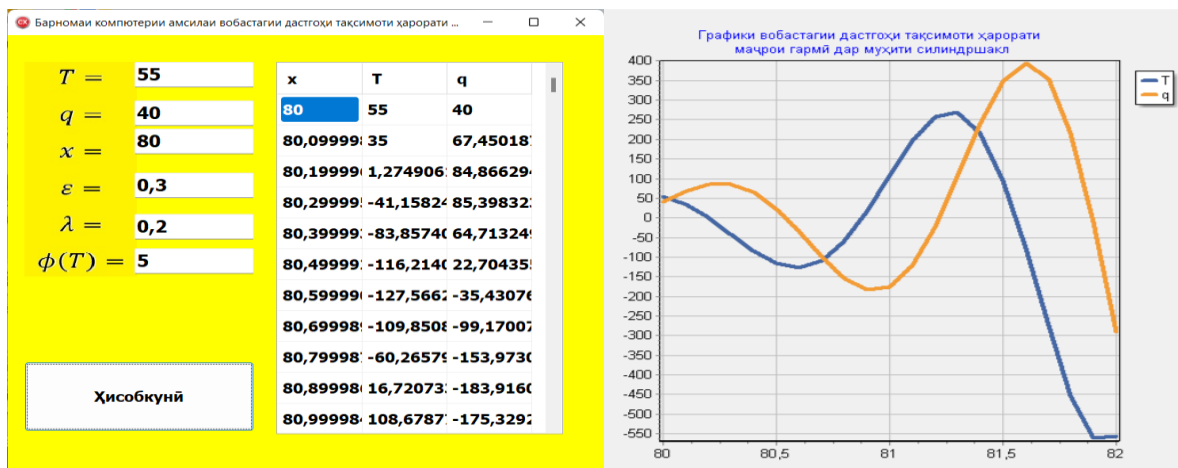
Сохтани барномаи компютерӣ барои моделсозии вобастагии дастгоҳи тақсимоти ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити цилиндрӣ дар забони барномасозии C++ Builder ба назар гирифтани хусусиятҳои геометрии цилиндрро талаб мекунад. Дар ин ҳолат муодилаи статсионарии гармидиҳиро дар системаи координатҳои цилиндрӣ дида мебароем.

Сенарияи 1.



Расми 14. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимоти ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди ҷадвалӣ ва графикӣ

Сенарияи 2.



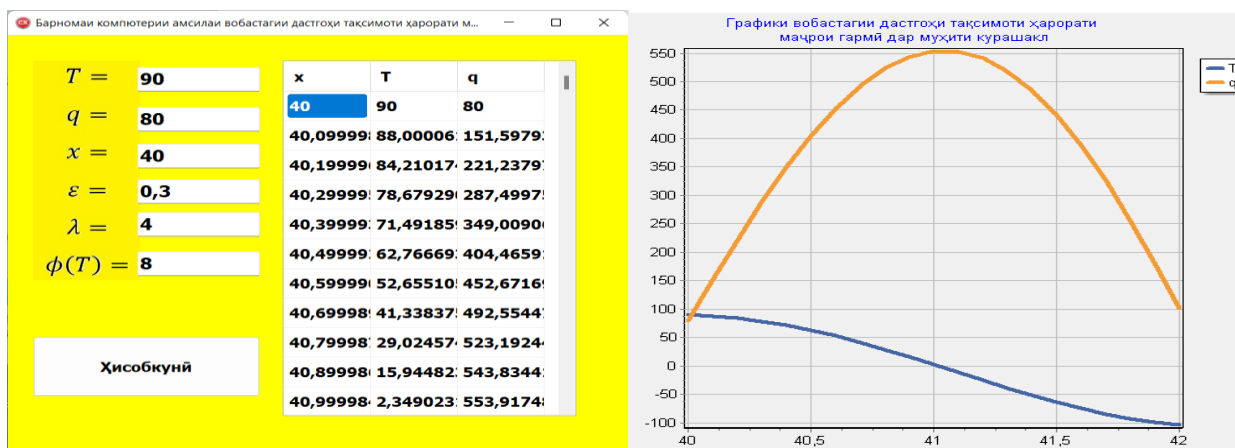
Расми 15. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди ҷадвалӣ ва графикӣ

Хулоса, барномаи моделсозии тақсими ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити цилиндрӣ, ки дар C++ Builder таҳия шудааст, воситаи пурқувватест барои таҳлил ва таҳқиқи интиқоли гармӣ дар барномаҳои гуногуни муҳандисӣ ва илмӣ.

4. Барномаи компютери амсилаи вобастагии тақсими дастгоҳи ҳарорати аз маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл

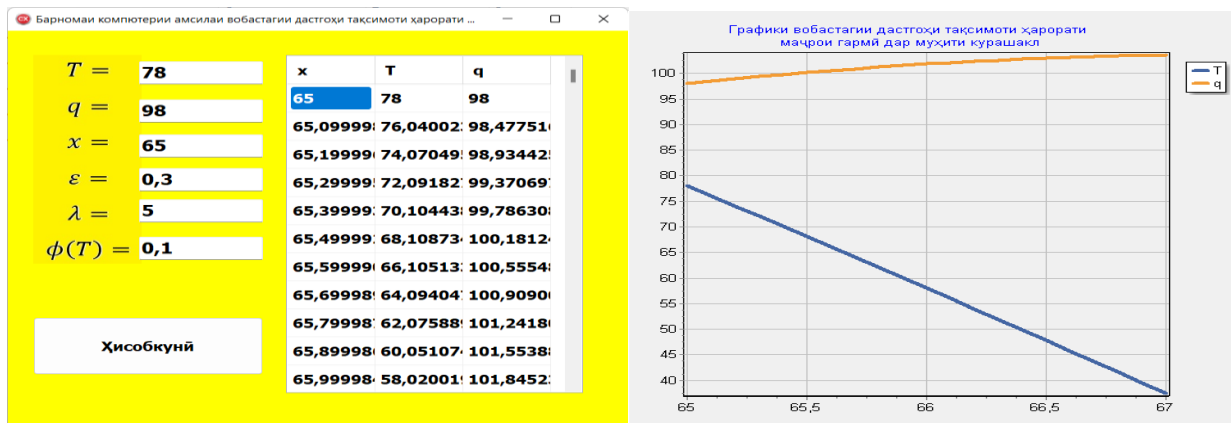
Сохтани барномаи компютерӣ барои моделсозии вобастагии тақсими ҳарорати дастгоҳ аз ҷараёни гармӣ дар муҳити курашакл ба назар гирифтани хусусиятҳои геометрии кура ва ҳалли муодилаи гармидиҳиро дар координатаҳои курашакл талаб мекунад.

Сенарияи 1.



Расми 16. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди ҷадвалӣ ва графикӣ

Сенарияи 2.



Расми 17. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди ҷадвалӣ ва графикӣ

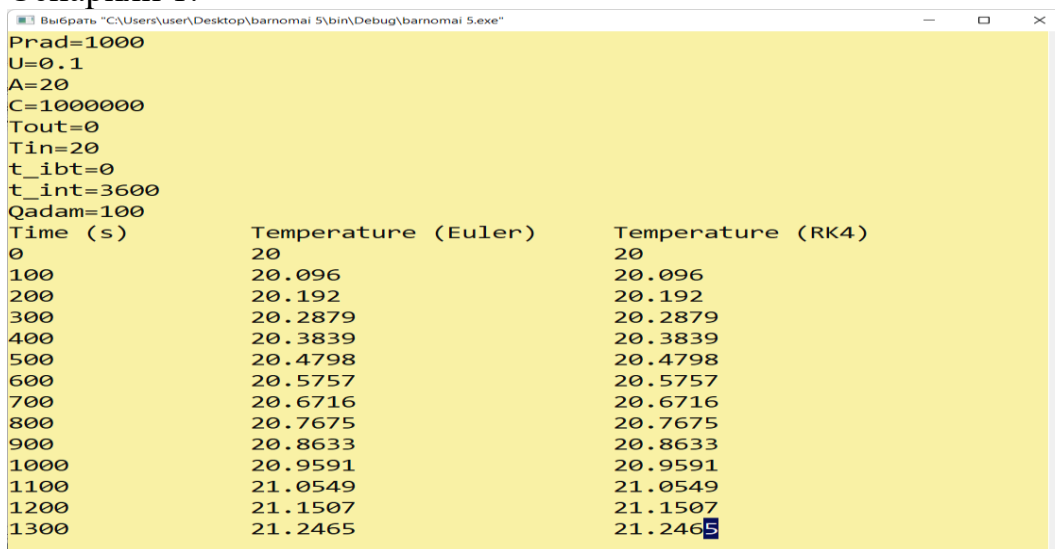
Дар Маҷмӯъ, барномаи модели вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ дар забони барномасозии C++ Builder асбоберо барои таҳлили комплекси равандҳои гармӣ ва оптимизатсияи дастгоҳҳои дар чунин шароит коркардашуда пешниҳод мекунад.

5. Барномаи компютери системаи тавозуни гармидиҳӣ

Ин аст намунаи барномаи C++, ки ҳалли адабии муодилаи тавозуни гармии системаи гармидиҳиро бо истифода аз усули Эйлер ва усули Рунге Кутта амалӣ мекунад. Барнома шартҳои ибтидоӣ, параметрҳои система ва вақти моделсозиро барои воридшавӣ қабул мекунад ва сипас ҳарорати хонаро бо мурури замон ҳисоб мекунад.

Барнома ҳарорати дохили ҳучраро бо истифода аз усули Эйлер ва Рунге – Кутта ҳисоб мекунад.

Сенарияи 1.



Расми 18. Натиҷаи барномаи ҳисобкунӣ бо усули Эйлер ва Рунге-Кутта

Сенарияи 2.

```
"C:\Users\user\Desktop\barnomai 5\bin\Debug\barnomai 5.exe"
Prad=2000
U=0.01
A=30
C=200000
Tout=1
Tin=30
t_ibt=0
t_int=3600
Qadam=60
Time (s)      Temperature (Euler)      Temperature (RK4)
0              30                       30
60             30.5974                  30.5974
120            31.1947                  31.1947
180            31.792                   31.792
240            32.3892                  32.3892
300            32.9864                  32.9864
360            33.5835                  33.5835
420            34.1806                  34.1806
480            34.7776                  34.7776
540            35.3746                  35.3746
600            35.9715                  35.9715
660            36.5683                  36.5683
720            37.1651                  37.1651
780            37.7619                  37.7619
```

Расми 19. Натиҷаи барномаи ҳисобкунӣ бо усули Эйлер ва Рунге-Кутта

Дар маҷмӯъ, барномаи таҳияшуда воситаи муфид барои моделсозии динамикаи системаи гармидиҳӣ мебошад ва метавонад барои гузаронидани тадқиқоти минбаъда дар ин соҳа истифода шавад.

ХУЛОСАҲОИ АСОСИ

1. Натиҷаҳои асосии илмӣ диссертатсия

Дар диссертатсия амсилаҳои то ин замон нодир ва асосноки математикӣ ва компютерии усулҳои мушаххаси ҳисоби таҳлилӣ ва ададии ҳали муодилаҳои ғайрихаттии статсионари равандҳои гармӣ тавсия шудаанд, ки ба ивази муодилаҳои статсионари дифференсиалӣ аз рӯи тағйирёбандаҳои хусусӣ ба системаи муодилаҳои оддӣ бо функсияҳои ҳарорат ва сели гармӣ асос меёбад. Таҳлили натиҷаҳои моделсозӣ ба мо имкон медиҳад, ки самаранокӣ ва эътимоднокии моделҳои таҳияшударо арзёбӣ кунем ва инчунин усули мувофиқтаринро барои вазифаҳои мушаххас интихоб кунем. Инчунин ба ҷои қадами муқарраршудаи вақт мо метавонем интихоби қадами мутобиқро вобаста ба динамикаи кунунии система амалӣ кунем. Ин имкон медиҳад, ки захираҳои ҳисоббарорӣ самараноктар истифода шаванд ва дақиқии натиҷаҳо собит кунанд. Истифодаи иҷрои параллелии ҳисобҳо ё оптимизатсияи алгоритмҳо ва сохторҳои маълумот метавонад иҷрои барномаро ба таври назаррас суръат бахшад, алахусус, бо миқдори зиёди маълумот ва моделҳои нисбатан мураккаб.

Бо дарназардошти таҳқиқотҳои дар боло овардашуда метавонем чунин хулоса кард:

1. Бо назардошти танзимкунии ҳарорат ва сели гармӣ гузориши нави масъалаи тасвири амсилавии ҳалли таҳлилӣ ва ададии раванди ғайрихаттии статсионари сӯзиши гармии муҳити конденсӣ тавсия

шудааст ва натиҷаҳои таҷрибавии комилан нав дастрас шуданд [1-М-2-М].

2. Қонуни паҳншавии статсионарии ҳарорат дар муҳит муайян гардида, дар ҳамвории фазавӣ ҳолати мувозинатии ҷараёни гармӣ ва ҳарорат тасвир шудааст. Шартҳои устуворӣ ва ноустуворӣ асоснок гардидааст [3-М-8-М].

3. Дар муҳити конденсӣ ҳолати мувозинатӣ ва шароити гармомубодила муайян карда шудааст, ки ҳамвориро ба соҳаҳои устувор ва ноустувор ҷудо мекунад [4-М-20-М].

4. Нақшаҳои муқоисавӣ ва афзори математикӣ, ки нисбат ба афзорҳои маълуми дигар бартарӣ дорад, дар шакли ифодаҳои аналитикӣ коркард шудааст, ки он метавонад масъалаҳои нави амалиро ҳал кунад [10-М-30-М].

5. Усули математикӣ ба ҳали муодилаи сӯзиш бо ёрии таҳқиқи ададӣ дар атрофи нуқтаҳои махсус мусоидат кардааст. Дар натиҷа, исбот шудааст, ки ҳодисаҳои таркиши гармӣ ва даргирӣ (алангагирӣ) равандҳои гуногун нестанд, балки режаҳои гуногуни ҳамон як ҷараён мебошанд [8-М-24-М].

6. Барномаи компютерӣ дар забони барномасозии C++ Builder барои моделсозии вобастагии дастгоҳ аз тақсимоти ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ коркард шудааст, ки ин татбиқ усули муқоисаҳои ниҳоиро барои ҳолати дуҷониба ба истифода қарор медиҳад [12-М-18-М].

2. Тавсияи натиҷаҳо барои дар амалия истифодабарӣ

Дар ҷараёни таҳқиқ барномаи дар забони C++ таҳия гардид, ки барои ҳали адабии муодилаи тавозуни гармии системаи гармидиҳӣ пешбинӣ шудааст. Барнома бо истифода аз усулҳои Эйлер ва Рунге-Кутта барои арзёбии динамикаи тағйирёбии ҳарорати хона бо мурури замон амалӣ карда шуд, ки он натиҷаҳои зеринро пешниҳод менамояд:

- **Татбиқи усулҳои ададӣ:** функсияҳо барои усули Эйлер ва усули Рунге Кутта таҳия шуда, имкон медиҳанд, ки муодилаи тавозуни гармиро ба таври ададӣ ҳисоб кунем.

- **Санчиш ва таҳлили натиҷаҳо:** санчиши дурустии натиҷаҳои моделсозӣ, инчунин таҳлили устуворӣ, дақиқӣ ва вақти иҷрои онҳо барои ҳарду усул гузаронида шуд.

- **Муқоисаи усулҳо:** натиҷаҳои бо усули Эйлер ва усули Рунге-Кутта ба даст овардашуда муқоиса карда шуданд. Муайян карда шуд, ки усули Рунге-Кутта натиҷаҳои дақиқтар ва устуворро бо ҳамон қадами вақт таъмин мекунад.

- **Самтҳои минбаъдаи тадқиқот:** ҳамчун самтҳои минбаъдаи тадқиқот оптимизатсияи барнома, баҳисобгирии равандҳои иловагии физикӣ, интихоби қадами мутобиқшавӣ аз рӯи вақт ва васеъ кардани функсияҳо барои баҳисобгирии сенарияҳои гуногун пешниҳод мегардад.

- **Қисмати назариявӣ:** таҷрибаҳои компютери таҳқиқот метавонанд ҳангоми хондани курсҳои махсус ва дарсҳои лабораторӣ, иҷрои корҳои курсӣ, хатмкунӣ ва магистрӣ истифода карда шаванд.

ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ ДАРЁФТИ ДАРАҶАИ ИЛМӢ

а) Монографияҳо, китобҳо ва дастурҳои таълимӣ

[М-1]. Наджмиддинов, А.М. Математическое моделирование нелинейных явлений стационарной теплопроводности – монография /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддинов // - Душанбе: Ирфон. -2017. -120 сах. ISBN-978-99975-0-816-4.

[М-2]. Начмиддинов А.М. Амсиласозии математикии ҳодисаҳои ғайрихаттии гармигузаронӣ – монография / Начмиддинов А.М. //Душанбе «Ирфон» - 2019, 156 сах. ISBN: 9789997509222.

б) Мақолаҳои, ки дар маҷалаҳои тақризишавандаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр шудаанд

[М-3]. Начмиддиниён, А.М. Модели компютери раванди гармигузаронӣ дар муҳитҳои конденсӣ / А.М. Начмиддиниён //Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара. - 2024, №2(28), -С.24-34.

[М-4]. Начмиддиниён, А.М. Ҳалли адабии амсилаи паҳншавии статсионари гармӣ дар муҳити шакли куравӣ ва натиҷаҳои таҳлилҳои компютери он / А.М. Начмиддиниён //Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара. - 2024, №1-2(122), -С.222-228.

[М-5]. Наджмиддиниён, А.М. Модельной представление численного решения зависимости стационарного распределения температуры от теплового потока в конденсированных средах / Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов //Вестник Таджикского национального университет. Серия естественных наук. -2023. -№1. –С.83-93.

[М-6]. Наджмиддиниён, А.М. Моделной представление аналитической решение зависимости стационарного состояний нелинейного распределения температуры в сферических конденсированных средах /А.М. Наджмиддиниён // Вестник филиала московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. Серия естественных наук. -2023. -№4. –С.116-124.

[М-7]. Наджмиддиниён, А.М. Моделной представление аналитической решение зависимости стационарного состояния нелинейного распределения температуры в цилиндрических конденсированных средах /А.М. Наджмиддиниён // Вестник Таджикского национального университет. Серия естественных наук. -2023 г. -№4. –С.54-63.

[М-8]. Наджмиддиниён, А.М. Модельной представление численной решение зависимости стационарного состояний нелинейного распределения температуры в цилиндрических конденсированных средах /А.М. Наджмиддиниён // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации и Инвестиции -2023 г. -№3(63). –С.11-16.

[М-9]. Наджмиддиниён, А.М. Модель управления проектной

деятельностью в цифровой образовательной среде университета / Подповетная Ю.В. Наджмиддиниён А. М. Овсяницкая Л. Ю., Подповетный А. Д. // Вестник Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) 2022. №4 (22) С.96-108.

[М-10]. Наджмиддиниён, А.М. Модельное представление численного решения зависимости стационарного распределения температуры от теплового потока в конденсированных средах /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов //Вестник Дангаринского государственного университета. Серия естественных наук. -2022. -№2. –С.72-83.

[М-11]. Najmiddinov, A.M. The improvement and automation of the processes of the products reception and assembly in the trade-warehouse complex [Текст] / Podpovetnaya Yu.V., Najmiddinov A.M., Ovsyanitskaya L.Yu., Ovsyanitskiy A.D. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2018. Т. 18. №4. С. 160-169.

[М-12]. Наджмиддинов, А.М. Физическое распределение тепла с помощью математической модели процесса теплопроводности /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддинов // Финансово-экономический Вестник. -2018. -№2(14). – С.81-90.

[М-13]. Наджмиддинов, А.М. Приближенные аналитические решения нелинейной стационарной задачи теплопроводности при нагреве внутренними источниками, зависящими от температуры /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддинов, С.Ш. Хасанов //Проблемы автоматизации и управления. ИАИТ НАН КР.-2017, № 2 (33). – С. 27-31. ISSN 1694-5050

[М-14]. Наджмиддиниён, А.М. Исследование зависимости стационарного распределения теплового потока от температуры в конденсированных средах [Текст]/ Х.Ш. Джураев, К. Комилов, А.М. Наджмиддинов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2016, № 1/1 (192). – С. 114-120.

[М-15]. Наджмиддиниён, А.М. Применение метода фазовой плоскости для краевых задач уравнений нелинейной стационарной теплопроводности [Текст] /А.М. Наджмиддинов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – № 1/2 (160).– С. 117-121.

[М-16]. Наджмиддинов, А.М. Распространение тепла в твёрдом теле при независимости источников от температуры, содержащих параметр / Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддинов //Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2012, №1(52), -С.22-24.

в) Мақолаҳое, ки дар дигар маҷалаҳо ба нашр расиданд

[М-17]. Наджмиддинов, А.М. Стационарное распределение плотности теплового потока от температуры в конденсированных средах [Текст] / Х.Ш. Джураев, К. Комилов, А.М. Наджмиддинов // Молодёжный научный вестник электронной научной-практической журнал – 2016 г.– № 3. – С. 3-9.

[М-18]. Наджмиддинов, А.М. Приближенные аналитические решения нелинейной стационарной задачи теплопроводности при нагреве внутренними источниками, зависящими от температуры [Текст] / Наджмиддинов А.М.

//Материалы республиканской научно-практической конференции. ФЭИТ - г.Душанбе, 25 ноября 2017 г. С. 120-124.

[M-19]. Najmiddinov A.M. Approximate analytical solutions of nonlinear stationary problem of thermal conductivity in heating with internal sources depending on the temperature. [Text] / Najmiddinov A.M.// XIV - international scientific-practical conference «The strategies of modern science development» 7-8 February 2018, North charleston, SC, USA. Page 5-11.

[M-20]. Наджмиддиниён, А.М. Амсиласозӣ ва дигаргун кардани координати температура ва сели гармӣ [Текст] / Наджмиддинов А.М., Халилова У.О. // Маводи конференсияи илмӣ-назариявӣ. Донишгоҳи давлатии молия ва иқтисоди Тоҷикистон. ш. Душанбе, 29- ноябри с. 2018 С.73-77.

[M-21]. Наджмиддинов, А.М. Точные аналитические решения нелинейной нестационарной обратной задачи теплопроводности [Текст] / А.М. Наджмиддинов // Конференсияи илмӣ-назариявӣ ҳайати профессорон ва устодони Донишгоҳи давлатии молия ва иқтисоди Тоҷикистон, бахшида ба соли рушди сайёҳи ва хунароҳи мардумӣ, шаҳри Душанбе, 27-28 апрели с. 2018 С. 142-143

[M-22]. Наджмиддинов, А.М. Распределение тепла в среде сферическом форме [Текст] / Джураев Х.Ш., А.М. Наджмиддинов // Конференсия чумхуриявӣ илмию амалӣ дар мавзуи “Амсиласозии математикӣ ва компютери равандроҳи физикӣ” кафедраи МҲСШ –и факултети Физикаи ДМТ, ш.Душанбе 25.10.2019 - С 60-64

[M-23]. Наджмиддинов, А.М. Моделирование результатов расчетов распределения тепла в среде цилиндрической формы разностным методом [Текст] / А.М. Наджмиддинов, М.Б. Акрамов. // Материалы международной научно-практической конференции «ШОҚАН ОҚУЛАРЫ - 23» 26 апреля, Кокшетау, 2019 г. - С 354-357.

[M-24]. Наджмиддинов, А.М. Исследование изменения значения теплового потока и температуры от размерности цилиндрической среды [Текст] / Акрамов М.Б., Наджмиддинов А.М. // «Актуальные проблемы внедрения инновационной техники и технологий на предприятиях по производству строительных материалов, химической промышленности и в смежных отраслях» Ферганский политехнический институт Узбекистан, г. Фергана 24-25 мая 2019 года.

[M-25]. Наджмиддиниён, А.М. Модельное представление аналитического решения зависимости стационарного состояния нелинейного распределения теплового потока от температуры в конденсированных средах /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов // Маводи Республиканской научно-практической конференции на тему «Математические и компьютерные моделирование физических процессов» посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (9 февраля 2023 года) Душанбе -2023 г. ТНУ -320 стр. –С 20-30.

[M-26]. Наджмиддиниён, А.М. Модельное представление численного решения зависимости стационарного распределения температуры от

теплового потока в конденсированных средах /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов // Маводы Республиканской научно-практической конференции на тему «Математические и компьютерные моделирование физических процессов» посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (9 февраля 2023 года) Душанбе -2023 г. ТНУ -320 стр. –С 40-46.

[М-27]. Наджмиддиниён, А.М. Аналитические решения нелинейной нестационарной обратной задачи теплопроводности / А.М. Наджмиддиниён // Материалы Республиканской научно-практической конференции на тему «Математические и компьютерные моделирование физических процессов» посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (9 февраля 2023 года) Душанбе – 2023 г. ТНУ -320 стр. –С 81-82.

[М-28]. Наджмиддиниён, А.М. Стационарного распределения температуры от теплового потока в среде плоской формы разностным методом / Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён // Маводы республиканской научно-практической конференции «Значение физической науки в развитии современной техники и технологии» посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (9 февраля 2023 г.) г. Худжанд – 2023 Дабир -599 стр. –С 55-62.

[М-29]. Наджмиддиниён, А.М. Исследование зависимости стационарного состояния нелинейного распределения теплового потока и температуры от координат в сферических конденсированных средах / А.М. Наджмиддиниён, Х.Ш. Джураев, Д.К. Солихов // Современные проблемы физики конденсированного состояния: Материалы международной научной конференции посвящённой 75 годовщине основания Таджикского национального университета, объявлению 2025 года Годом защиты ледников и 80-летию со дня рождения Заслуженного работника Таджикистана, обладателя Премии международного Евразийского Патентного Бюро и Премии НАН Таджикистана имени С. Умарова, член-корр. НАН Таджикистана, д.ф.-м.н., профессора Туйчиева Шарофиддина (24-25 октября 2023 г.)-Душанбе – 2023 г. ТНУ –С 80-84.

[М-30]. Наджмиддиниён, А.М. Модельной представлении аналитическое решение зависимости стационарных нелинейного распределения температуры в цилиндрических конденсированных средах / Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов, З.С. Норматов // Неделя науки: Материалы республиканской научно-теоретической конференции преподавателей, сотрудников НИИ ТНУ посвящённой «75-летию Таджикского национального университета», «115-летию академика Бободжона Гафурова», «2023 год-Год русского языка» и «2025 год-Международный год защиты ледников» (20-27 апреля 2023 г.) Душанбе – 2023 г. ТНУ -309 стр. –С.139-144.

[М-31]. Наджмиддиниён, А.М. Модельной представлении численного решения зависимости стационарных нелинейного распределения температуры в цилиндрических конденсированных средах / Х.Ш. Джураев ,

А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов, Н. Нуруллоев // Неделя науки: Материалы республиканской научно-теоретической конференции преподавателей, сотрудников НИИ ТНУ посвящённой «75-летию Таджикского национального университета», «115-летию академика Бободжона Гафурова», «2023 -год русского языка» и «2025 год-Международный год защиты ледников» (20-27 апреля 2023 г.) Душанбе – 2023 г. ТНУ -309 стр. – С 144-150.

**РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН
ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ТДУ (УДК) 519:536. 424+538.9

На правах рукописи

ТКБ (ББК) 22.31+22.311+22.317

Н - 41

НАДЖМИДДИНИЁН АСАДУЛЛО МИРЗО

**МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ
СТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА В
КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание учёной степени доктора физико-
математических наук по специальности 05.13.18 – математическое
моделирование, численные методы и комплексы программ**

Душанбе – 2024

Научная работа выполнена на кафедре вычислительных машин, систем и сетей Таджикского национального университета.

Научный консультант: Солихзода Давлат Куват - доктор физико-математических наук, профессор, професор кафедры теоретическая физики Таджикского национального университета

Официальные оппоненты: Кобиллов Маруф Махмудович - доктор физико-математических наук, профессор кафедры информационных технологий Российско-Таджикский (славянский) университет

Мухаммаджон Исмати - доктор физико-математических наук, профессор кафедры математики в экономике Международного университета туризма и предпринимательства Таджикистана

Шарипов Бобоали – доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики Таджикского государственного финансово-экономического университета

Ведущая организация: Физико-технический институт имени С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана

Защита состоится «12» февраля 2024 г. 14:00 часов на заседании диссертационного совета 6D.КOA- 011 при Таджикского национального университета по адресу: 734017, г. Душанбе, пр. Рудаки 17.

С диссертацией и можно ознакомиться в библиотеке Таджикского национального университета по адресу: 734017, г. Душанбе, пр. Рудаки 17 и на официальном сайте www.tnu.tj.

Автореферат разослан «___» _____ 20__ г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
к.ф.м.н.



Гафоров А.Б.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Модельные исследования процессов теплопередачи в стационарных нелинейных условиях, происходящих в конденсационных средах, имеют значительное значение. Конденсационные среды, такие как жидкости и газы, находят широкое применение в различных отраслях промышленности и современных высокотехнологиях производств. Понимание поведения теплопроводности в этих средах может помочь повысить энергоэффективность, разработать новые системы охлаждения и обогрева, а также понять естественные процессы.

Процессы теплопроводности в конденсационных средах оказывают значительное влияние на различные научные и технологические области. В конденсационных средах, где теплопроводность происходит нелинейно и стационарно, точное исследование этих процессов имеет важное значение для развития современных технологий. Конденсационные среды широко используются в различных отраслях промышленности, включая химическую промышленность, электронику, энергетику и охрану окружающей среды. В этом контексте модельное исследование теплопроводности процессов приобретает все большее значение.

В химической промышленности конденсационные среды используются в процессах производства химических продуктов, в том числе химических реакторов. Обеспечение надлежащих условий теплопроводности в этих процессах имеет решающее значение для эффективности и безопасности производства. Например, тщательное исследование теплопроводности в химических реакторах может помочь оптимизировать условия реакции и повысить их производительность.

В сфере электроники конденсационные среды используются для охлаждения электронных устройств. В современном высокоскоростном электронном оборудовании интенсивно накапливается тепло. Недостаточная эффективность в его отведении может привести к неисправностям устройств и сократить их эксплуатационный срок. Поэтому моделирование процессов теплопроводности в конденсационных средах имеет важное значение для проектирования эффективных и безопасных систем охлаждения.

В сфере энергетики конденсационные среды используются в системах производства энергии, включая атомные электростанции и оборудование для производства энергии из возобновляемых источников. Обеспечение надлежащей теплопередачи в этих системах является ключевым фактором для увеличения энергоэффективности и уменьшения использования природных ресурсов. К примеру, в атомных электростанциях необходимо тщательно изучать механизмы теплопередачи в конденсированных средах с целью гарантирования безопасности реактора и предотвращения возможных аварий.

В области охраны окружающей среды исследование процессов теплопроводности в конденсированных средах важно для понимания природных процессов, включая круговорот воды и атмосферную среду. Настоящее исследование содействует улучшению прогнозирования погоды и разработать стратегии адаптации к изменению климата.

Исследование моделирования стационарных нелинейных процессов теплопроводности в конденсационных средах проливает свет на сложные физические и инженерные проблемы. Учитывая нелинейные характеристики этих процессов, разработка точных и надежных моделей имеет важное значение для прогнозирования и управления процессами теплопроводности.

Современные технологии, такие как компьютерное моделирование и методы моделирования, открывают новые возможности для исследования и понимания процессов теплопроводности. Например, используя мощные компьютеры и передовые алгоритмы, исследователи могут создавать и анализировать сложные модели теплопроводности. Эти модели позволяют инженерам проектировать более эффективные и безопасные системы.

В медицине конденсационные среды используются в термографических приложениях и термообработке тканей. Понимание процессов теплопроводности в тканях человека может способствовать прогрессу в лечении таких заболеваний, как рак. Термотерапия, используемая для уничтожения раковых клеток, основана на процессах теплопроводности в тканях организма. Модельные исследования могут помочь улучшить результаты лечения и уменьшить побочные эффекты.

Моделирование нелинейных стационарных процессов теплопроводности имеет большое значение не только в практической сфере, но и в сфере образования и академических исследований. Эти исследования позволяют студентам и исследователям получить более глубокое понимание и понимание процессов теплопроводности в различных средах. Кроме того, моделирование исследований служит эффективным учебным пособием для изучения сложных физических и инженерных тем.

Будущее модельных исследований теплопроводных процессов имеет большие возможности. С развитием компьютерных технологий и передовых алгоритмов исследователи могут создавать более точные и сложные модели. Дальнейшие исследования могут быть сосредоточены на изучении влияния различных параметров, таких как изменения температуры, давления и химического состава, на процесс теплопроводности.

Модельные исследования нелинейных стационарных теплопроводных процессов конденсационных средах имеют огромное научное и практическое значение. Эти исследования могут способствовать развитию современных технологий, повышению эффективности производства, обеспечению безопасности энергетических систем и улучшению понимания природных процессов. В будущем разработка более точных моделирующих моделей и передовых методов моделирования может способствовать значительному прогрессу в различных областях науки и техники.

Степень исследования научной темы. Во многих ранних работах предлагается модель горения газа в горелке конечного размера, в которой определены ряд важных изолирующих условий для различных режимов горения, регулируемых путём изменения геометрических параметров самого устройства, скорости подачи газа и температуры нагревателя. Пристальное внимание к процессам горения в полый среде и

необходимость создания моделей, учитывающих «несовершенство» физических процессов в этих условиях, подтверждаются растущим числом публикаций на эту тему. Например, труды И.А. Андреева «Критические условия теплового взрыва для антикаталитической реакции горения с учётом теплопередачи» (1996), А.А. Самарского, П.Н. Вабищевича «Вычислительная теплопередача» (2003), В.И. Байкова, Н.В. Павлюкевича «Теплофизика. Т.1. Термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика» (2013) и В.И. Байкова, Н.В. Павлюкевича, А.К. Федотова, А.И. Шнипа «Теплофизика. Т.2. Термодинамика необратимых процессов, теория конвективного теплообмена, перенос энергии теплового излучения, процессы переноса и фазовые превращения в твёрдых телах» (2014).

На раннем этапе развития теории горения следует отметить имена В.А. Михельсона (Россия), P. Daniell, D.L. Chapman (Англия), M. Bertelot, E. Jouguet, P. Vieille, Taffanel (Франция).

Рядом со школой химической кинетики возникли современные школы горения Я.Б. Зельдовича, Д.А. Франк-Каменецкого, К.И. Щелкина, К.К. Андреева, А.Я. Апина, А.Ф. Беляева, Л.А. Вулиса, Ю.А. Победоносцева, П.Ф. Похля, А.С. Соколика, Л.Н. Хитрина, Е.С. Щетинкова, А.Г. Мержанова, В.Н. Виллюнова и многих других, существенно обогатившие науку о горении в целом и выдвинувшие новые практические приложения. Эти достижения являлись гордостью бывшего СССР и нынешнего постсоветского пространства и ценятся во всем мире.

Зарубежная наука о горении интенсивно развивается в США, где сложились крупные школы (В. Lewis, G. von Elbe, Th. von Karman, S.S. Penner, G.V. Kistiakowsky, M. Summerfield, A.K. Oppenheim, G.H. Markstein, F.A. Williams и др.), в Великобритании (P. Gray, D.B. Spalding, A.G. Gaydon, H.G. Wolfgard, F.J. Weinberg), во Франции (N. Manson, R. Delbourgo, M. Barrere), в Германии (W. Iost), в Венгрии (Z.G. Szabo), в Польше (S. Wojcicki), в Японии (S. Kumagai) и др.

Как известно, в материальных средах распространение тепла всегда связано с тепловым движением структурных единиц. Если процесс теплопереноса является сложным, то для его исследования используются обобщающие результаты различных простых методов.

Проблема исследования пространственного изменения основных физических величин и их моделирования возникла ещё в начале XX века. Такими проблемами занимались Н.Н. Семенов, Д.А. Франк-Каменецкий, Я.Б. Зельдович, Л.Д. Ландау и другие. Особую актуальность в середине XX века приобретает исследование существенно новых линейных и нелинейных процессов в открытых системах. В частности, для систем горения естественной является высокая скорость тепловыделения при сравнительно низкой скорости расходования горючего материала.

Ввиду возникновения различных сложностей в рамках ряда научных дисциплин, таких как химическая кинетика, химическая физика, теплофизика, механика реагирующих однофазных и многофазных сред во многих научных организациях при попытках нахождения решений линейных и нелинейных уравнений с развитием электронно-вычислительной техники появилась возможность нахождения их решений с помощью приближенных методов. Полученные приближенные методы для большинства уравнений математической физики позволяют проводить эффективное численное моделирование многих задач, в том числе линейных и нелинейных задач теплопроводности для систем горения. При исследовании поведения решений некоторых линейных и нелинейных задач горения было введено понятие так называемого режима устойчивых (прямых) и неустойчивых (обратных). Такими проблемами занимались А.Н. Колмогоров, И.Г. Петровский, Н.С. Пискунов «Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием вещества, и его применение к одной биологической проблеме» (1937), Самарский, Г.Г. Еленин, Н. В. Змитренко и др. «Горение нелинейной среды в виде сложных структур» (1977), С.П. Курдюмов, Е.С. Куркина, А.Б. Потапов, А.А. Самарский «Сложные многомерные структуры горения нелинейной среды» (1986), Г.Г. Еленин, С.П. Курдюмов, А.А. Самарский «Нестационарные диссипативные структуры в нелинейной теплопроводной среде» (1983), А.Г. Мержанов, «К квазистационарной теории теплового взрыва» (1961), А.Г. Мержанов, А.Г. Струнина «Закономерности теплового взрыва в условиях нагрева с постоянной скоростью» (1965) и др.

Изучение физико-химических и теплофизических процессов в химически реагирующих гетерогенных системах особенно важно в связи с тем, что любая из этих реакций (например, горение) может иметь место в самых различных системах: в однородных и неоднородных (по химическому составу) однофазных и многофазных системах (газовых взвесах, пористых, пузырьковых и других средах). Соответственно, процесс горения в различных системах в общем случае включает не только химическое превращение, но и широкий спектр теплофизических, механических и других явлений: кондуктивный и конвективный теплоперенос (теплопроводность, диффузию, конвекцию и другие), фазовые переходы, поверхностное натяжение, излучение, нестационарные волновые эффекты, турбулентность и другие.

Использование численных методов, записанных в ортогональных координатах, для анализа решений системы дифференциальных уравнений позволяет отказаться от упрощенной трактовки математической модели процесса, а взамен применить устойчивую разностную схему, основанную на расщеплении уравнений по физическим процессам и пространственным направлениям. Для повышения точности

расчётов используются подвижные разностные сетки, построенные на основе вариационного принципа.

Для численного решения уравнений, описывающих стационарное состояние теплового горения к настоящему времени разработано значительное число разностных схем: В.А. Дородницын «Об инвариантных решениях уравнения нелинейной теплопроводности с источником» (1982); А.А. Самарский «Теория разностных схем» (1983); А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич «Вычислительная теплопередача» (2003); Е.Г. Быкова, В.В. Шайдуров «Двумерная неоднородная разностная схема повышенного порядка точности» (1997) и «Неоднородная разностная схема четвертого порядка точности в области с гладкой границей» (1998); Р.Ш. Гайнутдинов «Тепловой взрыв полого цилиндра при граничных условиях третьего рода» (2004); В.Е. Веды, В.А. Иванов, С.Ф. Лушпенко, Ю.М. Мацевитый «Определение теплопроводности керамических материалов с помощью решения обратной задачи теплопроводности» (1991); В.Е. Селезнев «Численный анализ пожарной опасности магистральных газопроводов» (2005); С.И. Фадеев, В.В. Когай «Нелинейные краевые задачи для систем обыкновенных дифференциальных уравнений на конечном отрезке» (2008) и др.

Ограничения, накладываемые на устойчивость явных схем, требуют значительных затрат машинного времени и делают их в ряде случаев неэкономичными, например при решении стационарных задач методом установления. Неявные разностные схемы В.А. Дородницына «Об инвариантных решениях уравнения нелинейной теплопроводности с источником» (1982) имеют более слабые ограничения на устойчивость. Схема А.А. Самарского, П.Н. Вабищевича «Вычислительная теплопередача» (2003) является безусловно устойчивой, но не обладает свойством консервативности. В этих работах предложена неявная, безусловно устойчивая разностная схема, основанная на расщеплении исходных уравнений по физическим процессам и пространственным переменным и являющаяся консервативной в стационарном случае.

Приведённые выше разработки позволяют предположить, что при различных показателях интенсивности горения развивающиеся в режиме обострения тепловые структуры принимают различные формы, обладающие разными свойствами. Следует отметить, что на развитой стадии более сложных нестационарных процессов, как правило, обнаруживаются черты, свойственные одному из этих режимов.

Таким образом, изучение физико-химических и теплофизических процессов в химически реагирующих гетерогенных системах является актуальным. Наиболее ярко эти явления проявляются в процессах твердопламенного горения или газового горения. Все это вместе взятое требует поиска новых и развития имеющихся методов анализа математических моделей. Для анализа решений задач стационарного

распределения теплового потока в зависимости от температуры в конденсированных средах широко применяется метод регуляризации и фазовой плоскости. Настоящая работа посвящена развитию этих методов, их применению к модельному представлению задач стационарного распределения теплового потока в зависимости от температуры в конденсированных средах.

Связь исследования с программами (проектами) или научными темами. Диссертационная работа зарегистрирована в рамках научно – исследовательского плана кафедры вычислительных машин, систем и сетей физического факультета Таджикского национального университета в соответствии с реализацией научно-исследовательского плана по бюджетным темам, государственный регистрационный номер № 0122ТР1430 (01.01.2021-31.12.2025) «Математическое, физическое и компьютерное моделирование физических процессов и его исследования» и фундаментального исследовательского проекта государственного регистрационного номера № 0121ТР1177 . (01.01.2020-31.12.2024) выполнена "Волновая модель нанослоя и вычислительные эксперименты по процессу теплопередачи в конденсированной среде.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является изучение процессов теплопроводности в процессе сгорания конденсированных сред с помощью аналитического и численного моделирования. В этом контексте, в зависимости от температурной зависимости термических характеристик и контроля теплового потока, осуществляется выполнение соответствующих действий.

Задачи исследования. Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи:

- создать математические и компьютерные модели, учитывающие управление тепловыми потоками и зависимость температуры от теплофизических свойств стационарных нелинейных тепловых процессов, разработать дифференциальные и аналитические подходы;
- разработать программное обеспечение для вычисления температурного распределения и тепловых потоков на поверхности объекта с применением численных методов;
- решение краевых задач для системы уравнений стационарных нелинейных тепловых процессов дополнено числовыми и аналитическими методами;
- провести аналитические и числовые исследования для определения состояния равновесия и критических условий;
- определить решение стационарных нелинейных уравнений теплопроводности в зависимости от решения задач общих нелинейных динамических систем;

– математическая амплификация для процессов сгорания конденсированных материалов с учетом теплообмена с окружающей средой.

Объект исследования. Прямые, обратные и нелинейные проблемы, связанные с физикой конденсированного состояния, теплофизики и теплотехники.

Предмет исследования. Выявление, анализ и сравнение результатов с условиями сгорания конденсационных сред вокруг кризисных точек.

Научная новизна исследований. Новизна исследования заключается в следующих положениях:

✓ впервые разработана математическая модель для стационарных нелинейных процессов теплопроводности в конденсационных средах;

✓ обработаны математические схемы дифференцирования и умножения в виде аналитических выражений, что позволяет решать новые практические задачи, которые превосходят другие известные умножения;

✓ определена закономерность стационарного распространения температуры в среде, в фазовой плоскости описано состояние равновесия теплового потока и температуры;

✓ разработана компьютерная программа на языке программирования C++ Builder для моделирования зависимости устройства от нелинейного распределения температуры теплового потока в конденсационной среде, реализует метод конечных разностей, используемый для двухстороннего состояния;

✓ для решения уравнения сгорания обновлены математические методы с помощью численного исследования вокруг специальных точек. В результате доказано, что термический взрыв и воспламенение (воспламенение) - это не разные процессы, а разные режимы одного и того же процесса;

✓ в конденсационной среде установлены условия, при которых достигаются равновесие и теплообмен, что делит плоскость на стабильные и нестабильные области. Эти области не только способны к выделению тепла, но и фактически испускают его.

Положения, выносимые на защиту:

➤ учет регулирования теплового потока и температурной зависимости теплофизических характеристик, моделирование нелинейных стационарных тепловых процессов в конденсационных средах;

➤ примеры процессов горения в конденсирующих средах в виде решения задач теплового горения в цилиндрических и сферических телах, а также распространения тепла по плоской стенке с учетом теплообмена с окружающей средой;

➤ условия устойчивости и неустойчивости, закон стационарного распределения температуры в среде и его определение;

- компьютерная программа для численного решения уравнения теплового баланса системы отопления методом Эйлера и метода Рунге-Кутты, тестирование и анализ результатов;
- разделение плоскости на устойчивую и неустойчивую сферы в конденсационной среде, а также определение состояния равновесия и условий теплообмена;
- программы реализации аналитических и дифференциальных схем при численном решении уравнения горения в лагранжевых координатах.

Теоретическое и прикладное значение исследования. Результаты заключаются в том, что предложенные аналитические и численно приближенные методы могут быть использованы для обработки амплитуд температурного режима конденсированных сред в случае воздействия периодических температурных флуктуаций, решения научных задач по теплофизике, а также в учебном процессе при чтении специальных курсов, выполнении курсовых, выпускных и магистерских работ, единого разработанного методологического подхода к исследованию области температура в конденсационной среде в условиях циклического теплового воздействия может быть использована для создания принципиально новых технологий в различных областях науки и техники, особенно следует использовать теплотехнику. Полученный набор аналитических выражений и дифференциальных схем для стационарной системы уравнений теплообмена при сгорании конденсированных материалов конечных размеров может быть использован для решения различных практических задач горения.

Степень достоверности результатов. Результаты получены путем обоснованного применения физико-математических методов, соответствующих реальным процессам теплопроводности в горнодвигательных средах, методов нахождения приближенных аналитических и численных решений прямых и обратных задач теплопроводности, непрерывно зависящих от скорости распространения температуры, зависимостей теплового потока от теплофизических и термодинамических свойств объектов, а также теоретического обоснования результаты и, наконец, их совместимость с результатами других авторов подтверждаются.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует содержанию следующих пунктов паспорта специальности 05.13.18-математическая амплификация, численные методы и комплекс программ:

- пункт 1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений;
- пункт 2. Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей;

-пункт 3. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий;

-пункт 4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента;

-пункт 5. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента;

-пункт 6. Разработка новых математических методов и алгоритмов проверки адекватности математических моделей объектов на основе данных натурального эксперимента;

-пункт 7. Разработка новых математических методов и алгоритмов интерпретации натурального эксперимента на основе его математической модели;

-пункт 8. Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования.

Апробация и внедрение результатов исследования. Результаты исследования были доложены: на научных семинарах и научных семинарах физического факультета и кафедры «Вычислительные машины, системы и сети» Таджикского национального университета (2018-2023 гг.); республиканской научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и сотрудников ТНУ (Душанбе, 2019-2023гг.); международной научной конференции «Математической физики и ее приложения» (РФ, г Самара, 2014); международной научно-практической конференции «Современные состояние исследований в области физико-технических проблем и материаловедения в Кыргызский Республики» (РК, г. Бишкек, 2016); IV международной научно-практической конференции «Наука в современном мире: теория и практика» (РФ, г. Уфа, 29-30 сентября 2016г.); республиканской научно-практической конференции «Значение физической науки в развитии современной техники и технологии» посвящённой 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (Худжанд, 9 февраля 2023 г.); международной научной конференции «Современные проблемы физики конденсированного состояния» посвящённой 75 годовщине основания Таджикского национального университета, объявлению 2025 года Годом защиты ледников и 80-летию со дня рождения Заслуженного работника Таджикистана, обладателя Премии международного Евразийского Патентного Бюро и Премии НАН Таджикистана имени С. Умарова, член-корр. НАН Таджикистана, д.ф.-м.н., профессора Туйчиева Шарофиддина (Душанбе, 24-25 октября 2023 г.); Материалы республиканской научно-теоретической конференции преподавателей, сотрудников НИИ ТНУ «Неделя науки» посвящённой «75-летию Таджикского национального университета», «115-летию академика Бободжона Гафурова», «2023 год - Год русского языка» и

«2025 год - Международный год защиты ледников» (Душанбе, 20-27 апреля 2023 г.); республиканской научно-методической конференции «Математическое и компьютерное моделирование физических процессов» (Душанбе, 2019, 2023).

Публикации по теме диссертации. По теме диссертации опубликовано 14 научных статей в рецензируемых изданиях из списка КОА при Президенте Республики Таджикистан и еще 15 статей в различных изданиях и материалах научных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, приложение, заключения и списка литературы из 310 наименований и состоит из 255 страниц текста, набранных с помощью текстового редактора Microsoft Word, 107 рисунков и 4 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении приводится актуальность выбранной темы, формулируются цель и основные задачи исследования, научная новизна и выносимые на защиту положения.

Первая глава работы посвящена анализу литературы и представлена методика моделирования аналитического и численного решения нелинейного распределения температуры в конденсирующихся средах.

Во второй главе представлена нелинейная модель распределения температуры в конденсированных средах.

В разделе 2.1 дано типичное аналитическое решение зависимости стационарного состояния нелинейного распределения температуры в конденсирующихся средах.

В этом случае рассмотрим систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} - \eta_1 T, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \eta_2 q, \end{cases} \quad (1)$$

где температура $T = T(x)$, плотность теплового потока (Вт/м²), (K), $q = q(x)$, $\eta_1 = (\mu - 1) / [x + \varepsilon - (\mu - 1)(x + \varepsilon)^\mu]$ (м⁻¹) и $\eta_2 = [1 - \mu(\mu - 1)(x + \varepsilon)^{\mu-1}] / [x + \varepsilon - (\mu - 1)(x + \varepsilon)^\mu]$, (м⁻¹) – компоненты. Если $\eta_1 + \eta_2 = 0$, $\mu = 0$, $\mu = 1$, при $\eta_1 + \eta_2 = 2/(x + \varepsilon)$, $\mu = 2$ сосуд принимает форму сферы. Величина ε , ($0 \leq \varepsilon < 1$) – малый параметр. $\varphi(T)$ – выражает теплообмен тела с окружающей средой.

Для устойчивости и равновесного состояния системы уравнения (1) выразим в виде (2).

$$\begin{cases} -\frac{q}{\lambda} - \eta_1 T = 0, \\ \varphi(T) - \eta_2 q = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Особую точку следует определять из решения (2).

Находим величину q ,

$$q = \frac{\lambda(\eta_1 k T + \varphi(T))}{\lambda \eta_2 - k}, \text{ хангоми } \lambda \eta_2 \neq k. \quad (3)$$

Используя (3), находим численный расчет температурной зависимости плотности теплового потока, что $\varphi(T) = \alpha_1 T - \alpha_2 T^3$.

При $q = \varphi(T)/\eta_2$ и $q = -\lambda \eta_1 T$ существует только одно стационарное состояние $T = -\varphi(T)/\lambda \eta_1 \eta_2$, который представлен на рисунке 1.

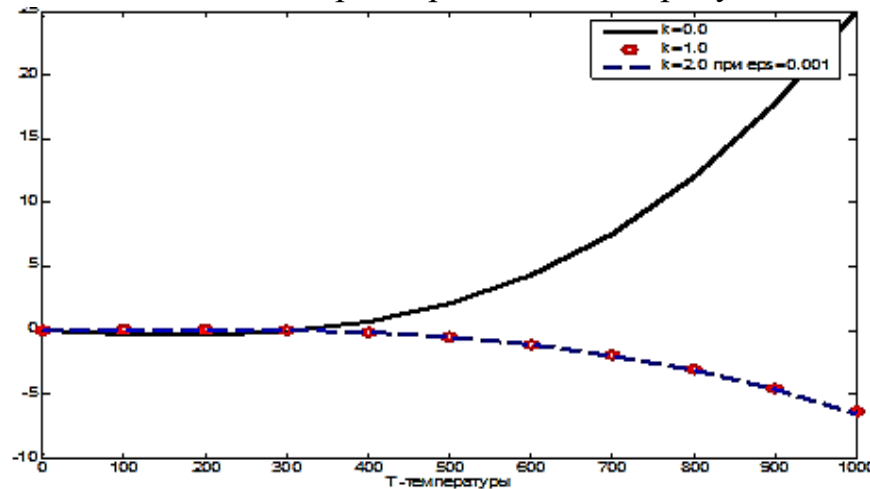


Рисунок 1. Температурная зависимость теплового потока

В разделе 2.2 представлена модель стационарного распределения тепла при нагреве внутренних температурозависимых источников.

При $x = x_0 = 0$ и $x = x_n = h$ тогда.

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dx} \Big|_{x=0} &= 0 \quad \text{и} \quad q \Big|_{x=0} = 0; \\ -\lambda \frac{dT}{dx} \Big|_{x=h} &= \alpha(T_1 - T_2) \quad \text{и} \quad q \Big|_{x=h} = \alpha(T_1 - T_2), \end{aligned} \quad (4)$$

где T_1 - температура в начале и T_2 - температура в конце.

Решения нелинейных задач представлены на рисунке 2.

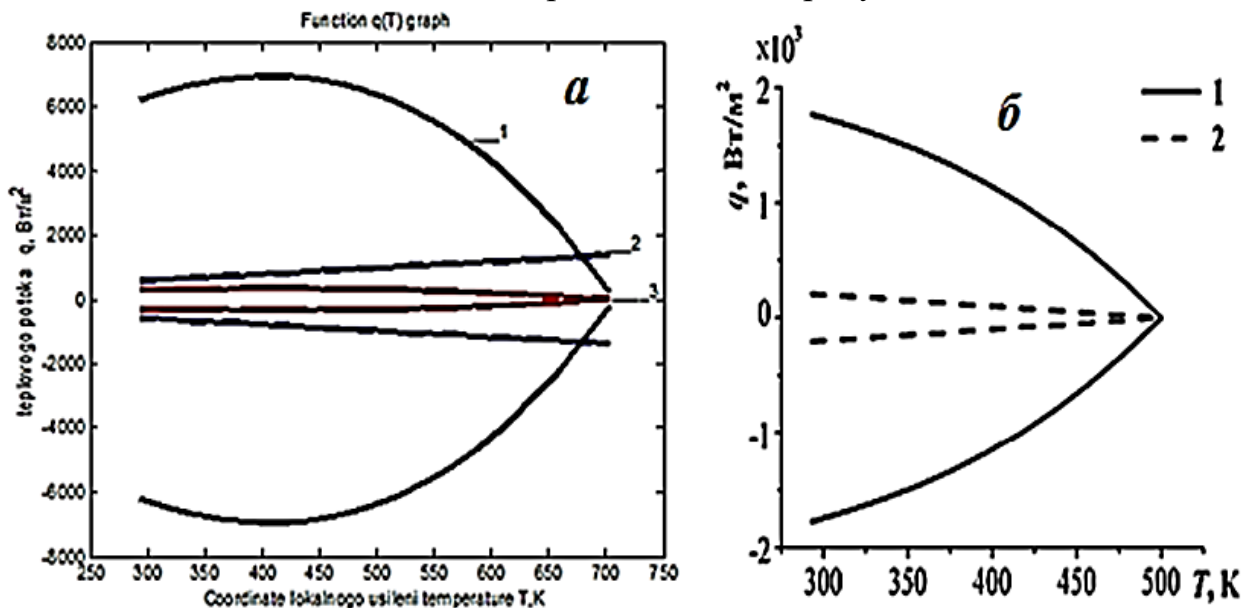


Рисунок 2. Зависимость теплового потока от температуры в фазовой плоскости

Используя это численное решение, мы можем рассчитать градиент температуры в земной коре.

Существует стационарное состояние $T = -\varphi(T)/(\eta_1 k)$. В этом случае возникает реактивная масса постоянного температурного поля при нагреве.

В разделе 2.3 представлена модельная демонстрация равновесного распределения тепла в среде с плоской геометрией, основанная на следующей системе дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} + \frac{T}{x + \varepsilon}, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \frac{q}{x + \varepsilon}, \end{cases} \quad (5)$$

где ε - является параметром настройки.

Как показано в разделе 2.1, фазовое преобразование происходит вокруг определенной точки $(q(x_*), T(x_*))$. То есть возникает необходимость управления процессом сгорания вокруг этой точки.

Общее решение (5) имеет следующий тип:

$$\begin{aligned} T(x, \varepsilon) &= \frac{(x + \varepsilon)[(2\varepsilon - 1)x - 2\varepsilon(\varepsilon - 1)]}{\lambda(1 - x - \varepsilon)(2\varepsilon - 1)} (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3) - \\ &- \left[1 - \frac{\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3}{(2\varepsilon - 1)\alpha(T_1 - T_2)} \cdot \frac{(\varepsilon - 2h(2\varepsilon - 1))(1 - h - \varepsilon) - (h - \varepsilon)^2(2\varepsilon - 1)}{(1 - h - \varepsilon)^2} \right] \cdot \\ &\cdot \left(\frac{h + \varepsilon}{\lambda} + (x + \varepsilon) \right) \alpha(T_1 - T_2), \\ q(x, \varepsilon) &= \frac{(\varepsilon - 1)(x + \varepsilon)}{(2\varepsilon - 1)(1 - x - \varepsilon)^2} (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3) + \frac{(\varepsilon - 1)(h + \varepsilon)^2 (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3)}{(2\varepsilon - 1)(1 - h - \varepsilon)^2 (x + \varepsilon)} - \\ &- \frac{h + \varepsilon}{x + \varepsilon} \alpha(T_1 - T_2). \end{aligned} \quad (6)$$

На рисунке 3 отображены результаты вычислений, выполненных на основе формулы (6). Из представленного графика видно, что с ростом линейных размеров объекта наблюдается повышение плотности теплового потока, в то время как температура тела уменьшается по мере увеличения координаты x , причем это изменение происходит нелинейно.

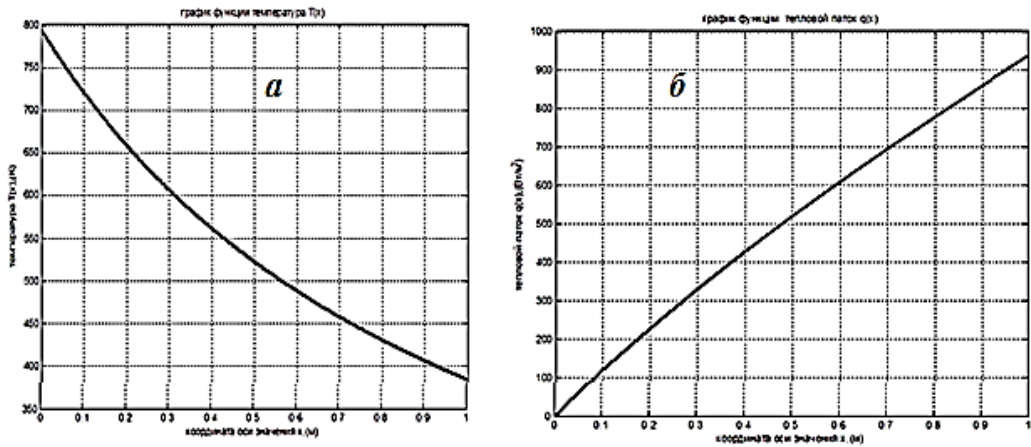


Рисунок 3. Зависимость температуры (а) и плотности теплового потока (б)

Рассмотрим зависимость теплового потока от температуры по типу (7):

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} + \frac{l}{x+\varepsilon}T, \\ \frac{dq}{dx} = \alpha_1 T - \alpha_2 T^3 - \frac{l}{x+\varepsilon}q. \end{cases} \quad (7)$$

Здесь $T = T(x)$ - температура, $q = q(x)$ - плотность теплового потока, λ - коэффициент теплопроводности, x - координата Ox .

Определяем плотность теплового потока (7):

$$q = \frac{\lambda(x+\varepsilon)(\alpha_1 T - \alpha_2 T^3) - \lambda k T}{\lambda - k(x+\varepsilon)}. \quad (8)$$

Подставим полученное значение во второе уравнение (2.7) и найдем T :

$$T = \pm \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{\lambda^2 k}{\alpha_2(x+\varepsilon)[\lambda(2\lambda-1) + k(1-\lambda)(x+\varepsilon)]}}. \quad (9)$$

Затем мы устанавливаем это значение T на (8) и находим окончательное выражение для плотности теплового потока в виде:

$$q(x, \varepsilon) = \pm \frac{\lambda^3 k}{(\lambda - k(x+\varepsilon))[\lambda(2\lambda-1) + k(1-\lambda)(x+\varepsilon)]} \cdot \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{k\lambda^2}{\alpha_2(x+\varepsilon)[\lambda(2\lambda-1) + k(1-\lambda)(x+\varepsilon)]}}. \quad (10)$$

Значения α_1 и α_2 определяются из

$$-\lambda \left. \frac{dT(x)}{dx} \right|_{x=x^*} = q(x^*).$$

$$-\lambda \left. \frac{dT(x)}{dx} \right|_{x=x^*} = q(x^*), \quad \left. \frac{d}{dx} \left(-\lambda \frac{dT(x)}{dx} \right) \right|_{x=x^*} = \left. \frac{dq}{dx} \right|_{x=x^*}. \quad (11)$$

Из (11) следует, что

$$\alpha_1 = \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right). \quad (12)$$

Принимая во внимание условие (11), помещая значение (12) в выражения (9) и (10), мы находим α_2 :

$$\alpha_2 = \frac{1}{2T^*2} \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \left(\sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right). \quad (13)$$

Значения α_1 и α_2 положить в (9) и (10), чтобы определить T и q .

Используя (12) и (13), выполняем численный расчет зависимости пропорционального коэффициента от координатных точек оси Ox и малого параметра для λ значения 0,2 Вт/(м·К).

Зависимости частиц α_1 и α_2 приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Зависимости коэффициентов пропорциональности α_1 и α_2

x	0,0030	0,0060	0,0090	0,0120	0,0150	0,0180	0,0210	0,0240	0,0270	0,030
α_1	236,88	243,586	249,956	256,030	261,837	267,399	272,739	277,874	282,819	287,59
α_2	0,0011	0,0012	0,0012	0,0012	0,0013	0,0013	0,0013	0,0014	0,0014	0,0014

Является точкой истинности формулы (11) $x=0,03$, где температура принимает следующее значение:

$$\sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}} = \sqrt{\frac{287,5893 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})}{0,0014 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}^3)}} = 453,23 \text{ К}.$$

Применяя уравнения (9) и (10), осуществили численный анализ зависимости теплового потока от температуры, что проиллюстрировано на рисунке 4.

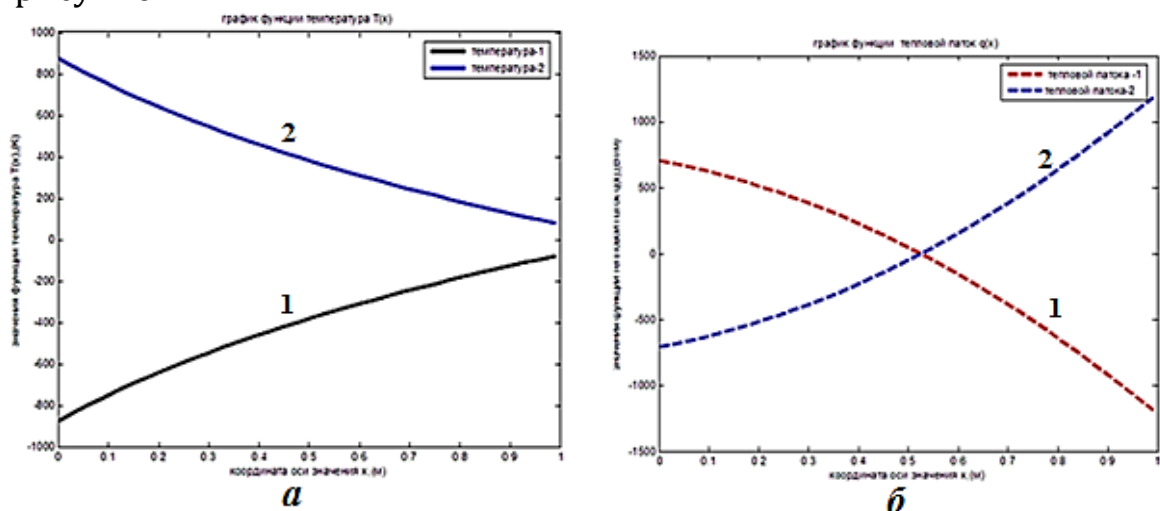


Рисунок 4. Зависимости температуры (а) и плотности теплового потока (б)

Из рисунка 4 видно, что наблюдается обратное поведение теплового потока, то есть его нелинейный рост и падение.

В разделе 2.4 рассмотрено исследование амсильвы стационарного рассеивания тепла в цилиндрической среде. В соответствии с переменными q и T задается задача о тепловом изображении теплообмена в неподвижной цилиндрической среде:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda}, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \frac{q}{x+\varepsilon}, \end{cases} \quad (14)$$

где маленький параметр ε ($0 \leq \varepsilon \ll 1$).

Найдем значения T и q :

$$T = \pm \frac{\sqrt{A\alpha_1} \exp(-f_2(x, \alpha_1, \alpha_2 k, \varepsilon))}{\sqrt{\alpha_2} \sqrt{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}}, \quad (15)$$

$$q(x, \varepsilon) = \pm \frac{\alpha_1 \sqrt{A\alpha_1} \lambda (x+\varepsilon) \exp(-f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{\sqrt{\alpha_2} (\lambda - k(x+\varepsilon)) \sqrt{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}} * \frac{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - 2A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}, \quad (16)$$

где

$$f_1(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) = [\lambda - k(x+\varepsilon)]^{\frac{2\alpha_2^2 \lambda}{\alpha_1 k^2}}, \quad f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) = \frac{\alpha_2^2}{\alpha_1 k} (x+\varepsilon), \quad k = \frac{\lambda}{\varepsilon},$$

$$A = \varepsilon \cdot (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3).$$

Значения α_1 и α_2 определяются из выражений (15) и (16):

$$\alpha_1 = \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x+\varepsilon)) - \frac{\lambda}{x+\varepsilon}} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \sqrt{k(3\lambda + k(x+\varepsilon)) - \frac{\lambda}{x+\varepsilon}} \right), \quad (17)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2T^*2} \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x+\varepsilon)) - \frac{\lambda}{x+\varepsilon}} \right) \left(\sqrt{k(3\lambda + k(x+\varepsilon)) - \frac{\lambda}{x+\varepsilon}} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right). \quad (18)$$

Из выражений (17) и (18) производим числовое вычисление значения $\lambda = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. В таблице 2 приведены результаты расчетов.

Таблица 2.

Зависимость коэффициента корреляции α_1 и α_2

№ п/п.	x	α_1	α_2	x	α_1	α_2
0	0.0000	236.8854	0.0011	0.0300	238.9327	0.0011
1	0.0003	236.9060	0.0011	0.0600	240.9477	0.0012
2	0.0006	236.9266	0.0011	0.0900	242.9317	0.0012
3	0.0009	236.9473	0.0011	0.1200	244.8855	0.0012
4	0.0012	236.9679	0.0011	0.1500	246.8103	0.0012
5	0.0015	236.9885	0.0011	0.1800	248.7071	0.0012
6	0.0018	237.0091	0.0011	0.2100	250.5766	0.0012
7	0.0021	237.0298	0.0011	0.2400	252.4198	0.0012
8	0.0024	237.0504	0.0011	0.2700	254.2374	0.0012
9	0.0027	237.0710	0.0011	0.3000	256.0303	0.0012
10	0.0030	237.0916	0.0011	0.3300	257.7991	0.0013

В случае $\varphi(T) = \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)$ результатов числового расчета,

показанных на рисунке 5, используются следующие параметры: $q_v = 8 \cdot 10^3$, $T_{ж} = 273\text{К}$, $\alpha = 5$, $\lambda = 23$, $h = (\sqrt{3.4.5} - 1) / (\sqrt{3.4.5} + 1)$, $\varepsilon = 0.001(0.0002, 0.003)$, $N = 20$.

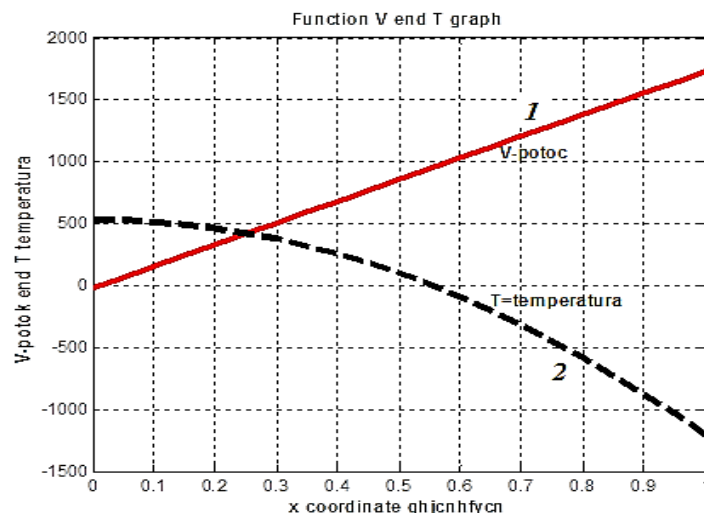


Рисунок 5. Зависимость плотности теплового потока (1) и температуры (2)

Изображение 5 - демонстрирует, что плотность теплового потока в цилиндрической среде возрастает почти линейно, тогда как температура изменяется нелинейным образом.

В разделе 2.5 рассмотрены приведенные выше исследования в сфере сферной среды.

В третьей главе представлены результаты расчетных методов моделирования нелинейного решения распределения температуры в конденсированных средах.

В этой главе обработан математический аппарат в виде дифференциальных схем, с помощью которого можно решать совершенно новые стационарные уравнения математической физики с переменными и постоянными коэффициентами.

В разделе 3.1 исследуется типовое представление численного решения задачи, а повторение идентичных операций обеспечивает подходящие условия для использования современных информационных технологий. Благодаря этому эффективность работы существенно возрастает.

В разделе 3.2 представлена типичная иллюстрация численного решения в плоской среде. Пусть дана система дифференциальных уравнений типа (19).

$$\begin{cases} q_k = \frac{1}{x_k + \varepsilon} T_k + \lambda \varepsilon_1, \\ \varphi(T_k) = \frac{1}{x_k + \varepsilon} q_k - \varepsilon_2. \end{cases} \quad k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

Разностный схема будет реализован следующим образом:

$$\frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{T_{k+1} - T_{k-1}} = \frac{\lambda q_k - \lambda (x_k + \varepsilon) (\varepsilon_2 + \varphi(T_k))}{(x_k + \varepsilon) (\lambda \varepsilon_1 - q_k) - \lambda T_k}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (20)$$

Для стационарного решения с установочным методом в качестве оператора стабилизации выбираются несовместимые системы стабилизации (19). При $\varepsilon_1 \neq q_k / \lambda$ и $T_k \neq (x_k + \varepsilon) q_k / \lambda - (x_k + \varepsilon) \varepsilon_1$ из уравнения $(x_k + \varepsilon) (\varepsilon_2 + \varphi(T_k)) - q_k = 0$ можно найти стационарные точки.

Поскольку дискретная система представляется выражением (20), то точка сближения представляется выражением

$$\frac{\lambda q_k - \lambda (x_k + \varepsilon) (\varepsilon_2 + \varphi(T_k))}{(x_k + \varepsilon) (q_k - \lambda \varepsilon_1) - \lambda T_k} = M_k, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (21)$$

определен.

Для случая $M_k \neq \lambda / (x_k + \varepsilon)$ из (21) можно вывести значение функции вида:

$$q_k = \frac{\lambda (x_k + \varepsilon) (\varepsilon_2 - M_k \varepsilon_1)}{\lambda - M_k (x_k + \varepsilon)} - \frac{\lambda [(x_k + \varepsilon) \varphi(T_k) - M_k T_k]}{\lambda - M_k (x_k + \varepsilon)}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (22)$$

Если условие $\varepsilon_2 = M_k \varepsilon_1$ ($k = 1, 2, 3, \dots$) выполнено, то

$$T_k^1 = 0,$$

$$T_k^2 = -\sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{M_k}{\alpha_2 (x_k + \varepsilon)}}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots).$$

$$T_k^3 = \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{M_k}{\alpha_2 (x_k + \varepsilon)}}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots).$$

$$M_k \varepsilon_1 = \varepsilon_2 \quad (k = 1, 2, 3, \dots).$$

Находим критическое условие:

$$T_{k+1} = T_{k-1} + \frac{2h(x_k + \varepsilon)}{\lambda - M_k(x_k + \varepsilon)} \varphi(T_k) + \frac{2h(\lambda - 2(x_k + \varepsilon)M_k)}{(x_k + \varepsilon)(\lambda - M_k(x_k + \varepsilon))} T_k,$$

$$q_{k+1} = q_{k-1} + 2h \frac{2\lambda - M_k(x_k + \varepsilon)}{\lambda - M_k(x_k + \varepsilon)} \varphi(T_k) - \frac{2h\lambda N_k}{(x_k + \varepsilon)(\lambda - M_k(x_k + \varepsilon))} T_k. \quad (23)$$

$$(k = 1, 2, \dots).$$

Заметим, что для всех внутренних узлов точек k -го слоя полученные зависимости образуют систему $(n+1)$ -го порядка.

В разделе 3.3 представлено численное решение модели зависимости стационарного распределения температуры и теплового потока в цилиндрической среде и на основе метода раздела 3.2 получены результаты расчета для следующей среды. Также в **разделе 3.4** приведено численное решение в среде сферической формы.

В главе 4 рассмотрено аналитическое и численное решение модели распределения температуры в двухпараметрических конденсирующихся средах.

В разделе 4.1 рассматриваются следующие типы вопросов:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = f(x, y), \quad (24)$$

$$u(x, 0) = \varphi(x), \quad \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} = \psi(x), \quad (25)$$

Приближенное решение (24) можно найти из условий (25) аналитическим методом. Рассмотрены пути создания аналитических методов решения (24) с использованием числовых рядов (26) и (27).

$$u(x, y) = \sum_{k=0}^{\infty} y^k (a_k(x) + b_k(x)), \quad (26)$$

$$a_0(x) = \varphi(x), \quad a_1(x) = 0, \quad b_0(x) = 0, \quad b_1(x) = \psi(x), \quad (27)$$

В разделе 4.2 представлен подход к получению приближенных аналитических результатов для описания двухпараметрического стационарного температурного распределения.

В этом случае решение записывается в следующем виде:

$$u(x, y, \mu, \lambda) = \varphi(x) + y\psi(x) + \sum_{k=1}^N (-1)^k \frac{y^{2k}}{k!} \left[\sum_{n=0}^k C_n^k Z_n(x) + y \sum_{n=0}^k C_n^k R_n(x) \right], \quad (28)$$

здесь

$$Z_k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (-1)^k s^{2k} \Phi(s) \exp(-isx) ds, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N, \quad (29)$$

$$R_k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (-1)^k s^{2k} \Psi(s) ds, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (30)$$

Таким образом, приближенно была построена непрерывная зависимость стационарного распространения тепла от температуры.

В разделе 4.3 представлен метод интегрального преобразования Фурье и его настройка. Здесь задача (24)-(25) в виде

$$u_{\alpha}(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} g(s, \alpha) \left(\Phi_0(s) \operatorname{Ch}(ys) + \Psi_0(s) \frac{\operatorname{Sh}(ys)}{s} \right) \exp(-isx) ds \quad (31)$$

имеем, что здесь $g(s, \alpha)$ - является стабилизирующим фактором и обладает свойствами (24)-(30).

В разделе 4.4 был проведен вычислительный эксперимент с использованием выражений (30) и (31).

Точное решение задачи с функцией распределения тепла имеет следующий вид

$$u(x, y) = \frac{b-y}{(b-y)^2 + (a-x)^2} + \frac{b-y}{(b-y)^2 + (a+x)^2}. \quad (32)$$

Начальная функция распределения тепла

$$\varphi(x) = \frac{b}{b^2 + (a-x)^2} + \frac{b}{b^2 + (a+x)^2},$$

является, функцией теплового потока

$$\psi(x) = \frac{b^2 - (a-x)^2}{b^2 + (a-x)^2} - \frac{b^2 - (a+x)^2}{b^2 + (a+x)^2},$$

и поток наведенного тепла

$$\tilde{\psi}(x) = \frac{b^2 - (a-x)^2}{b^2 + (a-x)^2} - \frac{b^2 - (a+x)^2}{b^2 + (a+x)^2} + \delta \frac{b^2 - (a_1-x)^2}{b^2 + (a_1-x)^2} - \frac{b^2 - (a_1+x)^2}{b^2 + (a_1+x)^2}$$

является.

Значения $u(x, y)$, $\tilde{u}(x, y)$, $u_{\alpha}(x, y)$ входящие в выражение (32), рассчитывались с помощью (28), (30), (31):

$$\{-a < x < a, \quad 0 < y < b\}; a = 2; \quad a_1 = 1.5; \quad b = 0.75 \quad (0.5; \quad 0.3);$$

$$\delta = 3.0e - 1; \quad (3.0e - 2; \quad 3.0e - 3).$$

Значения приближенного и точного решений (27) представлены на рисунке 6.

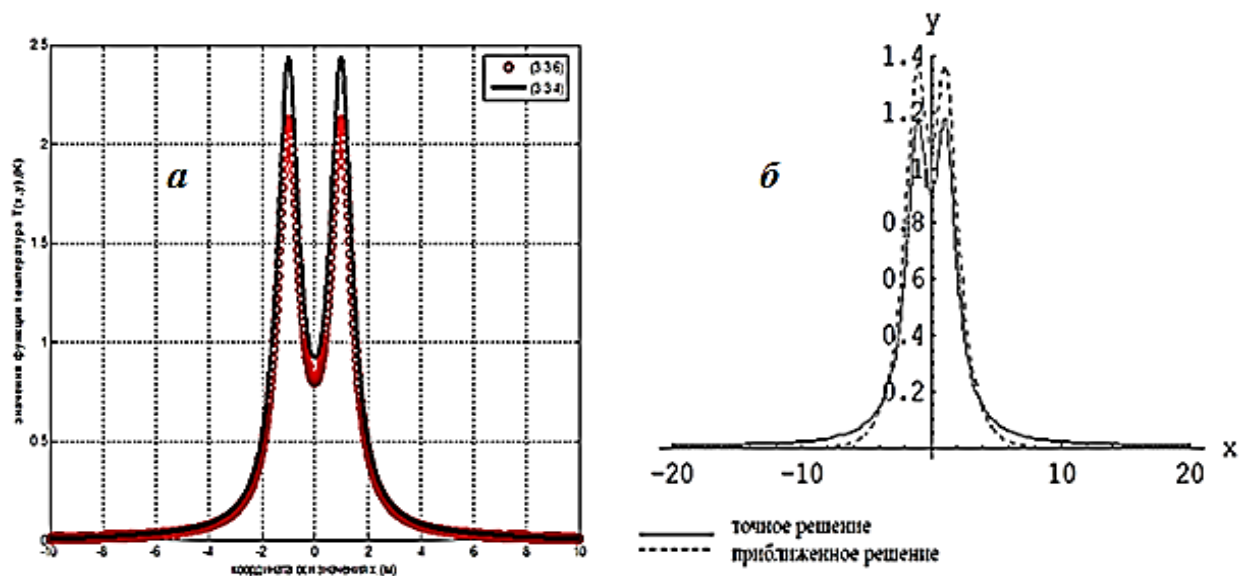


Рисунок 6. Точные и приближенные решения

Значения точных аналитических решений тепловой функции представлены на рис. 6.

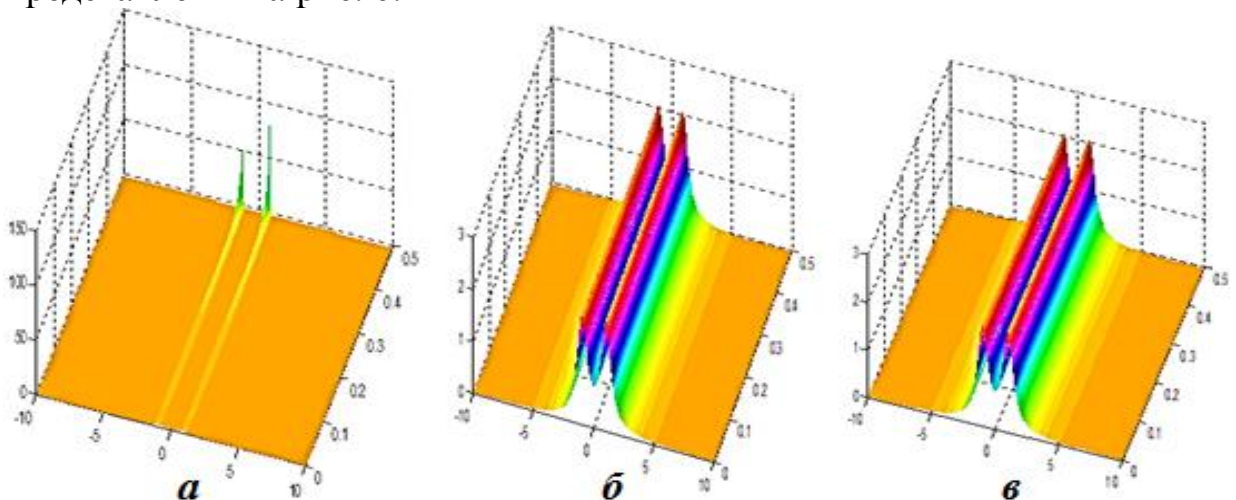


Рисунок 7. Стационарное распределение тепла в пространстве

В главе 5 обсуждается компьютерное моделирование нелинейного распределения температуры в конденсирующейся среде.

Компьютерное моделирование нелинейного распределения температуры в конденсирующихся средах является важным подходом к пониманию и прогнозированию поведения тепловых систем. Такой подход позволяет инженерам и ученым заниматься комплексными исследованиями в различных областях, включая физику конденсации, теплофизику и теплотехнику.

В разделе 5.1 представлена схема компьютерного моделирования нелинейного распределения температуры в конденсирующихся средах.

В разделе 5.2 описан численный метод для решения задачи о нелинейном распределении температуры в средах, подверженных конденсации.

Результаты исследования демонстрируют, что разработанная компьютерная программа и проверенный алгоритм могут эффективно

использоваться для анализа температурных полей, теплоотдачи, концентрации и других факторов окружающей среды.

Раздел 5.3 сосредоточен на численном решении аналогичной задачи, касающейся стабильных нелинейных температурных распределений в конденсирующихся средах. При создании программы предусмотрена возможность будущего усовершенствования алгоритма и расширения диапазона решаемых задач.

В разделе 5.4 представлена структура программного комплекса процесса теплопроводности в конденсационных средах и результаты компьютерного анализа.

Структура программного комплекса процесса теплопроводности в конденсационных средах может быть представлена в виде следующей схемы:

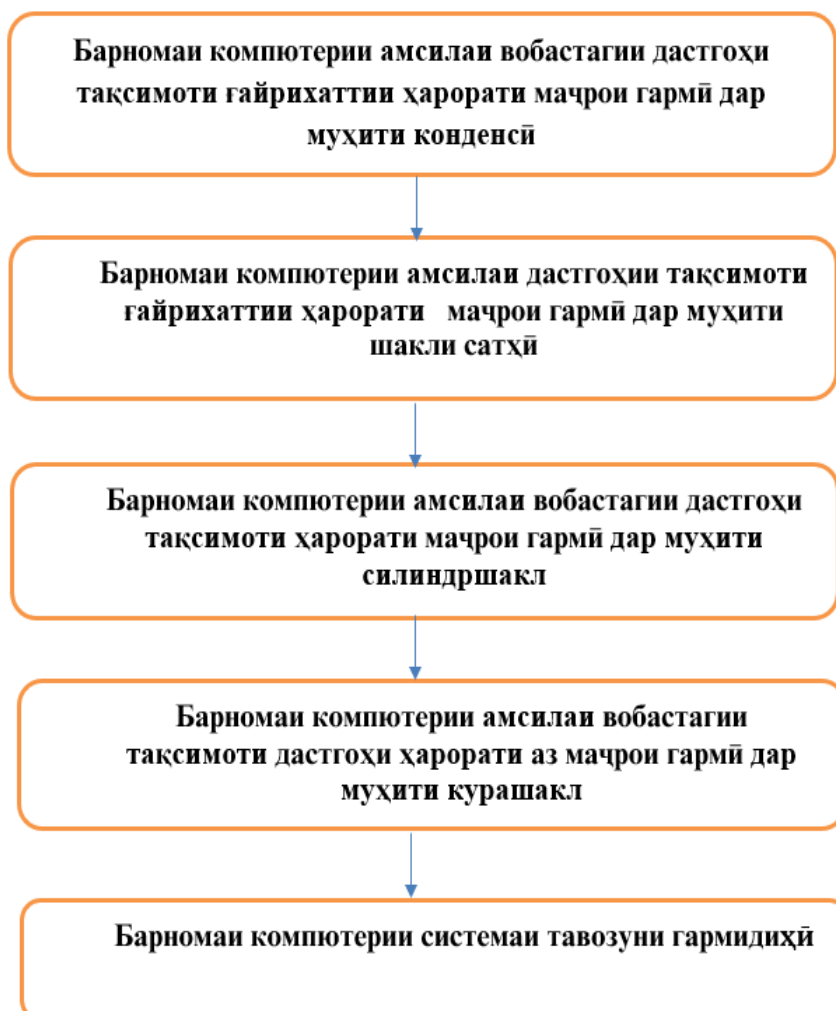


Рис. 8. Структура программного комплекса

1. Компьютерная программа моделирования зависимости устройства нелинейного распределения температуры теплового потока в конденсационной среде

Построение компьютерной программы на языке программирования C++ Builder для моделирования зависимости устройства от нелинейного распределения температуры теплового потока в конденсационной среде предполагает использование численных методов для решения уравнений теплопроводности. В этой реализации используется метод конечных разностей для двухстороннего режима.

Сценария 1.

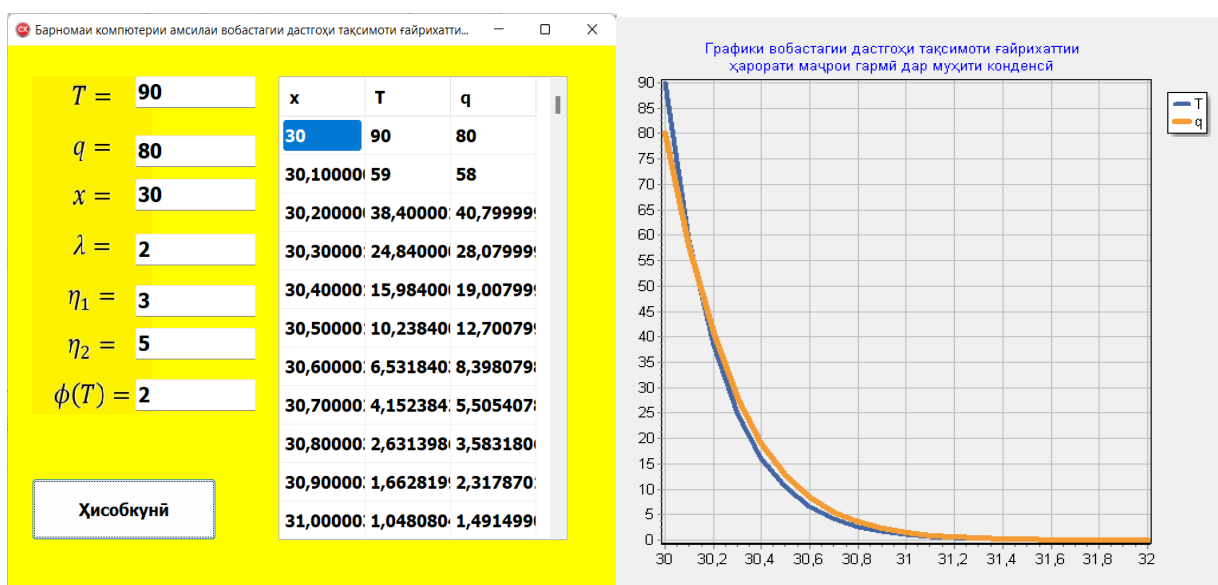


Рисунок 9. Вывод компьютерной программы модели зависимости устройства нелинейного распределения температуры теплового потока в конденсационной среде в табличном и графическом виде

Сценария 2.

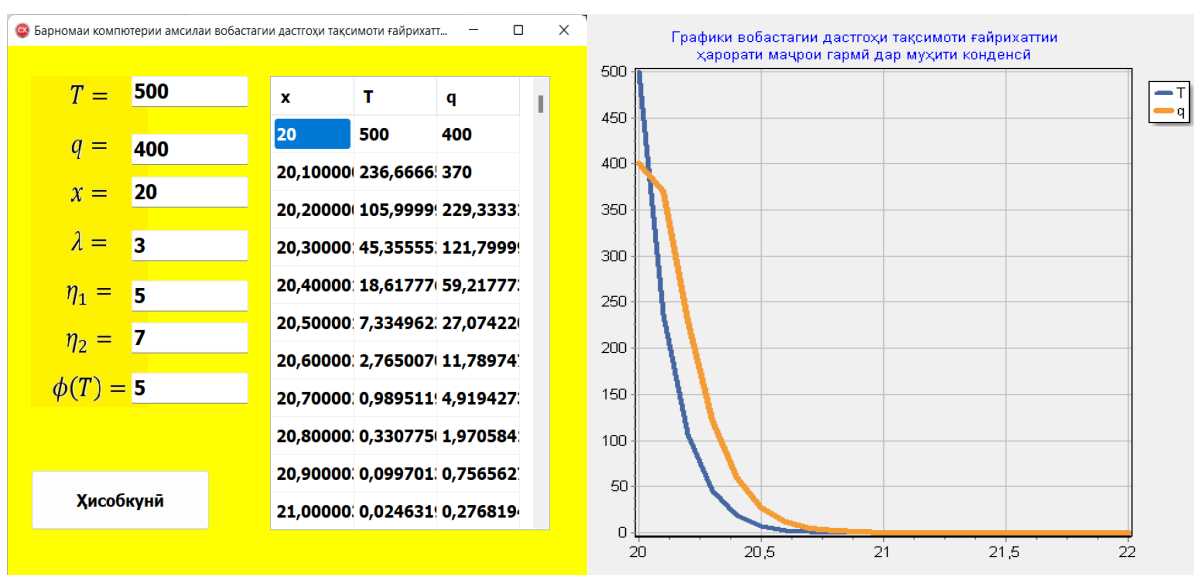


Рисунок 10. Вывод компьютерной программы модели зависимости устройства нелинейного распределения температуры теплового потока в конденсационной среде в табличном и графическом виде

Сценария 3.

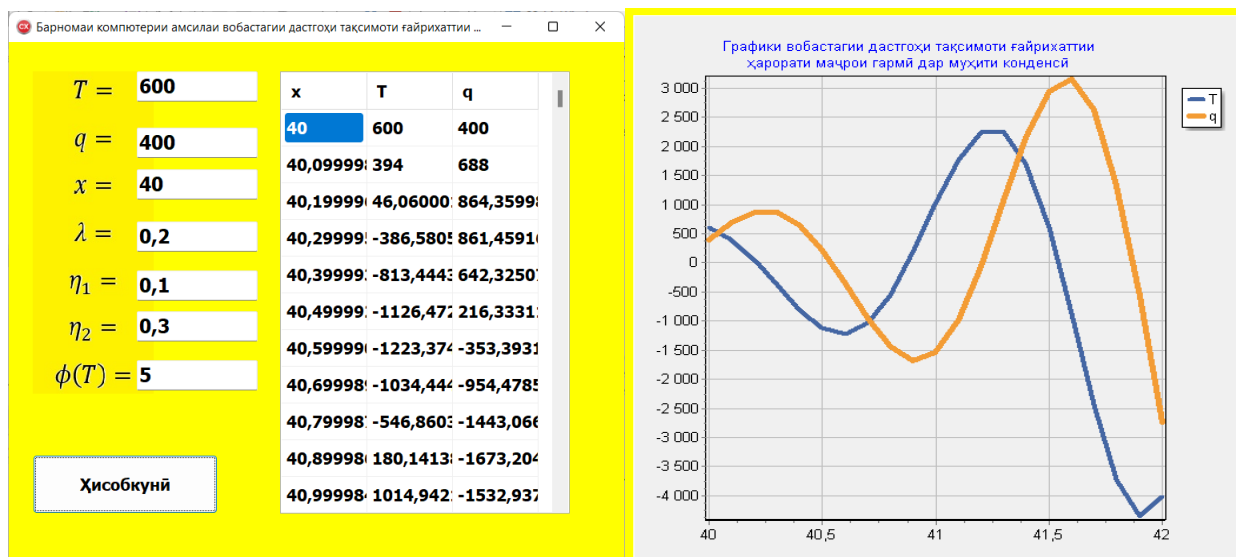


Рисунок 11. Вывод компьютерной программы модели зависимости устройства нелинейного распределения температуры теплового потока в конденсационной среде в табличном и графическом виде

2. Компьютерная программа модели устройства нелинейного распределения температуры теплового потока в поверхностной среде

Для построения компьютерной программы тепловыделения устройства с нелинейным распределением температуры теплового потока в поверхностной среде мы можем использовать метод, аналогичный описанному ранее для тепловыделения в объемной среде. Однако в этом случае мы рассмотрим распределение тепла по поверхности, что может потребовать некоторых характеристик при расчетах и визуализации.

Вывод программы в виде сценария на скриншоты:

Сценария 1.

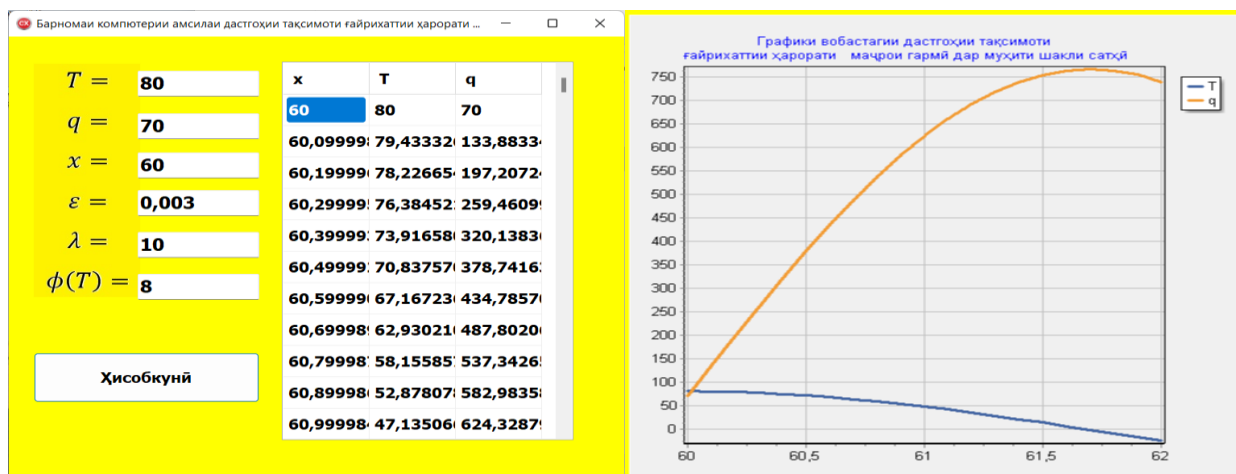


Рисунок 12. Вывод компьютерной программы модели зависимости устройства нелинейного распределения температуры теплового потока в поверхностной среде в табличном и графическом виде

Сценария 2.

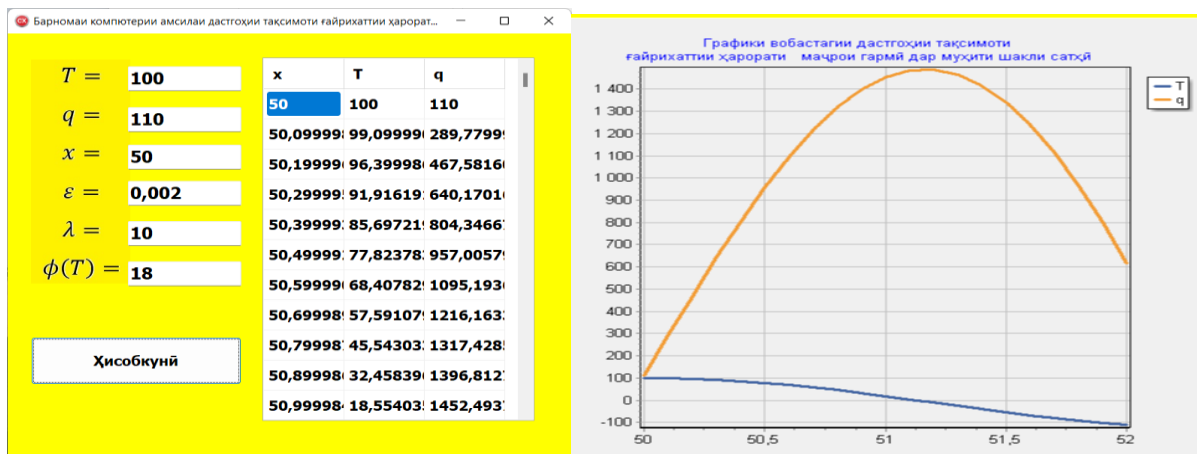


Рисунок 13. Вывод компьютерной программы модели зависимости устройства нелинейного распределения температуры теплового потока в поверхностной среде в табличном и графическом виде

Приложение предоставляет базовый шаблон для моделирования нелинейного распределения температуры теплового потока в двусторонней среде с использованием метода конечных разностей. Программа позволяет вводить начальные и конечные условия, решать уравнения теплопроводности и просматривать результаты в графическом интерфейсе C++ Builder.

3. Компьютерная программа моделирования зависимости устройства распределения температуры теплового потока от цилиндрической среды

Создание компьютерной программы для моделирования зависимости устройства распределения температуры теплового потока в цилиндрической среде на языке программирования C++ Builder требует учета геометрических особенностей цилиндра. Рассмотрим в этом случае уравнение стационарного нагрева в цилиндрической системе координат.

Сценария 1.

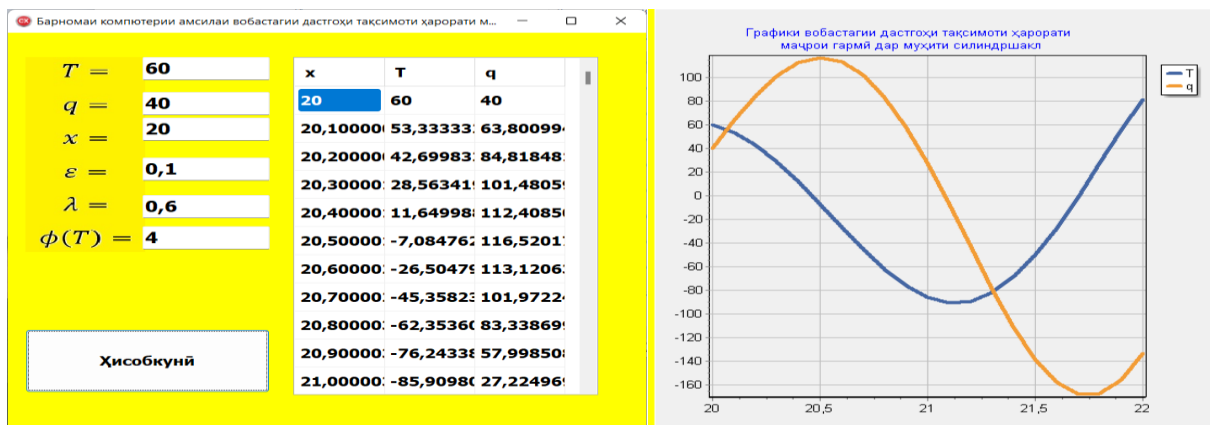


Рисунок 14. Результат компьютерной программы моделирования зависимости устройства нелинейного распределения температуры теплового потока в цилиндрической среде от табличного и графического вида

Сценария 2.

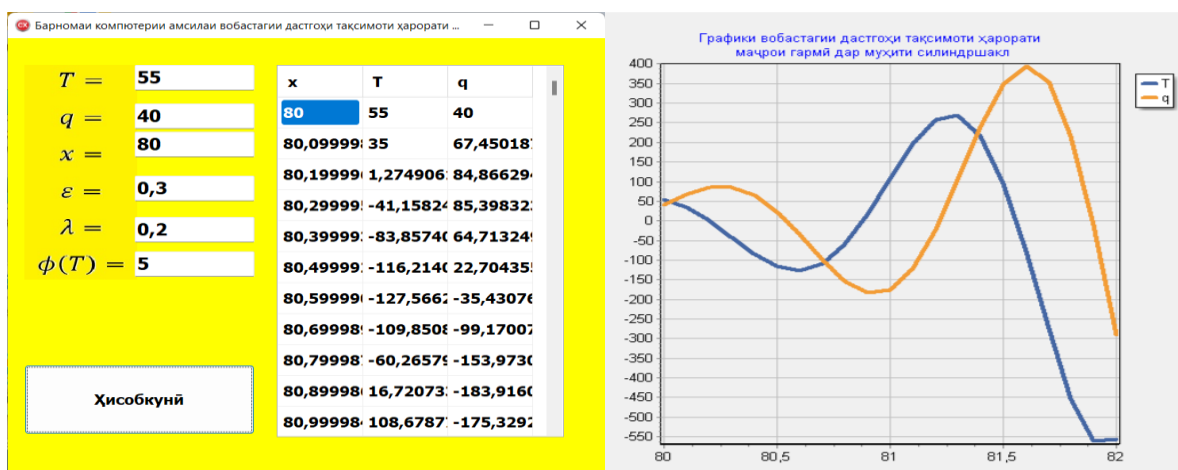


Рисунок 15. Результат компьютерной программы моделирования зависимости устройства нелинейного распределения температуры теплового потока в цилиндрической среде от табличного и графического вида

Таким образом, программа моделирования распределения температуры теплового потока в цилиндрической среде, разработанная в C++ Builder, является мощным инструментом для анализа и исследования теплопередачи в различных инженерных и научных приложениях.

4. Компьютерная программа моделирования зависимости распределения температуры устройства от теплового потока в сферической среде

Создание компьютерной программы для моделирования зависимости распределения температуры устройства от теплового потока в сферической среде требует учета геометрических особенностей сферы и решения уравнения теплопроводности в сферических координатах.

Сценария 1.

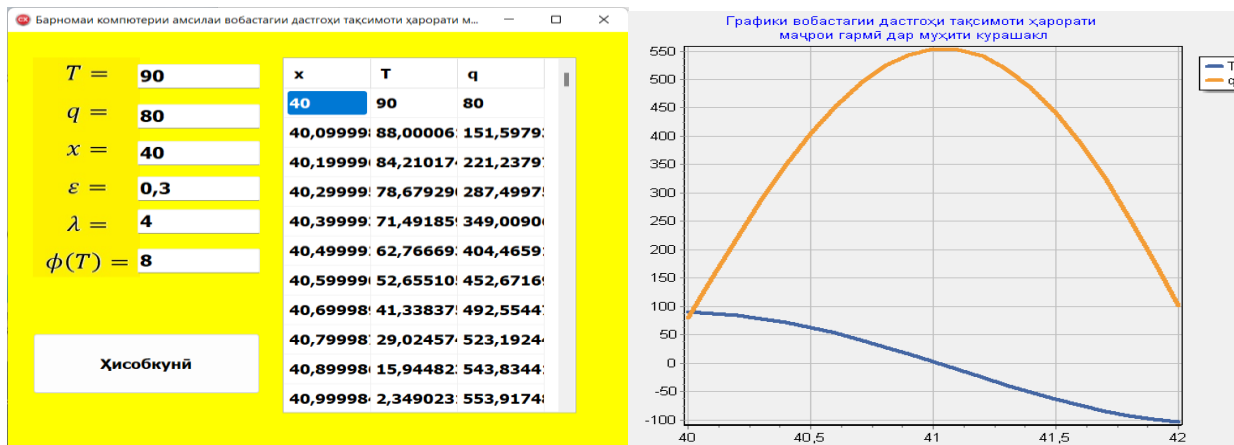


Рисунок 16. Результат компьютерной программы моделирования зависимости устройства нелинейного распределения температуры теплового потока в сферической среде от табличного и графического вида

Сценария 2.

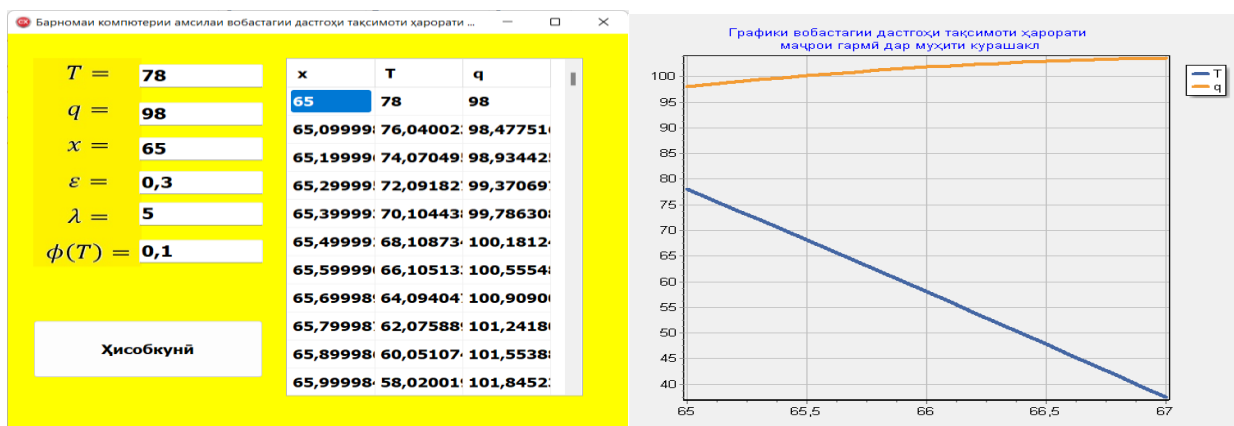


Рисунок 17. Результат компьютерной программы моделирования зависимости устройства нелинейного распределения температуры теплового потока в сферической среде от табличного и графического вида

В целом, программа зависима модель устройства нелинейного распределения температуры теплового потока в конденсационной среде на языке программирования C++ Builder предлагает инструмент для комплексного анализа тепловых процессов и оптимизации устройств, работающих в таких условиях.

5. Компьютерная программа системы теплового баланса

Вот пример программы на C++, которая реализует численное решение уравнения теплового баланса системы отопления с использованием метода Эйлера и метода Рунге Кутты. Программа принимает начальные условия, параметры системы и время моделирования для ввода, а затем вычисляет температуру в помещении с течением времени.

Программа вычисляет температуру в помещении по методу Эйлера и Рунге-Кутты.

Сценария 1.

```
Выбрать: "C:\Users\user\Desktop\barnomai 5\bin\Debug\barnomai 5.exe"
Prad=1000
U=0.1
A=20
C=1000000
Tout=0
Tin=20
t_ibt=0
t_int=3600
Qadam=100
Time (s)      Temperature (Euler)      Temperature (RK4)
0             20.096                  20.096
100          20.192                  20.192
200          20.2879                 20.2879
300          20.3839                 20.3839
400          20.4798                 20.4798
500          20.5757                 20.5757
600          20.6716                 20.6716
700          20.7675                 20.7675
800          20.8633                 20.8633
900          20.9591                 20.9591
1000         21.0549                 21.0549
1100         21.1507                 21.1507
1200         21.2465                 21.2465
1300
```

Рисунок 18. Результат расчетной программы по методу Эйлера и Рунге-Кутты

Сценария 2.

```
"C:\Users\user\Desktop\barnomai 5\bin\Debug\barnomai 5.exe"
Prad=2000
U=0.01
A=30
C=2000000
Tout=1
Tin=30
t_ibt=0
t_int=3600
Qadam=60
Time (s)      Temperature (Euler)      Temperature (RK4)
0             30                      30
60           30.5974                 30.5974
120          31.1947                 31.1947
180          31.792                  31.792
240          32.3892                 32.3892
300          32.9864                 32.9864
360          33.5835                 33.5835
420          34.1806                 34.1806
480          34.7776                 34.7776
540          35.3746                 35.3746
600          35.9715                 35.9715
660          36.5683                 36.5683
720          37.1651                 37.1651
780          37.7619                 37.7619
```

Рисунок 19. Результат расчетной программы по методу Эйлера и Рунге-Кутты

В целом, разработанная программа является полезным инструментом для моделирования динамики системы отопления и может быть использована для проведения дальнейших исследований в этой области.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Основные научные результаты диссертации

В диссертации поставленная цель состояла в том, чтобы построить компьютерно обоснованные малоэффективные математические методы аналитических и численных конкретных методов решения нелинейных тепловых машинных процессов в конденсационных средах для замены дифференциальных уравнений машинных систем на отдельные производные простых уравнений с неопределенной функцией температуры и теплового потока. Анализ результатов моделирования позволяет оценить эффективность и надежность разработанных моделей, а также выбрать наиболее подходящий метод для конкретных задач. Также вместо фиксированного шага по времени мы можем реализовать выбор адаптивного шага по времени в зависимости от текущей динамики системы. Это позволяет более эффективно использовать вычислительные ресурсы и обеспечивает достаточную точность результатов. Использование параллельного выполнения вычислений или оптимизации алгоритмов и структур данных позволяет существенно ускорить производительность программы, особенно при работе с большими объемами данных или сложными моделями.

Учитывая вышеизложенное исследование, можно сделать вывод, что:

1. С учетом регулирования температуры и теплового потока одобрен новый доклад по проблеме моделирования аналитического и численного решения нелинейных стационарных процессов термического горения конденсирующихся сред и получены совершенно новые экспериментальные результаты. [1-М-2-М].

2. Исследована закономерность стационарного температурного распределения в окружающей среде, а также описано состояние равновесия тепловых потоков и температуры на фазовой диаграмме. Установлены условия, при которых возможно как устойчивое, так и неустойчивое состояние [3-М-8-М].

3. В среде конденсации были определены критерии равновесия и условия теплообмена, которые разделяют плоскость на области устойчивости и неустойчивости [4-М-20-М].

4. Разработаны дифференциальные схемы и математические методы, превосходящие существующие инструменты, в форме аналитических формул, что позволяет решать новые практические задачи [10-М-30-М].

5. Обновлено математические методы решения уравнения горения с помощью численного исследования вокруг особых точек. В результате доказано, что события теплового взрыва и воспламенения (воспламенения) являются не разными процессами, а разными планами одного и того же процесса [8-М-24-М].

6. Разработана компьютерная программа на языке программирования C++ Builder для моделирования зависимости работы устройства от нелинейного распределения температуры теплового потока

в конденсирующей среде, использующая метод конечных разностей для двустороннего случая [12] -М-18-М].

2. Рекомендации по практическому использованию результатов

Создан унифицированный методический подход к исследованию. В процессе работы была разработана программа на языке C++, которая предназначена для численного решения уравнения теплового баланса в системе отопления. Программа была реализована с использованием методов Эйлера и Рунге-Кутты для оценки динамики изменения комнатной температуры во времени, что дает следующие результаты:

- **Применение численных методов:** для метода Эйлера и метода Рунге-Кутты разработаны функции, которые позволяют численно рассчитать уравнение теплового баланса.

- **Тестирование и анализ результатов:** проведена проверка точности результатов моделирования, а также анализ стабильности, точности и времени выполнения для обоих методов.

- **Сравнение методов:** сравнивались результаты, полученные методом Эйлера и методом Рунге-Кутты. Установлено, что метод Рунге-Кутты дает более точные и стабильные результаты при том же временном шаге.

- **Области дальнейших исследований:** в качестве дальнейших направлений исследований обсуждаются оптимизация программы, учет дополнительных физических процессов, выбор адаптивных временных шагов и расширение функций для учета различных сценариев.

- **Теоретическая часть:** компьютерные исследовательские эксперименты могут использоваться во время спецкурсов и лабораторных занятий, курсовой, выпускной и магистратуры.

СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

а) монографии, книги и учебные пособия

[М-1]. Наджмиддинов, А.М. Математическое моделирование нелинейных явлений стационарной теплопроводности – монография /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддинов // - Душанбе: Ирфон. -2017. -120 с. ISBN-978-99975-0-816-4.

[М-2]. Начмиддинов А.М. Амсиласозии математикии ходисаҳои ғайрихаттии гармигузаронӣ – монография / Начмиддинов А.М. //Душанбе «Ирфон» - 2019, 156 саҳ. ISBN: 9789997509222.

б) статьи, опубликованные в печатных изданиях Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан

[М-3]. Начмиддиниён, А.М. Модели компютериї раванди гармигузаронӣ дар мухитҳои конденсӣ / А.М. Начмиддиниён //Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара. - 2024, №2(28), -С.24-34.

[М-4]. Начмиддиниён, А.М. Ҳалли адабии амсилаи паҳншавии статсионари гармӣ дар мухити шакли куравӣ ва натиҷаҳои таҳлилҳои компютериї он / А.М. Начмиддиниён //Паёми Донишгоҳи давлатии

Данғара. - 2024, №1-2(122), -С.222-228.

[М-5]. Наджмиддиниён, А.М. Модельной представление численного решения зависимости стационарного распределения температуры от теплового потока в конденсированных средах / Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов // Вестник Таджикского национального университет. Серия естественных наук. -2023. -№1. –С.83-93.

[М-6]. Наджмиддиниён, А.М. Моделной представление аналитической решение зависимости стационарного состояний нелинейного распределения температуры в сферических конденсированных средах /А.М. Наджмиддиниён // Вестник филиала московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. Серия естественных наук. -2023. -№4. –С.116-124.

[М-7]. Наджмиддиниён, А.М. Моделной представление аналитической решение зависимости стационарного состояния нелинейного распределения температуры в цилиндрических конденсированных средах /А.М. Наджмиддиниён // Вестник Таджикского национального университет. Серия естественных наук. -2023 г. -№4. –С.54-63.

[М-8]. Наджмиддиниён, А.М. Модельной представление численной решение зависимости стационарного состояний нелинейного распределения температуры в цилиндрических конденсированных средах /А.М. Наджмиддиниён // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации и Инвестиции -2023 г. -№3(63). –С.11-16.

[М-9]. Наджмиддиниён, А.М. Модель управления проектной деятельностью в цифровой образовательной среде университета / Подповетная Ю.В. Наджмиддиниён А. М. Овсяницкая Л. Ю., Подповетный А. Д. // Вестник Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) 2022. №4 (22) С.96-108.

[М-10]. Наджмиддиниён, А.М. Модельной представление численного решения зависимости стационарного распределения температуры от теплового потока в конденсированных средах /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов // Вестник Дангаринского государственного университет. Серия естественных наук. -2022. -№2. –С.72-83.

[М-11]. Najmiddinov, A.M. The improvement and automation of the processes of the products reception and assembly in the trade-warehouse complex [Tekst] / Podpovetnaya Yu.V., Najmiddinov A.M., Ovsyanitskaya L.Yu., Ovsyanitskiy A.D. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2018. Т. 18. №4. С. 160-169.

[М-12]. Наджмиддинов, А.М. Физическое распределение тепла с помощью математической модел процесса теплопроводности /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддинов // Финансово-экономический Вестник. -2018. -№2(14). – С.81-90.

[М-13]. Наджмиддинов, А.М. Приближенные аналитические решения нелинейной стационарной задачи теплопроводности при нагреве внутренними источниками, зависящими от температуры /Х.Ш. Джураев, А.М.

Нажмиддинов, С.Ш. Хасанов //Проблемы автоматизации и управления. ИАИТ НАН КР.-2017, № 2 (33). – С. 27-31. ISSN 1694-5050

[М-14]. Нажмиддиниён, А.М. Исследование зависимости стационарного распределения теплового потока от температуры в конденсированных средах [Текст]/ Х.Ш. Джураев, К. Комилов, А.М. Нажмиддинов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2016, № 1/1 (192). – С. 114-120.

[М-15]. Нажмиддиниён, А.М. Применение метода фазовой плоскости для краевых задач уравнений нелинейной стационарной теплопроводности [Текст] /А.М. Нажмиддинов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – № 1/2 (160).– С. 117-121.

[М-16]. Нажмиддинов, А.М. Распространение тепла в твёрдом теле при независимости источников от температуры, содержащих параметр / Х.Ш. Джураев, А.М. Нажмиддинов //Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2012, №1(52), -С.22-24.

в) Мақолаҳои ки дар дигар маҷалҳо ба нашр расиданд

[М-17]. Нажмиддинов, А.М. Стационарное распределение плотности теплового потока от температуры в конденсированных средах [Текст] / Х.Ш. Джураев, К. Комилов, А.М. Нажмиддинов // Молодёжный научный вестник электронной научной-практической журнал – 2016 г.– № 3. – С. 3-9.

[М-18]. Нажмиддинов, А.М. Приближенные аналитические решения нелинейной стационарной задачи теплопроводности при нагреве внутренними источниками, зависящими от температуры [Текст] / Нажмиддинов А.М. //Материалы республиканской научно-практической конференции. ФЭИТ - г.Душанбе, 25 ноября 2017 г. С. 120-124.

[М-19]. Najmiddinov A.M. Approximate analytical solutions of nonlinear stationary problem of thermal conductivity in heating with internal sources depending on the temperature. [Text] / Najmiddinov A.M.// XIV - international scientific–practical conference «The strategies of modern science development» 7-8 February 2018, North charleston, SC, USA. Page 5-11.

[М-20]. Нажмиддиниён, А.М. Амсиласозӣ ва дигаргун кардани координати температура ва сели гармӣ [Текст] / Нажмиддинов А.М., Халилова У.О. // Маводи конференсияи илмӣ-назариявӣ. Донишгоҳи давлатии молия ва иқтисоди Тоҷикистон. ш. Душанбе, 29- ноябри с. 2018 С.73-77.

[М-21]. Нажмиддинов, А.М. Точные аналитические решения нелинейной нестационарной обратной задачи теплопроводности [Текст] / А.М. Нажмиддинов // Конференсияи илмӣ-назариявӣ ҳайати профессорон ва устодони Донишгоҳи давлатии молия ва иқтисоди Тоҷикистон, бахшида ба соли рушди сайёҳӣ ва ҳунароҳои мардумӣ, шаҳри Душанбе, 27-28 апрели соли 2018 С. 142-143

[М-22]. Нажмиддинов, А.М. Распределение тепла в среде сферической форме [Текст] / Джураев Х.Ш., А.М. Нажмиддинов // Конференсия чумхуриявӣ илмию амалӣ дар мавзӯи “Амсиласозии математикӣ ва компютери равандроҳои физикӣ” кафедраи МҲСШ –и факултети Физикаи ДМТ, ш.Душанбе 25.10. 2019 - С 60-64

[М-23]. Наджмиддинов, А.М. Моделирование результатов расчетов распределения тепла в среде цилиндрической формы разностным методом [Текст] / А.М. Наджмиддинов, М.Б. Акрамов. // Материалы международной научно-практической конференции «ШОҚАН ОҚУЛАРЫ - 23» 26 апреля, Кокшетау, 2019 г. - С 354-357.

[М-24]. Наджмиддинов, А.М. Исследование изменения значения теплового потока и температуры от размерности цилиндрической среды [Текст] / Акрамов М.Б., Наджмиддинов А.М. // «Актуальные проблемы внедрения инновационной техники и технологий на предприятиях по производству строительных материалов, химической промышленности и в смежных отраслях» Ферганский политехнический институт Узбекистан, г. Фергана 24-25 мая 2019 года.

[М-25]. Наджмиддиниён, А.М. Модельной представлении аналитического решения зависимости стационарного состояния нелинейного распределения теплового потока от температуры в конденсированных средах /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов // Маводы Республиканской научно-практической конференции на тему «Математические и компьютерные моделирование физических процессов» посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (9 февраля 2023 года) Душанбе -2023 г. ТНУ -320 стр. –С 20-30.

[М-26]. Наджмиддиниён, А.М. Модельной представлении численного решения зависимости стационарного распределения температуры от теплового потока в конденсированных средах /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов // Маводы Республиканской научно-практической конференции на тему «Математические и компьютерные моделирование физических процессов» посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (9 февраля 2023 года) Душанбе -2023 г. ТНУ -320 стр. –С 40-46.

[М-27]. Наджмиддиниён, А.М. Аналитические решения нелинейной нестационарной обратной задачи теплопроводности / А.М. Наджмиддиниён // Материалы Республиканской научно-практической конференции на тему «Математические и компьютерные моделирование физических процессов» посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (9 февраля 2023 года) Душанбе – 2023 г. ТНУ -320 стр. –С 81-82.

[М-28]. Наджмиддиниён, А.М. Стационарного распределения температуры от теплового потока в среде плоской формы разностным методом / Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён // Маводы республиканской научно-практической конференции «Значение физической науки в развитии современной техники и технологии» посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (9 февраля 2023 г.) г. Худжанд – 2023 Дабир -599 стр. –С 55-62.

[М-29]. Наджмиддиниён, А.М. Исследование зависимости стационарного состояния нелинейного распределения теплового потока и

температуры от координат в сферических конденсированных средах / А.М. Нажмиддиниён, Х.Ш. Джураев, Д.К. Солихов // Современные проблемы физики конденсированного состояния: Материалы международной научной конференции посвящённой 75 годовщине основания Таджикского национального университета, объявлению 2025 года Годом защиты ледников и 80-летию со дня рождения Заслуженного работника Таджикистана, обладателя Премии международного Евразийского Патентного Бюро и Премии НАН Таджикистана имени С. Умарова, член-корр. НАН Таджикистана, д.ф.-м.н., профессора Туйчиева Шарофиддина (24-25 октября 2023 г.).-Душанбе – 2023 г. ТНУ –С 80-84.

[М-30]. Наджмиддиниён, А.М. Модельной представление аналитической решение зависимости стационарного состояний нелинейного распределения температуры в цилиндрических конденсированных средах / Х.Ш. Джураев, А.М.Наджмиддиниён, Д.К.Солихов, З.С.Норматов // Неделя науки: Материалы республиканской научно-теоретической конференции преподавателей, сотрудников НИИ ТНУ посвящённой «75-летием Таджикского национального университета», «115-летием академика Бободжона Гафурова», «2023 год-Год русского языка» и «2025 год-Международный год защиты ледников» (20-27 апреля 2023 г.) Душанбе – 2023 г. ТНУ -309 стр. –С.139-144.

[М-31]. Наджмиддиниён, А.М. Модельной представление численной решение зависимости стационарного состояний нелинейного распределения температуры в цилиндрических конденсированных средах / Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов, Н. Нуруллоев // Неделя науки: Материалы республиканской научно-теоретической конференции преподавателей, сотрудников НИИ ТНУ посвящённой «75-летием Таджикского национального университета», «115-летием академика Бободжона Гафурова», «2023 -год русского языка» и «2025 год-Международный год защиты ледников» (20-27 апреля 2023 г.) Душанбе – 2023 г. ТНУ -309 стр. – С 144-150.

АННОТАЦИЯ

диссертация Наджмиддиниена Асадулло Мирзо на тему “Модельное исследование стационарных нелинейных теплопроводных процессов в конденсированных средах” на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18- Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Ключевые слова: *горение, взрыв, регулирование, тепловой поток, температура, стационарный процесс, взрыв, критическая точка, ангар, цилиндр, сфера.*

Актуальность темы исследования. Большое значение имеют модельные исследования стационарных нелинейных процессов теплопроводности в конденсационных средах, конденсационные среды (например, жидкости и газы) применяются во многих отраслях промышленности и высоких технологиях. Понимание поведения теплопроводности в этих средах может помочь повысить энергоэффективность, разработать новые системы охлаждения и обогрева, а также понять естественные процессы.

Целью исследования является изучение процессов теплопроводности в процессе сгорания конденсированных сред с помощью аналитического и численного моделирования. При этом, в зависимости от температурной зависимости теплофизических свойств и регулирования теплового потока, выполняется.

Предмет исследования. Выявление, анализ и сравнение результатов с условиями сгорания конденсационных сред вокруг кризисных точек.

Научная новизна исследований. В этом исследовании впервые был предложен ряд нововведений:

- ✓ первоначально разработанная математическая модель для стационарных нелинейных процессов теплопроводности в конденсационных средах;
- ✓ математические схемы дифференцирования и умножения, которые превосходят другие известные умножения, были обработаны в виде аналитических выражений, что позволяет решать новые практические задачи;
- ✓ определена закономерность стационарного распространения температуры в среде, в фазовой плоскости описано состояние равновесия теплового потока и температуры;
- ✓ компьютерная программа, разработанная на языке программирования C++ Builder для моделирования зависимости устройства от нелинейного распределения температуры теплового потока в конденсационной среде, реализует метод конечных разностей, используемый для двухстороннего состояния;
- ✓ для решения уравнения сгорания были обновлены математические методы с помощью численного исследования вокруг специальных точек. В результате было доказано, что термический взрыв и воспламенение (воспламенение) - это не разные процессы, а разные режимы одного и того же процесса;
- ✓ в конденсационной среде определены условия равновесия и теплообмена, которые разделяют плоскостность на стабильные и нестабильные сферы;
- ✓ при этом они не только обладают свойством выделять тепло, но и выделяют тепло.

Степень использования: Результаты получены путем обоснованного применения физико-математических методов, соответствующих реальным процессам теплопроводности в горнодвезных средах, методов нахождения приближительных аналитических и численных решений прямых и обратных задач теплопроводности, непрерывно зависящих от скорости распространения температуры, зависимостей теплового потока от теплофизических и термодинамических свойств объектов, а также теоретического обоснования результаты и, наконец, их совместимость с результатами других авторов подтверждаются.

Область применения: результаты исследований могут быть получены на основе аналитических и численных решений тепловых процессов сгорания конденсационной среды с учетом регулирования территориальных условий.

АННОТАТСИЯ

ба диссертатсияи Начмиддиниён Асадулло Мирзо дар мавзӯи «Таҳқиқи амсилавии равандҳои ғайрихаттии статсионари гармигузаронӣ дар муҳитҳои конденсӣ» барои дарёфти дараҷаи илмии доктори илмҳои физикаю математика аз рӯи ихтисоси 05.13.18-Амсиласозии математикӣ, методҳои ададӣ ва мучтамаъи барномаҳо

Калидвожаҳо: сӯзиш, амсила, танзимкунӣ, сели гармӣ, ҳарорат, раванди статсионарӣ, таркиш, нуқтаи бӯҳронӣ, ангор, цилиндр, кура.

Мубрами мавзӯи таҳқиқот. Таҳқиқоти амсилавии равандҳои ғайрихаттии статсионари гармигузаронӣ дар муҳитҳои конденсӣ аҳамияти калон дорад. Муҳитҳои конденсӣ (масалан, моеъҳо ва газҳо) дар бисёр соҳаҳои саноатӣ ва технологияҳои баланд истифода мешаванд. Дарк кардани рафтори гармигузаронӣ дар ин муҳитҳо метавонад ба беҳтар кардани самаранокии энергия, таҳияи системаҳои сардкунӣ ва гармикунӣ нав ва инчунин фаҳмидани равандҳои табиӣ кумак расонад.

Мақсади таҳқиқот ин аст, ки равандҳои гармигузаронӣ дар ҷараёни сӯхтани муҳитҳои конденсиро тавассути моделсозии таҳлилӣ ва ададӣ омӯзанд. Бо назардошти вобастагии ҳароратии хусусиятҳои гармофизикӣ ва танзими ҷараёни гармӣ анҷом дода мешавад.

Предмети таҳқиқот. Муайян, таҳлил ва муқоисакунӣ натиҷаҳо бо шароити сӯхтани муҳитҳои конденсӣ дар атрофи нуқтаҳои бӯҳронӣ мебошад.

Навгони илмӣ таҳқиқот. Дар ин таҳқиқот як қатор навгониҳо барои аввалин маротиба пешниҳод шудаанд:

- ✓ борри нахуст барои равандҳои статсионари ғайрихаттӣ гармигузаронӣ дар муҳитҳои конденсӣ амсилаи математикӣ таҳия шудааст;
- ✓ схемаҳои фарқӣ ва афзори математикӣ, ки нисбат ба афзорҳои маълуми дигар бартарӣ дорад дар шакли ифодаҳои аналитикӣ коркард шудааст, ки ин афзор метавонад масъалаҳои нави амалиро ҳал кунад;
- ✓ қонуниятҳои паҳншавии статсионари ҳарорат дар муҳит муайян шардида, дар ҳамвории фазавӣ ҳолати мувозинатии ҷараёни гармӣ ва ҳарорат тасвир шудаанд;
- ✓ барномаи компютерӣ дар забони барномасозии C++ Builder барои моделсозии вобастагии дастгоҳ аз тақсими ғайрихаттӣ ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ коркард шудааст, ки ин татбиқ усули фарқҳои охирикӯ барои ҳолати дуҷониба истифода мешавад;
- ✓ усулҳои математикӣ барои ҳалли муодилаи сӯзиш бо ёрии таҳқиқи ададӣ дар атрофи нуқтаҳои махсус навсозӣ шудаанд. Дар натиҷа, исбот шудааст, ки ҳодисаҳои таркиши гармӣ ва даргирӣ (алангагирӣ) равандҳои гуногун нестанд, балки режаҳои гуногуни ҳамон як раванд мебошанд;
- ✓ дар муҳити конденсӣ ҳолати мувозинатӣ ва шароити гармомубодила муайян карда шудааст, ки ҳамвориро ба соҳаҳои устувор ва ноустувор тақсим мекунад;
- ✓ шартҳои устувории ҳалҳои масъалаҳои назарияи статсионари сӯзиши гармӣ муайян карда шудаанд.

Дараҷаи татбиқ. Натиҷаҳо бо истифодаи асосноки амсилаҳои физикӣ-математикӣ ба равандҳои воқеии гармигузаронӣ дар муҳитҳои конденсӣ мувофиқ, усулҳои дарёфти ҳалҳои тахминӣ таҳлилӣ ва ададӣ масъалаҳои мураккаб ва баръакси гармигузаронӣ, ки аз суръати паҳншавии ҳарорат бефосила вобастаанд, вобастагии сели гармӣ аз хосиятҳои гармофизикӣ ва термодинамикии объектҳо, инчунин асоснокии назариявии натиҷаҳо ва, ниҳоят, мутобиқати онҳо бо натиҷаҳои дигар муаллифон тасдиқ мегардад.

Соҳаи истифода: натиҷаҳои таҳқиқотро ҳангоми ҳалли аналитикӣ ва ададӣ равандҳои гармӣ дар мавриди сӯзиши муҳити конденсӣ бо назардошти танзимшавии шартҳои худудиро ба асоси гирифта, татбиқ намудан мумкин аст.

ABSTRACT

the dissertation of Najmiddiniyon Asadullo Mirzo on the topic "Amyloid study of stationary nonlinear heat-conducting processes in condensed media" for the degree of Doctor of Physical and Mathematical Sciences, specialty 05.13.18-Mathematical modeling, numerical methods and program complexes

Keywords: *gorenje, explosion, regulation, heat flow, temperature, stationary process, explosion, critical point, hangar, cylinder, sphere.*

Relevance of the research topic. Model studies of stationary nonlinear thermal conductivity processes in condensation media are of great importance, condensation media (for example, liquids and gases) are used in many industries and high technologies. Understanding the behavior of thermal conductivity in these environments can help improve energy efficiency, develop new cooling and heating systems, understand natural processes.

The purpose of the study is to study thermal conductivity processes during the combustion of condensed matter using analytical and numerical modeling. At the same time, depending on the temperature dependence of the thermophysical properties and heat flow regulation, it is carried out.

The subject of the study. Identification, analysis and comparison of the results with the combustion conditions of condensation media around crisis points.

Scientific novelty of research. This study introduced a number of innovations for the first time:

- ✓ originally developed mathematical model for stationary nonlinear processes of heat conduction in condensation media;
- ✓ mathematical schemes of differentiation and multiplication, which are superior to other known multiplications, have been processed into analytical expressions, which allows solving new practical problems;
- ✓ the pattern of stationary distribution of temperature in the medium is determined, the state of equilibrium of heat flow and temperature is described in the phase plane;
- ✓ a computer program developed in the C++ Builder programming language to simulate the dependence of the device on the nonlinear temperature distribution of the heat flow in the condensation medium, implements the finite difference method used for the two-way state;
- ✓ To solve the combustion equation, mathematical methods have been updated using numerical study around special points. As a result, it was proven that thermal explosion and ignition (ignition) are not different processes, but different modes of the same process;
- ✓ in the condensation medium, the conditions of equilibrium and heat exchange are determined, which divide the flatness into stable and unstable spheres;
- ✓ At the same time, they not only have the property of generating heat, but also emit heat.

Degree of use: The results were obtained through the reasonable application of physical and mathematical methods corresponding to real processes of thermal conductivity in mining environments, methods for finding approximate analytical and numerical solutions to direct and inverse problems of thermal conductivity, continuously depending on the rate of temperature propagation, the dependence of heat flux on the thermophysical and thermodynamic properties of objects, as well as theoretical justification of the results and, finally, their compatibility with the results of other authors is confirmed.

Scope of application: research results can be obtained on the basis of analytical and numerical solutions of thermal combustion processes of a condensing medium, taking into account the regulation of territorial conditions.