

**ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДОНИШГОҲИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН**

**ТДУ (УДК) 519:536. 424+538.9
ТКБ (ББК) 22.31+22.311+22.317
Н - 41**

Бо ҳуқуқи дастнавис

НАҶМИДДИНИЁН АСАДУЛЛО МИРЗО

**ТАҲҚИҚИ АМСИЛАВИИ РАВАНДҲОИ ҒАЙРИХАТТИИ
СТАТСИОНАРИИ ГАРМИГУЗАРОНӢ ДАР МУҲИТҲОИ
КОНДЕНСӢ**

ДИССЕРТАЦИЯ

**барои дарёфти дараҷаи илмӣи доктори илмҳои физикаю математика, аз
рӯйи ихтисоси 05.13.18-«Амсиласозии математикӣ, усулҳои ададӣ ва
мучтамаъи барномаҳо»**

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

Душанбе, 2024

МУНДАРИҶА

МУҚАДДИМА	5
ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ	12
БОБИ I. ТАҲЛИЛИ ВАЗЪИ МУОСИРИ ТАҲҚИҚОТ ВА ТАСВИРИ АМСИЛАВИИ ТАҚСИМОТИ ҒАЙРХАТТИИ ҲАРОРАТ ДАР МУҲИТҲОИ КОНДЕНСӢ	18
1.1. Назаре ба таърихи мухтасари илм дар бораи сӯзиш	21
1.2. Мазмуни асосии хусусиятҳои физикӣ ва математикии назарияи гармигузаронии ғайрихаттии статсионарӣ	24
1.3. Усули тасвири амсилавии ҳалҳои таҳлилӣ ва ададии тақсимоти ғайрихаттии ҳарорат дар муҳити конденсӣ	32
Хулосаи боби якум	49
БОБИ II. АМСИЛАИ ТАҚСИМОТИ ҒАЙРИХАТТИИ ҲАРОРАТ ДАР МУҲИТИ КОНДЕНСӢ	52
2.1. Таҳлилии амсилаи вобастагии ҳолати статсионарии тақсимоти ғайрихаттии сели гармӣ аз ҳарорат дар муҳити конденсӣ	52
2.2. Амсилаи тақсимоти статсионарии гармӣ дар манбаъҳои дарунӣ	60
2.3. Тасвири амсилавии паҳншавии статсионарии гармӣ дар муҳити ҳамвор	62
2.4. Таҳқиқи амсилавии паҳншавии статсионарии гармӣ дар муҳити силиндришакл	73
2.5. Таҳқиқи амсилавии паҳншавии статсионарии гармӣ дар муҳити куравӣ	80
Хулосаи боби дуюм	86
БОБИ III. ТАСВИРИ АМСИЛАВИИ ҲАЛЛИ ҒАЙРИХАТТИИ ТАҚСИМОТИ ҲАРОРАТ ДАР МУҲИТҲОИ КОНДЕНСӢ	88
3.1. Тасвири амсилавии ҳалли ададии масъалаи вобастагии тақсимоти статсионарии ҳарорат аз сели гармӣ дар муҳитҳои конденсӣ	90
3.2. Ҳалли ададии масъалаи вобастагии тақсимоти статсионарии ҳарорат аз сели гармӣ дар муҳити ҳамвор	95
3.3. Ҳалли ададии амсилаи вобастагии тақсимоти статсионарии ҳарорат ва сели гармӣ дар муҳити силиндри	99
3.4. Ҳалли ададии амсилаи вобастагии тақсимоти статсионарии ҳарорат ва сели гармӣ дар муҳити куравӣ	103

Хулосаи боби сеюм	108
БОБИ IV. ҲАЛЛИ ТАҲЛИЛӢ ВА АДАДИИ АМСИЛАИ ТАҚСИМОТИ ҲАРОРАТ ДАР МУҲИТҲОИ КОНДЕСИИ ДУЧЕНАКА	110
4.1. Тасвири амсилавии масъалаи тақсимоти дученакаи статсионarii ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ	110
4.2. Тартибдиҳии ҳалҳои таҳлилии тахминии масъалаи тақсимоти статсионarii дученакаи ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ	118
4.3. Усули табдилоти интегралӣи Фуре ва танзимкунонии он.....	124
4.4. Таҷрибаи ҳисобӣ	127
Хулосаи боби чорум	130
БОБИ V. АМСИЛАСОЗИИ КОМПЮТЕРИИ ТАҚСИМОТИ ҒАЙРИҲАТТИИ ҲАРОРАТ ДАР МУҲИТИ КОНДЕСӢ	132
5.1. Нақшаи амсиласозии компютери тақсимоти ғайриҳаттии ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ	132
5.2. Ҳалли ададии тақсимоти ғайриҳаттии статсионarii ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ	134
5.3. Ҳалли ададии ҳаммонандии тақсимоти ғайриҳаттии статсионarii ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ	139
5.4. Сохтори комплекси барномавии раванди гармигузаронӣ дар муҳитҳои конденсӣ	141
Хулосаи боби панҷум	199
ХУЛОСАҲОИ АСОСӢ	201
1. Натиҷаҳои асосии илмӣи диссертатсия.....	201
2. Таъсири натиҷаҳо барои дар амалия истифодабарӣ.....	202
РӢҲАТИ АДАБИӢТ	204
ЗАМИМАИ 1.	242
ЗАМИМАИ 2.	252

РҶҶҲАТИ АЛОМАТҲО ВА ИҲТИСОРАҲОИ ИСТИФОДАШУДА

Ихтисора:

K— Келвин, °C — Селсия, M— макон, рас.— расм.

Аломатҳо:

t, r— аз рӯи вақт тағйирёбанда, x, r, R— аз рӯи масоҳат тағйирёбанда,
k, n, I — нишондиҳандаи вақт ва сатҳ.

Тағйирёбии физикӣ:

C - гармиғунҷой $\left[\frac{Дж}{К} \right]$, m – вазни муҳит, [кг],

c_v – гармиғунҷоиши нисбӣ, $\left[\frac{Дж}{кг \cdot К} \right]$, T – ҳарорат, [К или °C],

ρ – зичии ашё, $\left[\frac{кг}{м^3} \right]$, $q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$ – маҷрои гармӣ, $\left[\frac{Вт}{м \cdot К} \right]$,

λ –коэффициенти гармигузаронӣ, $\left[\frac{Вт}{м \cdot К} \right]$, h – дарозӣ, [м]

u – диффузия (омехташавӣ), [кг] , R – радиуси кура ё сатҳ, [м],

j – сели массаи моддаҳо, $\left[\frac{кг}{с} \right]$, D – коэффитсенти диффузия, $\left[\frac{м^2}{с} \right]$,

$f = -A \text{grad} U$ бо қонунҳои гузариш умумишуда,

A – коэффисиенти гузариш ё гармигузаронӣ,

U – омехташавии моддаҳо ё ҳарорат,

α – коэффисиенти релаксатсия (андозаҳои танзимкунӣ),

β – коэффисиенти вазнҳосилкунӣ, $\left[\frac{м}{с} \right]$,

a – коэффисиенти гармигузаронӣ, $\left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$.

МУҚАДДИМА

Мубрамии мавзун таҳқиқот. Таҳқиқоти амсилавии равандҳои ғайрихаттии статсионарии 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 гармикунӣ 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 аҳаммияти 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 беҳатарию 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 манбаҳои 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 мебошад. Таҳқиқот 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 амсилавӣ, имкониятҳои навро барои таҳқиқ ва дарки равандҳои гармигузаронӣ имконоти нав фароҳам меоваранд. Масалан, бо истифода аз компютерҳои пуриқтидор ва алгоритмҳои пешрафта муҳаққиқон метавонанд моделҳои мураккаби гармигузарониро таҳия ва таҳлил намоянд. Моделҳо ба муҳандисон имкон медиҳанд, ки тарҳрезии системаҳои самаранок ва беҳатарро анҷом диҳанд.

Дар соҳаи тиб муҳитҳои конденсӣ дар барномаҳои термографӣ ва табобати гармии бофтаҳо истифода мешаванд. Дарёфти равандҳои гармигузаронӣ дар бофтаҳои инсон метавонад ба пешрафт пешрафти табобати бемориҳо, мисли монанди саратон, мусоидат кунад. Термотерапия, ки барои нобуд кардани ҳуҷайраҳои саратонӣ истифода мешавад, ба равандҳои гармигузаронӣ дар бофтаҳои организм асос ёфтааст. Таҳқиқоти амсилавӣ

метавонад ба беҳтар намудани натиҷаҳои табобат ва хоҳиш додани асари беморӣ кумак расонад.

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

Ояндаи таҳқиқоти амсилавии 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 вижагӣҳо ва мушаххасоти гуногун, ба монанди тағйироти ҳарорат, фишор ва таркиби химиявӣ ба раванди гармигузаронӣ роҳ кушоянд.

Таҳқиқи амсилавии равандҳои ғайрихаттии статсионарии гармигузаронӣ дар муҳити конденсӣ аҳаммияти калони илмӣ ва амалӣ дорад. Таҳқиқотҳо метавонанд ба рушди технологияҳои муосир, баланд бардоштани самаранокии истеҳсолот, таъмини беҳатарӣ дар системаҳои энергетикӣ ва беҳтар дарк кардани равандҳои табиӣ мусоидат намоянд. Дар оянда, рушди моделҳои амсилавии дақиқтар ва усулҳои амсилавии пешрафта ба рушди назаррасии соҳаҳои гуногуни илм ва техника мусоидат хоҳад кард.

Дарачаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ. Дар аксарияти қорҳои 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 майлкунии адади Люис *Le* аз як ба тавсифоти речаҳои статсионарӣ таъсири назаррас мерасонад, ҳол он ки дар аксарияти қорҳои назариявии то ин замон маълум ин омил мавриди назар қарор дода шудааст.

Афзоиши бемайлони интишороти илмӣ дар робита ба ин самт баёнғари 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 ин 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 тепло-обмена, 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, E. 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 мояи ифтихори собиқ замони шӯравӣбуданд ва имрӯзҳо низ дар фазои пасошӯравӣ боқӣ монда, эътирофи умумичаҳонӣ пайдо кардаанд.

Равнақи босуръати илми хориҷӣ дар бораи сӯзиш дар мисоли мактабҳои калон дар ИМА (В. Lewis, G. von Elbe, Th. von Karman, S.S. Penner, G.B. Kistiakowsky, М. Summerfield, А.К. Oppenheim, G.H. Markstein, F.A. Williams и др.), Британияи Кабир (Р. Gray, D.B. Spalding, A.G. Gaydon, H.G. Wolfgard, F.J. Weinberg), Фрасия (N. Manson, R. Delbourgo, M. Barrere),

Германия (W. Iost), Венгрия (Z.G. Szabo), Лахистон (S. Wojcicki), Япония (S. Kumagai) ва мамаликҳои 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 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 дар нимаи асри XX масъалаи таҳқиқи равандҳои комилан нави хаттӣ ва ғайрихаттӣ дар системаҳои кушода қасб мекунад. Алаҳусус, барои системаҳои сӯзиш суръати баланди хуруҷи гармӣ дар суръатҳои нисбатан пасти ҳароҷоти маводи сӯхт хос ва табиӣ аст.

Бинобар пайдошавии мушкилоти мухталиф дар доираи силсилаи фанҳои илмӣ ба амсоли кинетикаи химиявӣ, физикаи химиявӣ, гармо-физика, механикаи муҳити якфазавӣ ва бисёрфазавии реаксиякунанда дар аксарияти муассисаҳои илмӣ ҳангоми ҷустуҷӯи ҳалҳои муодилаҳои хаттӣ ва ғайрихаттӣ имконияти ҳалли муаммо бо истифода аз усулҳои тахминӣ ва техникаи муосири компютерӣ пайдо шуд. Усулҳои тахминии қорқардшуда барои аксарияти муодилаҳои физикаи математикӣ имконияти амсилакунонии ададии босамари аксарияти масъалаҳоро, аз ҷумла масъалаҳои хаттӣ ва ғайрихаттии гармигузарониро дар системаҳои сӯзиш фароҳам меоранд. Дар ҷараёни таҳқиқ ва ҳалли баъзе масъалаҳои хаттӣ ва ғайрихаттии сӯзиш мафҳуми ба ном речаи устуворҳо (мустақимҳо) 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 возрастанiem 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 таъсироти мутақобилаи химиявӣ қарордошта аҳамияти махсус дороанд, чунки ҳар кадоме аз ин реаксияҳо, масалан, сӯзиш, метавонад дар таркиби системаҳои қомилан муҳталиф ҷой дошта бошад. Аз ҷумла, дар системаҳои якфазавӣ ва бисёрфазавӣ аз рӯи таркиби химиявиашон якҷинса ва ғайриякҷинса (баркашидаҳои газӣ, муҳитҳои ковок ва ҳубобҷавӣ ва ғ.). Мутобиқан, раванди сӯзиш дар системаҳои гуногун дар ҳолати умумӣ на танҳо табилолоти 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, турбулентноқӣ ва ғайра мебошад.

Истифодаи усулҳои адабии дар координатаҳои ортогоналӣ навишта 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 фазоӣ асос меёбад, ба қор 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 статсионарии сӯзиши гармӣ то ба имрӯз шумораи калони нақшаҳои фарқӣ қоркард 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 дигарон.

Маҳдудиятҳое, ки болои устуворияти нақшаҳои аён гузошта мешаванд, ҳароҷоти 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) маҳдудиятҳои заифро нисбат ба устуворноки доранд. Нақшаи А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич «Вычислительная теплопередача» (2003), бешубҳа, устувор аст, вале аз ҳосияти консервативнокӣ орӣ аст. Дар ин қорҳо нақшаи фарқии ноаён ваале устувор пешниҳод карда шудааст, ки ба таҷзияи муодилаҳои ибтидоӣ аз рӯи равандҳои физикӣ ва тағйирёбандаҳои фазой асос меёбад ва дар ҳолати статсионарӣ консерватив мебошад.

Пажуҳишҳои номбаршуда имкон медиҳанд фарз кунем, ки дар сурати интенсивияти мухталифи 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 ғайриватсионарӣ, нишонаҳое равшан ба ҷашм 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 дар раванди сӯзиши сахталангавӣ 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 тақсимои статсионарии сели гармӣ дар вобастагӣ ба ҳарорат дар муҳити конденсӣ усули танзимкунонӣ ва ҳамвории фазаӣ васеъ истифода мегардад. Пажӯҳиши мазкур маҳз ба тақвияти усулҳо ва истифодаи онҳо барои тасвири амсилавии масоили тақсимои статсионарии сели гармӣ вобаста ба ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ бахшида шудааст.

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

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот омӯзиши равандҳои гармидиҳӣ ҳангоми сӯختани муҳити конденсатсияшуда бо ёрии модели таҳлилӣ ва рақамӣ мебошад. Дар ин замина, вобаста ба вобастагии ҳарорати хусусиятҳои гармӣ ва назорати чараёни гармӣ, амалҳои дахлдор амалӣ карда мешаванд.

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

- коркарди амсилаҳои математикӣ ва компютерӣ бо назардошти танзими чараёни гармӣ ва вобастагии ҳароратии хусусиятҳои гармофизикии

равандҳои ғайрихаттии статсионарӣ бо нишондиҳандаҳои (схемаҳои) муқоисавӣ ва аналитикӣ;

- коркарди барномаҳои компютерӣ барои муайян намудани тақсимои ҳарорат ва ҳарҷи гармӣ бо усулҳои ададӣ;
- муқамал гардонидани ҳалли масъалаҳои канорӣ барои системаи муодилаҳои равиши статсионарии ғайрихаттии гармӣ бо усулҳои рақамӣ (ададӣ) ва аналитикӣ;
- гузаронидани ташқиқоти таҳлилӣ ва рақамӣ (ададӣ) барои муайян намудани ҳолати мувозинатӣ ва шароити бӯҳронӣ;
- вобаста ба ҳақиқати 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. Муқаррар кардан, таҳлил ва муқоисаи натиҷаҳо дар шароити сӯхтани муҳити конденсӣ дар атрофи нуқтаҳои бӯҳронӣ.

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

Навгони илмӣ таҳқиқот. Навгони таҳқиқот дар муқаррароти зерин зӯҳур меёбад:

- ✓ бори нахуст амсилаи математикӣ дар раванди статсионарии ғайрихаттии 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;
- ✓ қонунияти паҳншавии статсионарии ҳарорат дар муҳити муайян гардида, дар ҳамвории фазавӣ ҳолати мувозинатии ҳарҷи гармӣ ва ҳарорат тасвир шудааст;
- ✓ барномаи компютерӣ дар забони барномасозии C++ Builder барои моделсозии вобастагии дастгоҳ аз тақсимои ғайрихаттии ҳарорати

чараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ коркард шудааст, ки чунин татбиқ хангоми муқоисаи нишое 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 ҳамаи масъалаҳои назарияи сӯзиши гармигузаронии статсионарӣ мебошад.

Нуқтаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

- бо дарназардошти танзими чараёни гармӣ ва вобастагии ҳароратии хусусиятҳои гармофизикӣ моделсозии равандҳои ғайриҳаттии статсионарии гармӣ дар муҳитҳои конденсӣ;
- аҳисаҳои 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 адабии 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 фарқӣ дар ҳалли адабии муодилаи сӯзиш дар координатҳои лагранжӣ таҳияшуда.

Аҳаммияти назариявӣ ва илмию амалии таҳқиқот. Натиҷаҳо иборат аз он аст, ки усулҳои таҳлилӣ ва адабии пешниҳодшуда метавонанд барои коркарди амсилаҳои речаи 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 статсионарии муодилаҳои гармомубодила ҳангоми сӯзиши маводҳои конденсии андозаҳояшон охиранок метавонад дар ҳали масоили муҳталифи амалии сӯзиш ба кор бурда шавад.

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

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

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

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

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

-банди 4. Пӣёдасозии 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 нав 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 ДМТ (Душанбе, 2019-2023); конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ "Вазъи муосири тадқиқот дар соҳаи мушкилоти физика-техника ва маводшиносӣ дар Ҷумҳурии Қирғизистон" (ЧК, шаҳри Бишкек, 2016); IV-умин конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалии "Илм дар ҷаҳони муосир: назария ва амалия (ФР, шаҳри Уфа, 29-30 сентябри соли 2016); конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявии "Аҳаммияти 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 байналмилалӣ илмӣ "Проблемаҳои муосири физикаи ҳолати конденӣ" бахшида ба 75-солагии таъсиси Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, эълони гардидани соли 2025 соли ҳифзи пиряхҳо ва 80-солагии зодрӯзи корманди Шоистаи Тоҷикистон, барандаи Ҷоизаи Бюрои байналмилалӣ Патентии Авруосиё ва Ҷоизаи АМИ Тоҷикистон ба номи

С.Умаров, д.и.ф.м., профессор Туйчиев Шарофиддин (Душанбе, 24-25 октябри соли 2023); Маводҳои конференсияи илмӣ-назариявии ҷумҳуриявии 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 ҷумҳуриявии “Моделсозии математикӣ ва компютерии равандҳои физикӣ” (Душанбе, 2019, 2023) ва ғайра.

Интишорот аз рӯйи 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 таъъ расонида шудааст.

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

БОБИ I. ТАҲЛИЛИ ВАЗЪИ МУОСИРИ ТАҲҚИҚОТ ВА ТАСВИРИ АМСИЛАВИИ ТАҚСИМОТИ ҒАЙРХАТТИИ ҲАРОРАТ ДАР МУҲИТҲОИ КОНДЕНСӢ

Таҳқиқи механизмҳои истиқрорияти сӯзиш дар шакли муосир, чун масъала бар қиматҳои хусусии оператори дифференсиалии хаттӣ, яке аз самтҳои асосии назарияи сӯзиш ба шумор меравад ва дар кори [1] пешниҳод карда шудааст, ки он ҷо истиқрорияти паҳншавии мавҷи якченакаи сӯзиш дар амсилаи якзинавии адиабатӣ бо зарибҳои баробари диффузияи сӯзишворӣ ва ҳароратгузаронӣ муҳокима карда мешавад. Масъала оид ба қиматҳои хусусии оператори мувофиқ ба муодилаи Шрёдингер барои ёфтани савияҳо дар ҷоҳи потенциалии якченака оварда шудааст. Савияи поёнӣ ё ҳолати асосии системаи квантии мувофиқ энергияи нулиро дорад ва ба модаи хусусии нулии масъалаи устуворияти хаттӣ рост меояд, ки бо симметрияи транслясионӣ алоқаманд аст. Ҳамин тариқ, нишон дода шуда буд, ки ҳама гуна қиматҳои хусусии боқимонда мусбатанд, ки ба тасвири [1] нисбат ба қиматҳои хусусии устувор мувофиқ аст. Пас, барои ҳолати ба 1 баробар будани адади Люис мавҷи сӯзиш устувор аст. Айнан ҳамин натиҷа дар кори [2] ҳосил карда шудааст, ки дар он устуворияти мавҷҳои сӯзиш дар амсилаи якзинавии адиабатӣ дида баромада шудааст. Система тариқи феноменологӣ бо як муодила аз r -и ҳосилаҳои хусусӣ барои ягон тағйирёбандаи умумишудаи ҳолат тасвир карда мешавад. Чунин усул амалан бо ҳолати ба 1 баробар будани адади Люис [1] эквивалент аст, ки дар он системаи муодилаҳои амсилавӣ то ба як муодила барои ҳарорат оварда мешавад.

Рушди минбаъдаи таҳқиқоти устувории мавҷҳои сӯзиш бо истифода аз наздикшавии энергияи активатсияи калон алоқаманд аст, ки дар математикаи амалӣ ва механика одатан ба сифати усули дӯзиши таҷзияҳои асимптотӣ маълум аст [3,4]. Чунин усул аввалин маротиба барои таҳлили масоили статсионарии сӯзиш ба қор бурда шуда буд [5], ки дар он суръати паҳншавӣ ва сохтори алангаи адиабатӣ дар тартиби дуввум аз r -и параметри асимптотӣ

хурди ба энергияи активатсия чаппа мутаносиб барои ҳолати ба 1 наздик будани адади Люис мавҷуданд. Таҳлили ба ин монанди дигар дар кори [6] барои ҳолати сӯзишвории саҳт анҷом дода шуда буд. Аммо бар хилофи кори [4] ин ҷо ҳисоб карда мешавад, ки зичӣ ва гармигузаронии материал на доимианд, балки функцияҳои ҳароратанд. Суръати паҳншавии аланга дар тартиби дуввуми тақсимои асимптотӣ муайян шудааст. Ҳолати ғайриасимптотӣ дар кори [6] омӯхта шудааст, ки он ҷо дар тартиби дуввуми таҷзияи асимптотӣ муодилае ҳосил карда шудааст, ки суръати паҳншавии алангаро дар вобастагӣ ба параметрҳои амсила бо назардошти адади Люис ва зариби талафҳои гармӣ муайян мекунад.

Умуман, бояд қайд намуд, ки усули дӯзиши ассимптотаҳо имкон медиҳад, ки хосиятҳои аланга дар амсилаҳои сӯзиши якзинавии гуногун бо тасвиякунӣ ва ҳалли пайдарҳами масъала дар ҳар як тартиби таҷзияи асимптотӣ аз назари математикӣ ҷиддӣ таҳқиқ карда шаванд.

Дар алоқа бо масъалаи дар боло зикршуда дар корҳои [7,8] масъалаи татбиқи ғояи сӯзиши гармӣ дар назарияи интиқоли гармӣ дар муҳитҳои конденсӣ ба таври мукамал дида баромада шудааст. Нишон дода шуда буд, ки бо ёрии амсиласозии компютерӣ чизҳоро ба даст овардан мумкин аст, ки на ба намуди ифодаҳои таҳлилии тахминӣ ҳосил шуда метавонанд, на дар таҷриба мушоҳида шуда метавонанд. Таҳлили натиҷаи ҳисобҳо дар ҳамвории фазавӣ ду речаи комилан фарқкунандаи рафтори системаро дар наздикии ҳудуди сӯзиши гармӣ нишон медиҳад: аввал модда гарм мешавад, пасон ҳарорат дар нуқтаҳои гуногуни система якхела мешавад. Баъд худгармшавӣ дар маркази система ба амал меояд, ки ба таври прогрессивӣ меафзояд ва то ба даргирӣ мерасад. Речаи аввал ин сӯзиши гармист, речаи дуввум бошад даргирӣ ё алангагирӣ аст.

Маълум аст [9-11], ки дар ҳолати дар муҳит мавҷуд будани майдони ғайриҷакчинсаи ҳароратҳо дар он ҳатман раванди интиқоли гармӣ ҷой дорад. Дар мувофиқа бо ибтидои дуҷуми термодинамика, ин раванд дар самти

камшавии ҳарорат (аз соҳаи ҳарораташ баланд ба соҳаи ҳарораташ паст) сурат мегирад.

Барои баланд бардоштани дақиқии ҳисобҳо одатан аз табдилоти координатаҳо истифода мебаранд [12, А-1], ки гиреҳҳои тури фарқиро дар соҳаҳои градиентҳои калон зич мекунонад, яъне аз маълумот дар бораи ҳал пешакӣ истифода мебарад. Ҳангоми ҳалли масоили мураккаб чунин иттилоъ дар аксари ҳолатҳо вучуд надорад, аз ин рӯ, истифодаи ҳамон табдили координатаҳо зарур аст, ки гиреҳҳои тури фарқиро ба тарзи автоматӣ ба ҳалкунӣ ҷур мекунонад. Табдилоти ба вектори суръат вобаста дар кори [12] пешниҳод карда шудааст.

Ба омӯзиши физикаи сӯзиш корҳои зиёде бахшида шудаанд [13-20], ҳамзамон, сӯзишҳои бисёрбасомада, масоили татбиқи амалӣ, лоиҳакунонӣ ва пешгӯии сӯзиши материалҳо пора-пора шарҳ дода шудаанд ва ба таври комил омӯхта нашудаанд. Дар ин ҷода ҳанӯз муаммоҳои зиёди ҳалношуда ҷой доранд, ки таҳқиқотро дар ин самт хеле мубрам ва зарур мегардонанд.

Таҳлили назариявии бештар паҳншудаи сӯзиш ба аппроксиматсияи ҳалҳои ғайрихаттии тавсифоти муаммои сӯзиш-функсияи дараҷагӣ асос меёбад, ки дар сурати интиҳоби зарурии зарибҳои доимӣ бо тавсифоти таҷрибавӣ хуб мувофиқат мекунад.

Чунин тариқа ё усул метавонад хосиятҳои асосӣ ва речаҳои оптималии сӯзишро ошкор намояд, тавсифоти энергетикӣ онҳоро бидуни ҷузъиёткунии барзиёд баҳо диҳад, ва бинобар хосиятҳои назарраси технологияи параметрҳои муҳитҳои конденсӣ асоснок менамояд. Зимнан, шарҳ додани як қатор ҳодисаҳо то ҳанӯз ғайриимкон аст, ки аҳамияти амалии чунин амсилахоро паст мекунонад. Муҳокимаи амсилахҳои бештар дақиқ истифодаи усулҳои таҳлилӣ ва адабии омӯзиши сӯзишро дар назар дорад, ки татбиқи худро ҳангоми баррасии муфассали хусусиятҳои раванди сӯзиш меёбанд.

1.1. Назаре ба таърихи мухтасари илм дар бораи сӯзиш

Сӯзиш яке аз равандҳои муҳимми физикӣ-химиявӣ барои табиат ва амалияи инсон мебошад. Изҳои қадимтарини истифодаи оташ ҳангоми кофтуковҳо дар қароргоҳҳои синантропҳо (наздики 400 ҳазор сол пеш) ва неандерталҳо (200–350 ҳазор сол пеш) ёфта шудаанд. Дар ибтидо, шояд, аз оташи табиӣ истифода мекарданд, ки аз барқи осмонӣ ё даргирии ихтиёрии бақияҳои узвӣ пайдо мешуд. Ҳосилкунии сунъии оташ ба замони хеле дертар, эҳтимол, палеолити болоӣ (наздики 40 ҳазор сол пеш) рост меояд. Малакаи ҳосилкунии оташ инсонро аз вобастагӣ ба иқлим озод намуд ва имконият дод, то амалан тамоми сайёро фаро гирад. Оташ дар ташаккул ва мустаҳкамшавии алоқаҳои иҷтимоӣ дар дохили қабилаҳои ибтидоӣ нақши муҳимро бозид. Ниғаҳдории оташ аз одамон амалҳои бефосилаи ҳамроҳангро талаб менамуд, дар атрофи гулхан тамоми фаъолияти ҳаётии ҷамоати ибтидоӣ мегузашт [21-40].

Якчанд усулҳои қадимаи ҳосилкунии оташ маълуманд, масалан, ба соиши байниҳамии пораҳои ҷӯб асос ёфта ва «кандани» шарораҳо аз санги ҷақмоқ. Усули дуввум аз ибтидои асри оҳан (9-7 ҳазор сол то мелод) бо ёрии огниво (асбоби оташҳосилкунӣ) мукамал карда шуда буд ва то ихтирои гӯгирдҳои фосфорӣ дар солҳои 30-ми асри XIX мавриди истифода қарор мегирифт. Аввал оташ барои ҳифз аз хунукӣ ва ҳайвоноти ваҳшӣ, барои равшанкунӣ, тайёркунии таом ва ғ. истифода бурда мешуд. Баъдан одамон малакаи истифодаи оташро ба мақсадҳои гуногуни техникӣ аз бар карданд: ҳангоми истихроҷи ҷақмоқ ва коркарди ҷӯб, барои бозпӯхти лой, тозакунии қитъаҳои ҷангал барои зироаткорӣ ва ғ. Фарогирии технологияҳои ҳосилкунии оташ ва коркарди оташии металлҳо истисноан бо ёрии малақаҳои идоракунии равандҳои сӯзиш имконпазир гаштааст. Дар фосилаи ҳазорсолаи охирин оташ ҳангоми амалиёти ҷангӣ васеъ истифода мекардагӣ шуд. Ин бо пайдошавии борути дуддор алоқаманд аст, ки ҷой ва замони ихтирои он муқаррар карда нашудаанд. Яқин аст, ки он дар Хитой пайдо шудааст, пасон ба арабҳо маълум

гаштааст. Истифодаи борути дуддор дар Аврупо (ва дақиқан дар Россия низ) дар асри XIII оғоз шудааст. Истифодаи он ба сифати воситаи партофт дар яроқи оташфишон ва моддаи тарканда самаранокӣ ва усулҳои бурдани амалиёти чангири ба кулӣ тағйир дод ва ба рушди аслиҳаӣ, мукаммалшавии технологияҳои коркарди металлҳо ва истеҳсоли машинаву механизмҳо тақони нав дод [21-40].

Таҷрибаи ҳазорсолаи истифодаи раванди сӯзиш асосан дар чараёни озмоишҳои мустақим ё, ба ибораи дигар, соф эмпирий ба даст омадааст. Таҳқиқи илман асоснокшудаи сӯзиш дар асри XVIII якзамон бо рушди босуръати химия оғоз гардид. Дар ибтидо сӯзиш чун ҳодисаи пайваستшавии оксиген бо моддаҳои оташангез шарҳ дода мешуд. Муайянкунии моҳияти химиявии сӯзиш дар ин зинаи инкишофи илм асосро барои тараққиёти минбаъдаи энергетика ва термодинамика гузошт, чунки сӯзиш таҳвилкунандаи асосии газҳои баландҳарорат ва энергия мебошад. Дар охири асри XIX таҳқиқоти мувозинатҳои химиявӣ-термодинамикӣ дар системаи пайвастаи $H_2-H_2O-CO-C-CO_2-O_2$ ба таври интенсив рушд мекунамд, ки имконияти баҳо додани ҳарорати сӯзиши сӯзишвории карбонгидрогенӣ ва таркиби маҳсулоти сӯзиши газҳо, моддаҳои саҳт ва моеъро фароҳам овард [27-35].

Зинаи омӯзиши равандҳои сӯзиш ва таркишҳо, ки дар охири асри XIX оғоз ёфта буд ва то ҳанӯз идома дорад, бо пайдошавии муҳаррикҳои сӯзиши дарунӣ, инкишофи баллистикаи дохилии силоҳи тупӣ ва қорҳои таркишӣ, даҳсолаҳои охир бошад бо татбиқи техникии муҳаррикҳои реактивӣ алоқаманд буд [22-27].

Дар зинаи муосири таҳқиқоти раванди сӯзиш дар маркази диққат масъалаи суръати табдилоти химиявӣ меистад. Ҳоло ҳозир дар зери мафҳуми сӯзиш ва таркиш чараёни босуръати реаксияи химиявиро дар моддае мефаҳманд, ки дар ҳолати ибтидоӣ худро чен моддаи инертӣ зоҳир менамояд. Зимнан, муҳимтаринаш дар ин раванд хориҷшавии гармӣ ва ё моддаҳои фаъоли реаксияқодир (марказҳои фаъол) мебошад. Аз ин рӯ, бо мафҳумҳои

сӯзиш, таркиш, аланга, детонатсия ва ғ. тавсифи чараёни реаксия алоқаманд карда мешавад, на таркиби химиявии он (масалан, мо дар бораи алангаи фтор-гидрогенӣ сухан меронем; ҳамин тариқ, реаксияи сӯзиш ҳатман реаксияи оксидшавӣ нест). Дар бисёр мавридҳо ҳангоми сохтани ин ё он амсилаи раванди сӯзиш реаксияи мураккаб ба ягон амсилаи содашудаи феноменологии он иваз карда мешавад. Албатта, барои ивази дурусти чунин чинс омӯзиши пешакии тавсифоти чараёни реаксияи ибтидоӣ зарур аст, ки танҳо дар сурати донишҷӯи зинаҳои унсурии он, механизм ва кинетикаи табдилоти химиявӣ имконпазир аст. Аз ин рӯ, инкишофи назарияи сӯзиш, мантиқан ва таърихан, бо таҳқиқоти лауреати мукофоти Нобелӣ академик Н.Н.Семёнов ва мактаби илмии кинетикаи химиявӣ ва сӯзиш алоқаманд аст. Маҳз дар сарҳади илми химия ва илм дар бораи сӯзиш корҳои пурсамари В.В. Воеводский, А.В. Загулен, А.А. Ковальский, В.Н. Кондратьев [22-29] анҷом дода шудаанд.

Назарияи сӯзиш чун қисми физикаи математикӣ ва химиявӣ дар худ дастовардҳои илмҳои зиёди ҳешованд-кинетикаи химиявӣ, назарияи гармо ва массамубодила, динамикаи газиҳои селҳои реаксияшаванда, ҳаракати турбулентии газҳо ва ғ. дарбар мегирад. Аз ҷониби дигар, дар назарияи сӯзиш баъзе мафҳумҳои махсусшуда ва табиатан асимптотӣ ва усулҳои математикӣ тасвир карда шудаанд, ки бо равишҳои нави илми муосир ҳамоҳанганд: назарияи системаҳои динамикии ғайриҳаттӣ, назарияи фалокатҳо, синергетика. Зиёда аз ин, бисёре аз натиҷаҳои ин самтҳои нави илмӣ аллакай барвақт дар назарияи сӯзиш маълуманд [21-40].

Вактҳои охир дар назди илми сӯзиш масъадаҳои нави пайдо шудаанд, ки бо муаммоҳои технологияҳои энергия ва захирасарфа, муаммоҳои экологӣ, пешгирии фалокатҳои техногенӣ ва бартарафкунии оқибатҳои онҳо, муаммоҳои несткунии захираҳои аслиҳои химиявӣ ва диг. алоқаманданд. Ҳалли ин масоил аллакай омӯзиши мукаммали ҳама хусусиятҳои химияи сӯзишро талаб мекунад ва дар масъалаҳои назарияи сӯзиш ба таври васеъ механизмҳои химиявии на содашуда, балки мукамал истифода бурда

мешаванд, ки коркард ва татбиқи усулҳои махсуси ҳисобӣ ва компютерҳои зудамалро талаб менамояд [33, 34, 37-40].

1.2. Мазмунӣ асосии хусусиятҳои физикӣ ва математикии назарияи гармигузаронии ғайриҳаттии статсионарӣ

Савияи муосири инкишофи илм, техника ва технологияҳо талаботи рӯз ба рӯз афзояндаро нисбат ба дақиқияти таҳқиқоти равандҳои гармигузаронӣ пеш мегузорад, ки моёи муҳимми рушди минбаъдаи асосҳои назариявии физикаи гармӣ мебошад. Ҳамзамон, даҳсолаҳои охир соҳаҳои алоҳидаи гармофизика, масалан, физикаи равандҳои номувозӣ, хеле босуръат рушд мекарданд, ки дар натиҷа самтҳои нави назарияи худтаъсискунӣ дар муҳитҳои гуногунтабиат ба миён омаданд.

Дилхоҳ реаксияҳо (химиявӣ, сӯзиш ва диг.) метавонанд дар системаҳои комилан мухталиф қой дошта бошанд: дар муҳитҳои якфазавӣ ва системаҳои бисёрфазавии (баркашидаҳои газӣ, ҷисмҳои ковокидор, муҳитҳои ҳубобчавӣ ва ғ.) якҷинса ва ғайриякҷинса (аз рӯи таркиби химиявӣ) ва ғ. Мутобиқан, раванди сӯзиш дар системаҳои гуногун дар сурати умум на танҳо табдилоти химиявиро дарбар мегирад, балки аз тайфи васеи ҳодисаҳои гармофизикӣ, механикӣ ва ғ. иборат аст: гармомассамубодилаи кондуктивӣ ва конвективӣ (гармигузаронӣ, диффузия, конвексия ва диг.), гузаришҳои фазавӣ, тарангии сатҳӣ, нурафканӣ, ҳодисаҳои мавҷии ғайриватсионӣ, турбулентнокӣ ва диг.). Дар адабиёти илмӣ-техникии муосир ба раванди сӯзиш маҳз ба ҳамин маънои васеъ назар карда мешавад: дар қатори назардошти кинетикаи химиявии реаксияҳо механизмҳои физикие таҳлил карда мешаванд, ки ин ё он речаҳои сӯзишро дар системаҳо ва технологияҳои мухталиф таъмин менамоянд. Ба ҷумлаи речаҳои сӯзише, ки васеъ таҳқиқ карда мешаванд, инҳо дохил мешаванд: даргирии омехтаи мавод дар зарф (аз рӯи механизмҳои занҷирӣ ва гармӣ); худалангагирии оташдонӣ; паҳншавии ламинарӣ ва турбулентии аланга; сӯзиши вибраторӣ (ларзишӣ); сӯзиш дар сел; сӯзиши

полой; речаҳои детонатсионии (таркишии) сӯзиш дар муҳитҳои гомогенӣ ва гетерогенӣ.

Ҳангоми таҳқиқи рафтори сохтори системаҳои мухталифи мураккаб нақши муҳимро амсилаҳои базавӣ мебозанд. Ҳар як чунин амсила дар асоси тасаввуроти содашуда оид ба хосиятҳои унсурҳои алоҳида ва таъсирот миёни онҳо сохта мешавад.

Рафтори сохтори системаҳои мухталифи мураккаб қисмати муҳимми физикаи ҳолати конденсиро ташкил медиҳад, ки ба омӯзиши моеъҳо, кристаллҳо, шишаҳо ва дигар ҳисмҳои сахту моеъ машғул аст. Системаҳои номбаршуда дорои хусусиятҳои мебошанд, ки қисматҳои таркибии унсурҳои одии системаи физикиро ташкил медиҳанд. Чунин унсури физикӣ барои система дар умум ҳолати мувозинатии ҷудошуда бо энергияи хурдтарин мебошад.

Таҳқиқот дар ин самт аз интихоби омилҳои асосӣ ва минбаъд омӯзиши мукаммали онҳо иборат аст. Сипас, дар асоси маълумоти ҳосилшуда таҳлили умумии системаи физикии мазкур гузаронида мешавад. Мақсади асосии чунин таҳқиқот аз ошкор намудани механизми тақсимои муҳит, таъзияи сӯзишворӣ ба компонентаҳои химиявӣ ҷаҳол, сохтори муфассали сӯзиш дар ҷазаи ғазӣ, ёфтани шартӣ устуворияти сӯзиш, имконияти ҳосилшавии сӯзиши намуди таркибӣ ва диг. иборат аст, ки аз унсурҳои дискретии миёни ҳам таъсиркунанда сохта шудаанд ва, ҳамин тариқ, наздикшавӣ ё амсилаи системаҳои ҷазоан тулкашидаро мемонанд. Бархилофи гуногунрангии бузурги чунин муҳитҳо шумораи амсилаҳои математикие, ки барои шарҳи равандҳои ҳосилшавӣ ва инкишофи сохторҳо дар чунин системаҳо истифода бурда мешаванд, хеле кам аст. Ҳар як унсури алоҳидаи система дорои сохтори дохилии мураккаб аст, ин мураккабот дар ҷараёни таъсироти мутақобила зоҳир намешавад ва аз нуқтаи назари макросистема онҳо чун объектҳои басо сода ва шумораи хурди дараҷаҳои озоди самарӣ дошта амал мекунанд. Дар акси ҳол, одатан дар система ягон сохтори мураббаб ҳосил намешавад.

Масъалаи назарияи гармигузаронии ғайрихаттии статсионарӣ аз ёфтан ва таҳқиқи муфассали ҳамон амсилаҳои математикии базавие иборат аст, ки аз фарзияҳои бештар хос дар бораи хосиятҳои унсурҳои алоҳидаи система ва қонунҳои таъсири мутақобилаи онҳо бармеоянд. Чун хосияти асосии махсуси муҳитҳои таҳқиқшаванда ин равандҳои сӯзиш ва таркиши дар онҳо гузаранда мебошанд, аз ин рӯ, назарияи системаҳои мураккабро метавон, инчунин, чун назарияи умумии сӯзиш дар муҳитҳои гуногунтабиат шумурд.

Таҳқиқи қонуниятҳои тағйироти фазогии бузургҳои асосии физикӣ ва амсилақунонии онҳо ҳанӯз дар ибтидои асри XX оғоз шуда буд. Бо ин масъалаҳо Н.Н. Семенов [41-43], Д.А. Франк-Каменецкий [23, 44, 45], Я.Б. Зельдович [22, 46, 47], Л.Д. Ландау [48, 49] ва дигарон машғул буданд. Мубрамиати махсусро дар миёнаи асри XX таҳқиқоти равандҳои хаттӣ ва ғайрихаттии қуллан нав дар системаҳои қушода касб мекунамд. Хусусан, барои системаҳои сӯзиш суръати баланди гармоиҳроҷ дар ҳолати суръатҳои нисбатан хурди сарфи моддаи сӯзанда ҳодисаи табиӣ аст.

Бинобар пайдошавии мушкилоти муҳталиф дар қорҷубаи як қатор фанҳои илмӣ, ба мисли кинетикаи химиявӣ, физикаи химиявӣ, гармофизика, механикаи муҳитҳои як ва бисёрфазавии реаксияшаванда, дар бисёре аз муассисаҳои илмӣ ҳангоми кофтуқови ҳалҳои муодилаҳои хаттӣ ва ғайрихаттӣ бо раванқи техникаи ҳисоббарории электронӣ имқон пайдо шуд, то ҳалҳои онҳо бо ёрии усулҳои таҳминӣ ёфта шаванд. Усулҳои таҳминии физикаи математикӣ имқон доданд, то бисёре аз масоили гармигузаронӣ дар системаҳои сӯзиш, аз қумла масоили гармигузаронии хаттӣ ва ғайрихаттӣ, бомувафқият ҳал қарда шаванд. Ҳангоми таҳқиқи ҳалҳои баъзе масъалаҳои хаттӣ ва ғайрихаттии сӯзиш мафҳумҳои речаҳои ба ном устуворҳо (ростҳо) ва ноустуворҳо (баръаксҳо) ворид қарда шуд. Бо қунин муаммоҳо таҳқиққарон Н.С. Писқунов, А.Н. Қолмоқоров [50], А.А. Самарский, С.П. Қурдюмов [51-53], А.Г. Мержанов [54, 55] ва дигарҳо машғул буданд.

Барои ҳосил намудани ҳалҳои таҳминӣ ва тафтиши эътимоднокии онҳо, инчунин, эътимоднокии усулҳои таҳминӣ мо усули танзимқунониро

пешниҳод намудем [А-1 – А-6]. Ин усул бо ивази муодилаи гармигузаронӣ ба муодилаи ба он наздике, ки ҳаллаш барои параметрҳои дилҳош имконпазир аст, алоқаманд аст. Чунин тариқа имкон медиҳад, то ифодаи математикиро дарёфт намоем, ки барои ёфтани меёрои асосии мувозинати функсияҳои сели гармӣ ва ҳарорат заруранд, ки барои системаҳои ҳаттӣ ва ғайриҳаттӣ, кушода ва номувозӣ масъалаи сода нест. Ин усул ягона воситаест, ки бо воситаи он иттилоъро дар бораи тақсимои ҳарорат ва селӣ гармӣ дар фосилаҳои «муаммой» ба даст овардан мумкин аст, дар ҳолате ки усулҳои анъанавӣ ба қор намеоянд бо ёрии он масъалаи вобастагии бефосилаи ҳолатҳои статсионарӣ аз параметрҳои физикӣ таҳқиқ карда шудааст [56-62].

Назарияи сӯзиш бо тавлиди энергия зич алоқаманд аст. Ҳангоми ҷоришавии макроскопии моеъ ба ҳар як унсури хурди он аз модаҳои калонмасштабӣ энергия омада мерасад, ки пасон аз ҳисоби таъсири қувваҳои часпиш ба гармӣ табдил меёбад. Мавҷудияти ин сели энергия моеъро ба муҳити ғайриҳаттӣ хоса мубаддал мекунад. Агар суръати миёнаи ҷоришавии моеъро зиёд кунем, он гоҳ сели энергия аз ҳар унсури он гузаранда интерсивтар мешавад. Ошкор аст, ки дар мавриди суръатҳои калони ҷоришавӣ, чун қоида, сели номбурда мутобиқ ба пулсатсияҳои майдонҳои суръатҳо, фишор, ҳарорат, зичӣ ва диг. хаотикӣ рафтор мекунад. Гузариш аз як ҳолати ҷоришавӣ ба дигараш метавонад зина ба зина (оҳиста), на ҷаҳишнок, ба амал ояд. Дар ин ҳол пеш аз пайдоиши энергия зинаи махсус ҷой дорад, ки бо пайдошавии ҷоришавии бештар мураккаб тавсиф меёбад. Ҳосилшавии худба-худи чунин сохторҳои мураккабро метавон чун намуна ё мисоли сӯзиш ҳисоб намуд. Барои ҷараёнҳои гидродинамикӣ раванди мувофиқ аввалин маротиба ба намуди умумӣ аз ҷониби Л.Д. Ландау соли 1944 пешниҳод шуда буд [48], ки дар он ҳосилшавии ихтиёрӣ ва мураккабшавии сохторҳо бо пайдошавии дараҷаҳои озоди самарии нав алоқаманд карда мешуд, ки тавассути онҳо ҷараёни моеъ мустақилияти бештареро аз шароити беруна касб менамояд. Дар кори Дарье [63] масъалаи устуворияти фронти ҳамвори сӯзиш таҳлил карда шудааст, ки дар он аланга чун сатҳи каниши гидродинамики

шумурда шудааст, ки дар он тамоми реаксия маҳдуд шудааст ва тағйирёбии ҳақиқатнокӣ бузургҳои физикӣ омехтаи газиро шарҳдиҳанда (ба мисли ҳарорат ва зичӣ) ба амал меояд.

Бо афзоиши энергия ба система оянда сохторҳои муназзам бо гузашта вақт бештар мураккабтар ва ачиб тағйирёбанда мешаванд. Савол ба миён меояд: сарҳади байни сохтори муназзам, вале мураккаб таъсисёфта ва турбулентнокӣ кучост? Ба сифати меъёр дар ин ҷо устуворияти таъсисоти дар ҷараёни ҷоришавӣ пайдошаванда дар мӯқобили ангиштиҳои хурд хизмат карда метавонад. Агар чунин устуворият мавҷуд набошад, он гоҳ шарҳи детерминатсияшуда (муайяншуда) маънияшро гум мекунад ва зарурати истифодаи усулҳои омӯрӣ ба миён меояд. Аввалин маротиба алоқаи миёни тарикаи омӯрӣ ва ноустуворият ҳанӯз аз ҷониби Анри Пуанкаре ишора шуда буд.

Раванди пайдоиши турбулентнокӣ дар муҳитҳои гуногун низ бояд ба доираи муаммоҳое дохил карда шавал, ки дар ҷорҷубаи назарияи сӯзиш омӯхта мешаванд. Табиист, ки ба ин доира бояд таҳқиқи хосиятҳои умумии речаҳои турбулентнокие, ки пас аз вайроншавии сохторҳои муназзам (аз тарафи манбаи ноустуворият) пайдо мешаванд, дохил карда шаванд [64]. Ин гуна муаммоҳо одатан дар равандҳои диффузионӣ-гармӣ ва гидродинамикӣ ҷой доранд, ки маъи таҳқиқоти [65-68] буданд.

Ҳамин тариқ, ду ҳодисаи ноустуворкунанда мавҷуданд: васеъшавии гармӣ ҳангоми аз зонаи реаксия гузаштан, дар ин ҳолат мо дар бораи ноустуворияти гидродинамикӣ сухан меронем, ва ноустуворияти диффузионӣ-гармӣ, ки бо равандҳои гармомассаинтиқол дар ҳуди фронти сӯзиш алоқаманд аст. Ин ҳолатҳо, масалан, дар қорҳои [64-68] шарҳ дода шудаанд, ки он ҷо, алалхусус, устуворияти мавҷи сӯзиши дар омехтаи газӣ озод паҳн шаванда дар доираи амсилаи реаксияи сӯзиши якзинавӣ таҳқиқ карда мешавад.

Дар қорҳои [69, 70] таносубҳои дисперсионӣ барои ҳолати нисбат ба [64] умумитар барои васеъшавии гармии газ бо назардошти ҳодисаҳои

часпакӣ ва гравитатсия ҳосил карда шудаанд. Зимнан, ба мисли [64], фарз карда мешавад, ки реаксия дар як зинаи бебозгашт бо энергияи активатсияи баланд мегузарад, адади Люис барои компонентаи маҳдудкунандаи омехта ба 1 наздик аст ва зарибҳои диффузия аз ҳарорат вобаста нестанд. Дар нашриҳои дертари [71] пайдошавии ноустувориятҳои ҷӣ диффузионӣ-гармӣ ва ҷӣ гидродинамикӣ дар ҳолати ададҳои мавҷии ихтиёрии ангезиш зарибҳои диффузия, ки аз ҳарорат вобастаанд, таҳқиқ карда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки барои ададҳои мавҷии калон ноустуворият асосан бо омилҳои диффузионӣ-гармӣ муайян мешавад ва сарҳади нейтралӣ устуворият ба пешгуи амсилаи диффузионӣ-гармӣ наздик аст. Ҳангоми ададҳои мавҷии хурд ноустуворият тавсифи омехтаи газиро дорад (Даррӣе-Ландау) ва бо таносуби гидродинамикии дисперсионӣ муайян мешавад [72]. Дар [73] ҳолати энергияи активатсияи охирик дида баромада шудааст. Масоили устуворияти гидродинамикии сӯзиш ба намуди мукамал дар қорҳои [74-76] таҳқиқ карда шудаанд.

Масъалаи устуворияти диффузионӣ-гармии сӯзиш аввалин маротиба дар силсилаи қорҳои [1, 77-79] аз назар гузаронида шудааст, ки он ҷо фарз карда мешавад, ки речаи статсионарии сӯзиш устуворияти худро нисбат ба ангезишҳои локализатсияшудаи тақсимои ҳарорат, масалан, дар натиҷаи хоричшавии якбораи гармӣ дар ягон соҳаи хурди аланга, гум мекунад. Дар қори [77] сӯзиши ҳамвори якченака дида баромада шудааст ва барои таҳлили устуворияти он линеаризатсияи системаи муодилаҳои ғайрихаттӣ аз рӯи ҳосилаҳои хусусӣ, ки раванди сӯзишро дар наздикии ҳолати бӯҳронӣ шарҳ медиҳанд, пешниҳод карда шудааст. Ин ҳолати бӯҳронӣ ба речаи статсионарии сӯзиш дар системаи сарҳисобе мувофиқ аст, ки дар он сӯзиш ором аст. Механизми зерини устуворияти хаттӣ пешниҳод карда шудааст: ҳалли статсионарӣ устувор ё ноустувор аст, агар ҳалли масъалаи линеаризатсияшуда бо манбаи ибтидоии гармӣ ҳомӯш шавад ё номаҳдуд афзояд. Фарзияе пешниҳод шуд, ки ноустуворияти сӯзиш метавонад ё ба ҳомӯшшавии аланга ва, биноан, пайдошавии ҳудуди алангагирӣ, ё ба афзоиши

назарраси ҳарорат, ё ба пайдошавии пулсатсияи тавсифоти сӯзиш бо амплитудаи маҳдуд дар назди ҳалҳои статсионарӣ оварда расонад. Дар [77] амсилаи адиабатии сӯзиши якзинавии адиабатии сӯзишвории саҳт дида баромада шудааст ва кӯшиши ҳосил кардани меъёри таҳлилии устуворияти сӯзиш карда шудааст. Дар [78] масъалаи устуворияти ҳаттӣ барои ин амсила бо усули ададӣ ҳал карда шудааст ва муқаррар карда шудааст, ки дар ҳолатҳои муайян ангишти ҳарорат метавонад афзояд ва сӯзиш устуворияташро гум мекунад. Дар [79] муодилаи параболии линеаризатсияшуда танҳо барои ҳарорат дида баромада шудааст, ки ба масъалаи намуди муодилаи Шрёдингер барои инкристи афзоиши ангишт аз рӯи қиматҳои хос бозтасвия карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки инкристи афзоиш метавонад аломаташро тағйир

диҳад ва сӯзиш устуворияташро гум кунад.

Масъалаи устуворияти ҳаттии сӯзиш ба намуди муосир, чун масъала ба қиматҳои хусусии оператори дифференсиалии ҳаттӣ, дар қори [1] тасвия шудааст, ки он ҷо устуворияти паҳншавии мавҷи якченакаи сӯзиш дар амсилаи якзинавии адиабатӣ бо зарбҳои баробари диффузияи сӯзишворӣ ва ҳароратгузаронӣ дида баромада шудааст. Масъала ба қиматҳои хусусии оператори мутобиқ ба муодилаи Шрёдингер барои ёфтани савияҳо дар ҷоҳи потенциалии якченака оварда шудааст. Савияи поёнӣ ё ҳолати асосии системаи квантии мутобиқ энергияи баробари нолро дорад ва бо модаи хусусии нолии масъалаи устуворияти ҳаттӣ, ки бо симметрияи транслясионӣ алоқаманд аст, рост меояд. Ҳамин тариқ, нишон дода шуда буд, ки ҳама қиматҳои хусусии боқимонда мусбатанд, ки ба қиматҳои хусусии устувор дар тасвияи [1] мувофиқ аст. Биноан, барои ҳолати ба 1 баробар будани адади Люис мавҷи сӯзиш устувор аст. Ҳамин гуна натиҷа дар қори [2] низ ҳосил карда шудааст, ки дар он устуворияти мавҷҳои сӯзиш дар амсилаи якзинавии адиабатӣ дида баромада шудааст. Система ба таври феноменологӣ бо як муодила аз рӯи ҳосилаҳои хусусӣ барои ягон тағйирёбандаи умумишудаи ҳолат шарҳ дода мешавад. Чунин тариқа амалан ба ҳолати ба 1 баробар будани

адади Люис, ки дар [1] дида баромада шудааст, эквивалент аст, ки дар он системаи муодилаҳои амсилавӣ ба як муодила барои ҳарорат оварда мешавад.

Инкишофи минбаъдаи таҳқиқоти устуворияти мавҷҳои сӯзиш бо истифода аз наздикшавии энергияи активатсияи баланд алоқаманд аст, ки дар математикаи татбиқӣ ва механика одатан чун усули дӯзиши таҷзияҳои асимптотикӣ маълум аст [3, 4]. Ин тариқа аввалин маротиба барои таҳлили масоили статсионарии сӯзиш ба кор бурда шудааст [5], ки дар он суръати паҳншавӣ ва сохтори алангаи адиабатӣ дар тартиби дуввум аз рӯи параметри асимптотӣ хурди ба энергияи активатсия чаппа мутаносиб барои ҳолати адади ихтиёрии Люиси татиби як ёфта мешаванд. Таҳлили монанд дар кори [6] барои сӯзишвории саҳт гузаронида шудааст. Аммо, бархилофи кори [4] ин ҷо зичӣ ва гармигузаронии материал чун функсияи ҳарорат қабул шудаанд. Суръати аланга дар тартиби дуввум таҷзияи асимптотикӣ ёфта шудааст. Ҳолати ғайриасимптотӣ дар кори [6] дида баромада шудааст, ки он ҷо дар тартиби дуввуми таҷзияи асимптотикӣ муодилаи вобастагии суръати аланга аз параметрҳои амсила, аз ҷумла адади Люис ва зариби талафоти гармӣ, ҳосил карда шудааст.

Таҳқиқоти ададии сӯзиши ғайригазии сӯзишвории конденсатсияшуда [80-83] нишон доданд, ки дар амсилаи кинетикаи якзинавии реаксия мавҷудияти речаҳои пулсатсионии сӯзиш имконпазир аст. Дар кори [80] дар асоси маълумоти ададӣ апроксиматсияи феноменологии сарҳади нейтралӣ устуворият сохта шу два муқаррар карда шуд, ки бо зиёдшавии параметри танзимкунӣ шароити пулсатсияҳо бештар мураккаб шудан мегиранд. Дар кори [81] таҳқиқи ададии сӯзиши ғайригазии омехтаи конденсӣ бо намудҳои гуногуни кинетикаи реаксияи намуди аррениусӣ гузаронида шудааст, ки таъсири ғайриҷинсияти муҳити саҳтсӯзишвориро ба речаҳои паҳншавии аланга амсила мекунонанд. Мавҷудияти бифуркатсияи дукараташавии давр дар динамикаи пулсатсияҳои сӯзиш ошкор карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши параметри танзимкунӣ ҳалҳо бо даври пайдарҳам

дукараташуда пайдо мешаванд, ки бо речаҳои бештар мураккаби оссиллятсияи аланга иваз мешаванд ва таҳлили ададии охиринҳо мушкул аст.

Бисёре аз таносубҳои ҳисобии муҳандисӣ бо усулҳои сода ҳосил карда мешаванд [5, 7, 48, 63-65, 80-83], чунки масъалаҳои мувофиқи амалӣ маҳз масъалаҳои гармигузаронӣ, масъалаҳои статсионарӣ, якченака ва бисёрченака (сохторҳо дар муҳитҳои фаъол) мебошанд.

1.3. Усули тасвири амсилавии ҳалҳои таҳлилӣ ва адабии тақсимоти ғайрихаттии ҳарорат дар муҳити конденсӣ

Барои масъалаи гармигузаронӣ системаи пурраи муодилаҳои дифференсиалӣ аз рӯи ҳосилаҳои хусусӣ ба ягонаи муодилаи дифференсиалии гармигузаронӣ оварда мешавад, ки барои ҳарорат $T(x, y, z, t)$ чун тағйирёбандаи ҷӯянда навишта шудааст:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) + q_v. \quad (1.1.1)$$

Зарибҳои ин муодила, маҳз ҳосияҳои гармофизикӣ (гармигузаронӣ $\lambda, \frac{Вт}{мК}$;

гармиғунҷоиши хос $c_p, \frac{Дж}{кгК}$ ва зичӣ $\rho, \frac{кг}{м^3}$), инчунин тавоноии манбаъҳои

дохилии гармӣ $q_v, \frac{Вт}{м^3}$ метавонанд аз ҳарорат вобаста бошанд, инчунин функсияҳои ошқори координатаҳо ва вақт бошанд.

Дар бораи зарурати сохтани амсилаи математикӣ дар алоқа бо муаммоҳои сӯзиш ва таркиш аввалин маротиба соли 1938 аз тарафи Д.А. Франк-Каменецкий [23, 44, 45] ёдрас шуда буд. Дар амсилаи пешниҳодкардаи ӯ тасвири хаттии нишондоди ҳароратии дараҷа дар экспонентаи аррениусӣ истифода карда шудааст, ки ба фарзияи хурдии гармшавии пеш аз алангагирӣ нисбат ба ҳарорати муҳити газӣ асос меёбад. Ин фарзия барои шарҳи шароити бўҳронӣ дар ҳоли шитобҳои калони реаксияҳои химиявӣ экзотермӣ ва хуруҷҳои калони гармӣ дуруст аст.

Амсилаи математикии раванҳои физикиро дида мебароем, ки бо муодилаи зерини якченакаи ғайрихаттии гармигузаронӣ тасвир карда мешаванд, ки дорои манбаъи хориҷшавии ҳаҷмии гармӣ мебошад [22]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = f(T) + \frac{1}{r^\mu} \frac{\partial}{\partial r} \left(\beta r^\mu \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (1.1.2)$$

ки ин ҷо $\beta = \frac{\lambda}{\rho c_\rho} \left(\frac{m^2}{c} \right)$ – зариби ҳароратгузаронӣ, λ , $\left(\frac{Bm}{m \cdot K} \right)$ – зариби гармигузаронӣ, ρ – зичӣ; c_ρ – гармиғунҷоиш ҳангоми $\rho = const$ ва $\mu = const$. Доимии μ метавонад қиматҳои зеринро қабул кунад: ҳангоми $\mu = 0$ зарфи ҳамворро ҳосил мекунем, ҳангоми $\mu = 1$ – зарфи силиндриро ва ҳангоми $\mu = 2$ – зарфи куравиро. Функсияи $T(r, t)$ ҳарорати муҳити яклухтро дар ҳар як нуқтаи он дар лаҳзаи вақти t нишон медиҳад. Узви якуми тарафи рости муодилаи (1.1.2) $f(T)$ раванди хуручи энергияро шарҳ медиҳад. Амалан ин тавоноии манбаъи гармӣ аст. Ин узв раванди сӯзиш ё таркиши муҳити яклухтро шарҳ медиҳад [22]. Узви дуввуми тарафи рости ин муодила механизми гармигузарониро шарҳ медиҳад, зимнан зариби ҳароратгузаронӣ β аз ҳарорат хаттӣ вобаста аст.

Барои ҳалли муодилаи (1.1.2) муқарраркунии шароити ибтидоӣ ва канорӣ, параметрҳои физикии муҳит ва ғ. зарур аст. Қайд мекунем, ки барои гузориши корректи масъалаи стандартӣ ғайристатсионарии гармомубодила шароити ибтидоӣ ва канорӣ ва параметрҳои муҳит бояд ҷавобгӯи баъзе талаботи иловагӣ бошанд. Додашавии энергияи гармии ибтидоӣ бо ёрии ин шароит, ки дар фазо ба тариқи махсус тақсим шудаанд, ба сӯзиши муҳит ё таркиши он оварда мерасонад, зимнан бинобар ғайрихаттияти муодилаи (1.2) тағйири интенсивияти сӯзиш ё таркиш, инчунин гармоинтиқол дар қитъаҳои гуногуни хати рост ба таври мухталиф мегузарад. Бо гузашти вақт дар муҳит тақсимои дар фазо ва вақт тағйирёбандаи ҳарорат пайдо мешаванд, ки бо сохторҳои гармӣ муайян карда мешаванд.

Тасвири амсилави раванди физикӣ аз рақобати ду равандҳои ҳаттӣ ва ғайриҳаттӣ иборат аст. Аз як тараф, мавҷудияти гармигузаронии ҳаттӣ ба ҳамворшавии ғайриҷинсагӣҳои гармӣ, пайдошавии тақсимои статсионари ҳарорат оварда мерасонад. Аз тарафи дигар, дар ҷараёни сӯзиш хориҷшавии энергияи гармӣ ба амал меояд, ки ба афзоиши ҳарорати муҳит оварда мерасонад. Айни замон, чӣ қадаре ки ҳарорат баланд бошад, ҳамон қадар интенсивияти хориҷшавии гармӣ зиёд мешавад, вале ҳамзамон бо афзоиши ҳарорат зариби ҳароратгузаронӣ низ меафзояд.

Яке аз натиҷаҳои асосии рақобати равандҳои ҳаттӣ ва ғайриҳаттии гармоинтиқол ва хориҷшавии гармӣ ин ҳодисаи локализатсияи (маҳдудияти фазогии) сӯзиш мебошад, ки дар ҳолати додашудаи мушаххас чун зуҳури раванди худидоракунии муҳити ҳаттӣ ва ғайриҳаттии диссипативӣ баромад мекунад. Он метавонад ба пайдошавии маҷмӯи сохторҳои мухталифе, ки байниҳам таъсир намекунанд, оварда расонад.

Дар қорҳои [46, 49, 50, 85] ҳолати хусусии муодилаи (1.1.2) дида баромада шудааст, вақте ки дар муҳит манбаи энергияи гармие мавҷуд аст, ки ба функсияи $f(T)$ - манбаи бефосилаи гармии дар фосилаи $T_1 \leq T \leq T_3$ муайян мувофиқ аст ва дорои хосиятҳои зерин аст: 1) $f(T_1) = f(T_3) = 0$; 2) $f(T) > 0$ ҳангоми $T_1 < T < T_3$; 3) $f'(T_1) = \gamma = \text{const} > 0$; 4) $f'(T) < \gamma$ ҳангоми $T_1 < T \leq T_3$ (ин ҷо $f'(T) = \frac{df}{dT}$).

Муодилаи (1.1.2) ҳангоми $f(T) = \nu(T - T_1)(T - T_2)(T - T_3)$ аз ҷониби А.Н. Колмогоров, И.Г. Петровский ва Н.С. Пискунов соли 1937 [50] таҳқиқ карда шудааст. Дар ин қор ҳалли муодилаи (1.2), яъне паҳншавии ҳарорат дар муҳити ғайриҳаттӣ барои ҳолате ҳосил карда шудааст, ки дар он функсияи $f(T)$ бо воситаи полиноми тартиби сеюм ҳангоми $\nu = 1$ ва $\mu = 0$ дода мешавад.

Дар ин қор ҳалли хусусии муодилаи (1.1.2) ба намуди

$$T = T(\xi), \quad \xi = x - \omega t \quad (1.1.3)$$

бо шароити сарҳадии

$$T \rightarrow T_3, \quad \xi \rightarrow -\infty; \quad T \rightarrow T_1, \quad \xi \rightarrow \infty$$

барои суръатҳои дилхоҳи паҳншавии ҳарорат ω , ки аз ягон адади ω_0 калонтар аст $\omega \geq \omega_0 = 2\sqrt{\varepsilon\beta}$, оварда шудааст.

Исбот карда шудааст, ки миёни ҳалҳои имконпазири (1.3) танҳо ҳамон ҳалле дорои хосияти устуворӣ аст, ки ба суръати хурдтарини паҳншавии ҳарорат $\omega = \omega_0$ рост меояд.

Дар кори Р. Фишер [85] ба сифати $f(T)$ функсияи параболии намуди $f(T) = \nu T(1 - T)$ истифода карда шудааст, ки ҳолати хусусии равон дар кори [50] дида баромадашуда аст. Дар ин кор Р. Фишер ҳангоми пешкаши натиҷаҳои худ бо хулоса дар бораи тайфи бефосилаи суръатҳои имконпазири аз ягон суръати хурдтарини паҳншавии ҳарорат $\omega = \omega_0$ калонтар маҳдуд шуд, гарчанде баъзе далелҳои сифатӣ дар бораи баромади шароити бӯҳронии таркиши гармӣ ба речаи асимптотӣ бо суръати хурдтарини паҳншавии ҳарорат низ пешниҳод карда шуда буд. Аммо намуди функсияи дар корҳои [50, 85] пешниҳодшуда аз нуқтаи назари физикӣ норасоии калон дошт. Муҳити бо муодилаи (1.2) тасвиршаванда дорои ду ҳолати статсионарӣ аст, ки якеаш бо ҳарорати $T = T_3$ устувор аст ва дигараш бо ҳарорати $T = T_1$ ноустувор аст. Дилхоҳ ангиши беохир хурди тасоддуфӣ ҳолати ибтидоии $T = T_1$ бо гузашти вақт системаро ба ҳолати устувори $T = T_3$ оварда мерасонад. Аз ин рӯ дар кори Зельдович – Франк-Каменецкий [46] устуворияти ҳолати статсионарии $T = T_1$ аз ҳисоби вайроншавии яке аз шартҳои 1)-4) ба функсияи $f(T)$ дар гузориши ибтидоӣ [50] таъмин карда мешавад.

Ошкор аст, ки фикри шакливозкунии функсияи $f(T)$ бо мақсади таъминкунии устуворияти ҳолати $T = T_1$ дар асоси омӯзиши речаҳои сӯзиш [46] ба миён омадааст. Устуворияти ҳолати $T = T_1$ бо роҳи дохилкунии ноли мобайнии функцияи $f(T)$ ҳангоми $T_1 < T < T_3$ таъмин карда мешавад. Ба сифати чунин функцияи $f(T) = \nu(T - T_1)(T - \varepsilon)(T - T_3)$ дида баромада мешавад.

Маълум шуд, ки қимати суръати паҳншавии аланга ω дар доираи тасаввуроти $f(T)$ ягона аст, аз ин рӯ саволи барои масъалаи [50] муҳим дар бораи интихоби ω дар ин ҷо бевосита пайдо нашудааст ва исботи он, ки дар ин фарзияҳо $f(T)$ ҳалли статсионарии ба шарти $\omega = \omega_0$ мувофиқ дар ҳолати $t \rightarrow \infty$ ҳақиқатан асимптотикаи ҳалли масъалаи паҳншавии ибтидоӣ барои муодилаи гармигузаронии (1.1.2) аст [49, 86].

Муодилаи (1.2) сохтори гуногун дорад, ки ба муҳитҳои фаъол хос аст, табдилдиҳандаи фазавӣ аст, ҳангоми паҳншавии он унсурҳои сохтор аз як ҳолати устувор ба дигараш мегузаранд. Ҳолатҳои статсионарии якҷинсаи $T = T_1$ ва $T = T_3$ ҳама вақт нисбат ба ангишиҳои хурд устуворанд. Миёни ҳодисаҳои номбаршудаи $T = T_1$, $T = T_3$ ва ҳодисаҳои сохторҳои фазавӣ дар системаҳои мувозинатии физикӣ айнияти назаррас мавҷуд аст.

Дар амалияҳои мушаххаси назарияи сӯзиш ва таркиш бисёр вақт масъалаи муайянкунии шароити пайдошавии беихтиёри сӯзиш ё таркиш ба миён меояд. Дар корҳои [13, 23, 41, 45-49, 87, 88] моҳияти физикии ҳодисаи худдаргирӣ, худалангагирӣ, сӯзиш ё таркиши беихтиёр дида баромада шудааст, формулаҳои ҳисобие оварда шудаанд, ки имконияти баҳодиҳии хосиятҳои материалҳои худ ба худ гармшавандаро аз рӯи параметрҳои кинетикӣ фароҳам меоранд. Аввалин усул ё тариқае, ки ба физикаи сӯзиш ва таркиш ибтидо гузошт, аз ҷониби Н.Н. Семенов [42, 88] пешниҳод карда шудааст. Н.Н. Семенов манбаъҳои хориҷкунандаи гармиро аррениусӣ ва гармоберункуниро нютонӣ қабул мекунад. Ҳарорат дар тамоми массаи реаксияшаванда якхула ҳисобида мешавад. Гармшавии массаи реаксияшаванда бо қиматҳои параметрҳои кинетикӣ (энергияи активатсия, зарибҳои пешэкспонент) ва таносуби миёни сатҳи берунаи анбӯҳи муҳити оташангез ва ҳаҷми он муайян карда мешавад.

Самти дуввуми чунин таҳқиқот аз тарафи А.Н. Баратов [13] пешниҳод карда шуда буд. Дар ин кор бо роҳи эмпирӣ вобастагии ҳарорати бўҳронии

худдаргирии материалҳои саҳт аз таносуби байни сатҳи берунаи анбӯҳи массаи худгармшаванда ва ҳаҷми он ёфта шудааст.

Камбудии умумии қорҳои [42, 13, 89] оид ба муайянкунии шароити худдаргирӣ ва худалангагирии гармӣ аз он иборат аст, ки дар онҳо номунтазамии гармшавии массаи реаксияшавандаи муҳити сӯзанда ба назар гирифта намешавад.

Номунтазамии гармшавии массаи реаксияшавандаи муҳити сӯзанда аз ҷониби Д.А. Франк-Каменецкий [23, 44, 45] дида баромада шудааст. Ошкор аст [23, 44, 45], ки номунтазамии майдони ҳароратии массаи реаксияшавандаи анбӯҳ аз он иборат аст, ки ҳал танҳо вақте имконпазир аст, ки агар экспонентаи Аррениус аз рӯи ҳаҷми массаи реаксияшаванда интегронида шуда тавонад. Аммо ин қор ғайриимкон аст, чунки экспонентаи Аррениус шакли ибтидоиро надорад. Ҳалли ин муаммо Д.А. Франк-Каменецкий пешниҳод намуд. У нишондоди экспонентро бо воситаи қатор апроксиматсия намуд [23, 44, 45] ва дар натиҷаи ҳалли таҳлили масъалаи статсионарии худалангагирии гармӣ шароити бӯҳронии гармшавии номунтазामी массаи муҳити сӯзандаро муайян намуд.

Д.А. Франк-Каменецкий ба таври таҳлили масъалаи худалангагирии гармиро барои шартҳои гармоберункунӣ беохир қалон аз сатҳи анбӯҳи муҳити сӯзанда ҳал кард. Минбаъд бо ҳамин усул масъала барои шароити табиӣ гармомубодила аз ҷониби А.Г. Мержанов ва В.В. Барзыкин [87] ҳал карда шуда буд.

Дар қори [88] аз тарафи Я.С. Киселев ифодаи универсалии меъёрие пешниҳод карда шуд, ки меъёри номунтазамии гармшавии массаи сӯзандаи муҳитро барои анбӯҳҳои конфигуратсияи муҳталиф муайян карда метавонад. Дар ин таҳқиқот ба таври назариявӣ ва таҷрибавӣ нишон дода шудааст, ки нақзи ҳаттияти гармоберункунӣ дар масъалаи статсионарии худалангагирии гармӣ, ки аз ҷониби Д.А. Франк-Каменецкий қайд карда мешавад, зоҳирӣ аст ва бо ягон раванди физикии воқеӣ алоқаманд нест. Натиҷаҳои ба инҳо наздик аз тарафи Томас [90], Кинбарра Акита [91] и диг. [92] ба даст оварда шудаанд.

Дар корҳои [91, 92] масъалаҳои чараёни мукаммалшуда ва гармомубодилаи моеъи ғайринютонӣ дар канали коаксиалии беохир дароз бо мақтаи (профили) мутаҷалли суръат ва ҳарорат дида баромада шудаанд. Дар амал тағйирёбии мақтаи ҳарорат аз рӯи дарозӣ мушоҳида мешавад. Аз ин бармеояд, ки таҳқиқи речаи гармомубодила дар муҳитҳои ғайрӣ бо назардошти тағйироти ҳарорат аз рӯи дарозӣ нақши муҳимро мебозанд. Дар ин ҳолат татбиқи адабии масоили гузашташуда бинабар зарурати баназаргии гармоинтиқоли конвективӣ, хусусиятҳои тағйирёбандаи таъсири ғайринютонии рафтори муҳит ва пастшавии консентратсияҳо дар чараёни реаксия ва диг. мураккабтар мегардад.

Таҳқиқоти дар боло зикршуда имкон медиҳанд фарз кунем, ки дар сурати нишондиҳандаҳои муҳталифи интенсификации сӯзиш сохторҳои гармии дар речаи шадид инкишофёбанда шаклҳои гуногунро мегиранд. Бояд гуфт, ки дар зинаи бовусъати равандҳои бештар мураккаби ғайрестатсионарӣ, чун қоида, хусусиятҳои ошкор мешаванд, ки ҳосил аз ин речаҳо мебошанд. Дар ин корҳо масъалаи вобастагии бефосилаи ҳолатҳои статсионарӣ аз параметрҳои физикӣ таҳқиқ карда нашудаанд.

Одатан вобастагии бефосилаи ҳолатҳои статсионарӣ аз параметрҳои физикӣ аҳамияти калон дорад ва хосиятҳои параметрҳои мутобиқро мегирад [93- 97, А-1, А-7]. Ин параметрҳоеанд, ки таркибашон аз таркиби дигар параметрҳо вобаста нест. Ба сифати чунин параметри муҳит, ки аз дигар қисмҳо бо сатҳи ҷудодӣ ҷудо карда шудааст (масалан, суръати паҳншавии ҳарорат), фаза қабул шуда метавонад. Фаза шартӣ мувозинат, нуқтаи бӯҳронӣ ва дигар хосиятҳои физикиро муайян мекунад.

Агар системаи амали бефосила соҳиби се ҳолати мувозинат бошад, он гоҳ мобайнии онҳо ҳама вақт ноустувор аст, дутои дигари онҳо метавонанд ҷӣ устувор ва ҷӣ ноустувор бошанд [69]. Аммо барои мақсадҳои бештар оптималии идораи ин равандҳо аҳамияти бештарро сохторҳои фазавӣ доранд, ки танҳо як хусусият доранд. Барои ин ҳолат нишон дода шудааст, ки

ба сифати нуктаи махсус метавонад фокуси устувор дар диаграммаи Семёнов [41-43, 89] хизмат кунад.

Усулҳои дақиқи мавҷудаи ҳалли масъала барои муодилаи гармигузаронии ғайрихаттии статсионарӣ қисман ададианд, шумораи онҳо аз ҳалҳои масъалаи гармигузаронии ғайриватсионарӣ хеле камтар аст. Маълум аст, ки кӯшиши аввалини муваффақи ҳалли масъалаи гармигузаронии ғайриватсионарӣ барои ҳисмҳои геометрияи ҳамвор ҳанӯз соли 1880 аз тарафи Й. Стефан [93] ба ҳарч дода шуда буд. Ҳалҳои алтернативи масъалаи якченакаи гармигузаронии ғайриватсионарӣ новобаста аз ҳамдигар аз ҷониби О.Р. Бургтраф [94] ва Д. Лэнгфорд [95] ёфта шудаанд.

Агар дар ҳисм манбаҳои гармии бегона мавҷуд бошанд, он гоҳ ба муодилаи гармигузаронӣ бояд узви иловагии мувофиқ ҳамроҳ карда шавад. Чунин манбаи гармӣ метавонад, масалан, ҷараёни электрикӣ бошад. Бигузори Q миқдори гармие бошад, ки чунин манбаҳо дар воҳиди ҳаҷми муҳит дар воҳиди вақт хориҷ мекунанд. Он гоҳ шартӣ баланси гармӣ чунин навишта мешавад [96]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div}(\rho c \mathcal{G} T - \lambda \text{grad} T) = QW, \quad (1.1.4)$$

ки ин ҷо ρ – зичии газ, c – гармиғунҷоиш, $\mathcal{G}$ – суръати сели газ, λ – зарибигармигузаронӣ, Q – гармии реаксия ва W – суръати реаксияи химиявӣ мебошанд.

Муодилаҳои диффузия, ки интиқоли компонентаҳои мухталифи омехтаи газиро шарҳ медиҳанд, метавонанд дар шаклҳои гуногун дар вобастагӣ аз намуди консентратсияҳои компонентаҳо (массавӣ ё ҳаҷмӣ) навишта шаванд. Агар консентратсияҳои нисбии массавӣ Z дида баромада шаванд, он гоҳ муодилаи диффузияи ғайрихаттии ғайриватсионарӣ метавонад дар шакли зерин навишта шавад [96]:

$$\rho \frac{\partial Z}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathcal{G} Z - \rho D \text{grad} Z) = -W, \quad (1.1.5)$$

ки ин ҷо D – зариби диффузия мебошад.

Муодилаҳои (1.4) ва (1.5) маҷмӯи беохир калони ҳаолҳоро доранд. Барои ҷудокунии ягона ҳодисаи физикии гармигузаронӣ ва диффузия бояд параметрҳои зерин дода шаванд:

1) андозаҳои геометрӣ ва шакли ҷисм, инчунин вақт t барои раванди ғайристатсионарӣ. Қайд мекунем, ки вақти раванд метавонад ноаён аз рӯи ягон шартҳои иловагӣ, масалан, гармкунӣ ё сардкунӣ ҷисм бо дараҷаи мувозинати гармӣ бо муҳити атроф, дода шавад;

2) зариби гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши хоси ҳаҷмӣ ё гармиғунҷоиши массавии хос, зичӣ зариби ҳароратгузаронӣ;

3) қонуни тақсимои манбаъҳои дохилии гармӣ;

4) тақсимои ибтидоии ҳарорат дар соҳаи ҳисобии додашуда ва шароити гармомубодила дар сарҳади ин соҳа.

Ҳама усулҳои ҳалли масъалаҳои канорӣ ва ибтидиро барои муодилаҳои (1.1.4) ва (1.1.5) метавон ба ду гурӯҳ ҷудо намуд: назариявӣ ва таҷрибавӣ.

Усулҳои назариявиро метавон ба таҳлилӣ, ададӣ ва ададӣ-таҳлилӣ ҷудо намуд.

Усулҳои таҷрибавӣ ба усулҳои назарияи монандҳо ва усулҳои айнҳо тақсим мешаванд. Бо усули назарияи монандҳо майдони ҳароратиро дар таҷриба аз рӯи амсилае меёбанд, ки дар он раванди дар объекти амсилашаванда гузаранда амалӣ мешавад. Бо усули айнҳо таҳқиқи раванд ба таҳқиқи раванди табиати физикиаш дигар иваз карда мешавад, ки айнан ба раванди диффузия сураат мегирад.

Ҳамаи ин ҷустуҷӯи усулҳои нав ва инкишофи усулҳои мавҷудаи таҳлили ҳодисаҳои физикиро тақозо менамояд. Барои таҳлили ҳодисаи додашудаи физикӣ дар зинаҳои муҳталифи таҷрибаи ҳисобӣ метавон аз усули сохтори фазавӣ [97, 98] истифода намуд. Масалан, ниғаҳдории калонмуддати омехтаи моддаҳои реаксияшаванда шароити махсусро талаб мекунад. Табиист, ки чунин шароит аз кинетикаи равандҳои таъсироти мутақобила миёни реагентҳои омехта вобаста мешаванд. Яке аз механизмҳои кинетикӣ-ҳамвории фазавии ҷараёни реаксия дар омехтаи реаксияшаванда механизми

занҷирӣ мебошад, ки шарҳаш дар асарҳои Н.Н. Семенов [42, 89] оварда шудааст. Сохтори дигари фазавӣ- сабаби омехтаи реаксияшаванда ин замшавии гармӣ дар система мебошад. Барои ин зарур аст, то реаксияҳо бо хориҷшавии гармӣ гузаранд, яъне экзотермӣ бошанд ва суръатҳои реаксияҳо бо афзоиши ҳарорат афзоянд, ки одатан хоси реаксияҳои сӯзиш мебошад [42, 89].

Мафҳумҳои фазои фазавӣ ва сохторҳои бо он алоқаманд, инчунин усули сохтори фазавӣ метавонанд равандҳои сӯзиш бошанд, ки бо муодилаҳои (1.1.4) ва (1.1.5) тасвир карда мешаванд. Агар ҳангоми таҳлили ҳалҳои муодилаи якченакаи фазоии (1.1.4) ва (1.1.5) мафҳуми равнаки (эволютсияи) нуқтаи (T, Z) дар сохтори фазавӣ истифода бурда шавад, ҳангоми таҳлили ҳалҳои муодилаи фазоии бисёрченакаи (1.1.4) ва (1.1.5) бошад мафҳуми маҷмӯи равнақҳои сохтори фазавӣ $\{T, Z\}$ муҳим аст, ки бо хосиятҳои омехтаи реаксияшаванда, замшавии гармӣ дар система, кинетикаи химиявӣ ва қобилияти реаксионӣ муайян карда мешавад.

Метавон фарз намуд, ки зариби ҳароратгузаронӣ $\frac{\lambda}{\rho c}$ ба зариби диффузия D баробар аст, чун дар назарияи кинетикии газҳо ин баробарӣ дақиқ иҷро мешавад. Ин баробарӣ имкон медиҳад, ки аз муодилаҳои (1.1.4) ва (1.1.5) функсияи суръати реаксия w хориҷ карда шавад. Дар натиҷа муодиларо барои энтальпия $h = ZQ + cT$ ҳосил мекунем

$$\rho \frac{\partial h}{\partial t} + \text{div}(\rho g h - \rho D \text{grad} h) = 0. \quad (1.1.6)$$

Ҳамин тариқ, фазои фазавӣ имконият медиҳад, ки ба ҷои ду муодилаҳои (1.4) ва (1.5) як муодилаи (1.6) дида баромада шавад.

Дар амсилаҳои физикии тақсимои ҳарорат ҳангоми мавҷудияти манбаҳои гармӣ интенсивияти гармӣ ба воҳиди масоҳат дар воҳиди вақт одатан ба намуди функсияи ҳарорат дода мешавад. Агар функсияи $Q(T)$ саҳт афзоянда бошад, он гоҳ барқароршавии тақсимои статсионари ҳарорат дар муҳите, ки сарҳадҳояш дар шароити додашуда нигоҳ дошта мешаванд,

метавонад ғайриимкон шавад. Гармоберункунӣ бо воситаи сатҳи муҳит ба ягон қимати миёнаи фарқи ҳароратҳои ҷисм $T - T_0$ ва муҳити атроф новобаста аз қонуни хориҷшавии гармӣ дар дохили ҷисм мутаносиб аст. Маълум аст, ки агар хориҷшавии гармӣ дар дохили ҷисм бо афзоиши ҳарорат сахт афзояд, он гоҳ гармоберункунӣ мавҷуда барои амалӣ намудани ҳолати мувозинатӣ нокифоя мешавад.

Маълум аст [89], ки агар суръати реаксияи экзотермӣ бо афзоиши ҳарорат басо сахт афзояд, он гоҳ гармшавии босуръати ғайриватсионии модда ва шитоби реаксия ба амал меояд, яъне таркиши гармӣ ба меояд. Суръати реаксияҳои таркишии сӯзиш аз ҳарорат вобаста аст ва, асосан, ба зарбшавандаи $\exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$ бо энергияи активатсияи калони E мутаносиб аст.

Чунин масъала ба таҳқиқи муодилаи гармигузаронӣ бо интенсивияти ҳаҷмии манбаъҳои гармии намуди $Q = Q_0 \exp(\alpha(T - T_0))$ [23] оварда мешавад.

Бо ҳалли муодилаи ғайрихаттии ватсионии гармигузаронӣ дар шакли аён ҳосил намудани ифодаҳо барои муайянкунии мувозинати устувори система ғайриимкон аст, чунки дараҷаи устуворияти фазаҳо барои шакли силиндрӣ ва куравӣ дар ҳолатҳои маълуми сарҳадӣ метавонад гуногун бошад. Мувофиқи корҳои [99, 100], параметрҳои бӯҳронӣ барои шакли силиндрӣ аз рӯи шохҳои ҳама муайян мешаванд, ки ба речаи устувор мувофиқ мебошанд. Гузаришҳои ҳудудӣ аз муҳити силиндрӣ ба муҳитҳои яклухт ва ҳамвор дар қори [101] муқаррар карда шудаанд.

Дар корҳои [102, 103] масоили таркиши гармӣ дар ҳолати шароити сарҳадии маълум бо усули ҳалли рост таҳқиқ карда шудаанд, ки он ҷо ба сифати ҳарорати масштабӣ ҳарорати муҳити атроф қабул карда шудааст. Дар корҳои [104-108] бошад масоили таркиши гармӣ дар ҳолати шароити сарҳадии маълум чун усулҳои итератсионӣ ва ғайриитератсионӣ дида барномада шудаанд.

Дар ҳолати умумӣ барои омӯзиши паҳншавии ватсионии ғайрихаттии ҳарорат аз рӯи майдони гармӣ ёфтани параметри бӯҳронии

Франк-Каменецкий зарур аст. Тачриба нишон медиҳад, ки масъалаҳои баръакси гармигузаронӣ мураккаб ва калонҳаҷманд, ҳалли онҳо иқтидорҳои калони ҳисобӣ ва вақтҳои назарраси мошинавиро талаб мекунанд [13, 22, 86].

Аз ин рӯ ба сифати параметрҳои бӯҳронии Франк-Каменецкий одатан чунин тавсифоти муҳимми муҳитҳо, ба мисли зичӣ, электргузаронӣ, гармигузаронӣ ва ғ. хизмат карда метавонанд. Дар назарияи таркиши гармӣ таҳқиқи параметри бӯҳронии Франк-Каменецкий бо ёфтани масъалаи баръакси гармигузаронӣ баробарқувва аст. Дар ҳақиқат, ҳангоми таҳқиқи ин параметр мо танҳо адади охириноки нуқтаҳои фазоро қайд мекунем. Агар масъалаи эҳтимолияти хатогиаш калонро ҳал кунем, мо одатан ба масъалаи ноустувор меоем. Чунки ёфтани параметр ба масъалаҳои баръакс тааллуқ дорад, он гоҳ параметри бӯҳронии Франк-Каменецкий ё чой дорад (дар соҳаи таҳқиқ), ё баръакс, на ягона аст (дар соҳаи таҳқиқ ду ҳолат мавҷуданд: ҳал дорад ва ҳал надорад), ё ёфтани параметр ноустувор аст (дар сурати хатогии хурдтарини ченкунӣҳо ҳалли ҳосилшуда метавонад аз ҳалли дақиқ куллан фарқ кунад).

Муодилаи (1.1.2) тавсифи умумии равандро тасвир менамояд ва дорои маҷмӯи ҳалҳо мебошад. Барои ҳосил кардани ҳалли мушаххас риоя кардани шароити якқиматӣ, яъне тасвири математикии шарҳи ҳама хусусиятҳои хоси раванди таҳқиқшаванда, зарур аст [22, 23, 89], аз он ҷумла: геометрӣ-муайянкунандаҳои андоза ва шакли муҳити реаксия; физикӣ-тавсифдиҳандаҳои хосиятҳои физикии муҳит, ки ба муодилаи (1.2) дохил мешаванд; вақтӣ ё замонӣ- муайянкунандаҳои тақсимои ҳарорат дар лаҳзаи ибтидоии вақт; сарҳадӣ- муайянкунандаҳои таъсири мутақобилаи муҳити таҳқиқшаванда бо муҳити атроф.

Равандҳои гармигузаронӣ дар системаҳои химиявӣ дар натиҷаи таъсири ҳодисаҳои экзо ва эндотермӣ мураккабтар мегарданд. Дар ин ҳолат гармӣ дар тамоми муҳити реаксионӣ ё хориҷ мешавад ё фурӯ бурда мешавад. Ба ин намуд масъалаҳо системаҳо бо табдилоти фазавӣ ва равандҳои гармшавии индуксионӣ дохил мешаванд.

Мувофиқи мақсад мебуд, агар зинаи ибтидоии гармшавии системаи химиявӣ бо фарзияи симметрияи геометрии он дида баромада шавад ва худ система бо параметрҳои термодинамикии аз ҳарорат T , гармигузаронӣ λ , гармиғунҷоиши хос c ва зичӣ ρ вобаста шарҳ дода шавад. Мубодилаи гармӣ миёни модда ва муҳити атроф дар чунин гузориши масъала бо муодилаи (1.1.2) шарҳ дода мешавад.

Дар сурати доимӣ будани ҳарорати муҳити беруна $T_1 = const$ ва шартҳои ибтидоии масъалаи ҳалшаванда $T(r, 0) = T_0$ дар сатҳи модда шартҳои сарҳадии зерин иҷро мешаванд:

$$\begin{aligned} r = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial r} &= 0; \\ r = r_0; \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{r=r_0} &= h(T_1 - T_2). \end{aligned}$$

Дар ин ҷо h -доимиест, ки бузургии сели гармиро дар сарҳад бо муҳити ҳарораташ T_1 муайян мекунад, T_2 - ҳарорати сатҳи муҳит.

Дар қори [109] муҳите дида баромада мешавад, ки дар он раванди сӯзиш ба амал меояд. Ин раванд метавонад бо ёрии муодилаи ғайрихаттии ғайристатсионарии гармигузаронӣ шарҳ дода шавад. Манбаъи гармӣ бо ду узв тавсиф дода мешавад. Якумаш, ки ба ҳарорати T мутаносиб аст, муҳитро гарм мекунад ваинтенсивияти раванди сӯзиши онро шарҳ медиҳад, дуввумаш, ки ба бузургии $\varphi(T) = T^3$ мутаносиб аст, раванди сӯзишро маҳдуд мекунад. Муодилаҳое, ки сӯзиши муҳитро бо назардошти узви эндотермии манбаъ барои ҳолати якченака шарҳ медиҳанд, намуди зеринро доранд [109]:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial x} = -\frac{q}{\lambda}, \\ \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial x} + \alpha_1 T - \alpha_2 T^3, \end{cases} \quad (1.1.7)$$

ки барояшон шарҳҳои ибтидоӣ ва сарҳадӣ мувофиқан чунианд:

$$T(t = 0, x) = T_0(x), \quad (-x_0 < x < x_0);$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=-x_0} = hT \Big|_{x=-x_0}, \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_0} = hT \Big|_{x=x_0}.$$

Ҳалли таҳлилии системаи муодилаҳои (1.1.7) ба намуди маҷмӯи функцияҳои (T, q) тасвир карда мешавад, ки таҳқиқашон имконияти муайянкунии ин ё он хосияти системаро фароҳам меорад.

Муқарраркунии ҳолати статсионарӣ дар системаи (1.1.7) маънии онро дорад, ки сели энергияи гармӣ бо мурури замон бетағйир мемонад, яъне

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial q}{\partial t} = 0.$$

Айни замон, шартҳои сарҳадии бо воситаи тағйирёбандаҳои сели гармӣ q ва ҳарорат T ифодашуда чунин шакл доранд:

$$-q|_{x=-x_0} = hT|_{x=-x_0}, \quad q|_{x=x_0} = hT|_{x=x_0}.$$

Дар ин ҷо α_1 –зариби гармидиҳии узви якуми манбаи гармӣ T , α_2 – зариби гармидиҳии узви манбаи гармӣ T^3 , x_0 – бузургии нимфосила аз рӯи тағйирёбандаи фазоӣ x ; t – вақт.

Тавре аз системаи муодилаҳои (1.1.7) мебинем, манбаи гармӣ бо ду аъзо шарҳ дода мешавад. Якумаш, мутаносиб ба T , муҳитро гарм мекунад ва интенсивияти раванди сӯзиши онро шарҳ медиҳад, дуввумаш, мутаносиб ба T^3 , раванди сӯзишро маҳдуд месозад [109].

Устуворияти усулҳои ҳисоби муодилаҳои (1.1.7) гуногун буда метавонад. Маълумоти ибтидоӣ дар бораи асл дар шарҳи математикии амсила ба тарзҳои гуногун истифода бурда мешавад. Инҳо метавонанд параметрҳои ададӣ бошанд, ки зарибҳои муодилаҳои (1.1.7) муайян мекунанд, инчунин баъзе узвҳои онҳо, шароити ибтидоӣ ва сарҳадӣ барои ин муодилаҳо.

Таҳқиқи муодилаҳои статсионарии ғайрихаттии (1.1.7) дар алоқа бо бисёре аз масоили физикӣ аҳаммияти хос дорад. Дар ин ҳолат системаи додашуда бо як тағйирёбандаи фазоӣ ба масъалаи канорӣ барои системаи муодилаҳои дифференсиалии оддӣ мубаддал мегардад. Азбаски дар сатҳҳои дохилӣ ва берунаи ҷисм гармомубодилаи конвективӣ бо муҳити атроф сурат мегирад, аз ин рӯ, ҷанбаи дигари муҳимми таҳқиқи он, таҳлили рафтори

муодилаи статсионари гайрихаттии (1.1.7) чун ягон сохтори фазавӣ пайдо мешавад. Мисоли гузориши чунин масъалаи канорӣ, ки бо тасвириравандҳои статсионарӣ дар плазмаи пастҳароратӣ алоқаманд аст, табдилдиҳандаи термоэмиссионӣ буда метавонад, ки барояш параметрҳои беруна аз қабili ҳароратҳои эмиттер ва коллектор, фишори бўғҳои сершудаи сезий дар зарф, тарқиши миёни электродҳо, зичии ҷараёни табдилдиҳанда ва диг. дода мешаванд [110-114].

Дар корҳои [115, 116] системаи статсионари муодилаҳои (1.1.7) барои шароити гуногуни сарҳадӣ ҳал карда шудааст. Масалан, дар [116] усули ивази муодилаи (ё функсияи) ибтидоӣ ба муодилаи содашудаи тахминии дискретии ҳисобии зерин пешниҳод карда шудааст:

$$\frac{1}{2\lambda} q^2 + \frac{1}{2} \alpha_1 T^2 - \frac{1}{4} \alpha_2 T^4 = C,$$

ки ин ҷо C доимии интегронӣ мебошад. Дискретнокии муодилаи ҳисобӣ ҳангоми истифодаи техникаи ҳисоббарорӣ хеле муфид аст, чунки дар он тасвири ададҳо ҳама вақт бо адади охириноки разрядҳо маҳдуд мебошад.

Мураккаботи усули назариявӣ дар физикаи сӯзиш ва тарқиш ҳангоми ҳисоби беҳатарӣ ва эътимодноки зоҳир мешавад. Чунин ҳисоб ба вобастагӣ ҳолат асос меёбад, ки дар таҷрибаҳои сӯзиш ва тарқиш ба даст омадаанд [7, 117-119]. Дар ин корҳо қимати фишори изофавии гази омехтаҳои ҳавоӣ таҳқиқ карда шудааст.

Дар корҳои [120, 121] гузориши вариатсионии масъалаҳо таҳқиқ карда шудааст. Суръати статсионари паҳншавии аланга ба истифодаи усули потенциали локалӣ барои тасвияи функционали аз принципи экстремалии термодинамикаи номувозӣ бармеомада асос меёбад.

Дар корҳои [122-129] амсилаи раванди сӯзиши газ дар ҷароғи андозааш охиринок пешниҳод карда шудааст. Муқаррар карда шудааст, ки шартҳои бўғҳроние мавҷуданд, ки речаҳои гуногуни сӯзишро ҷудо мекунанд. Имконияти идоракунии речаҳои сӯзиш аз ҳисоби тағйирдиҳии параметрҳои

геометрӣ, суръати расонидани газ ба зонаи реаксия, инчунин ҳарорати гармомубодилакунанда нишон дода шудааст.

Нишон дода шудаат, ки майли адади Люис Le аз 1 ба тавсифоти речаҳои статсионарӣ таъсири саҳт мерасонад, ҳол он ки дар аксарияти корҳои назариявии то ин замон маълум ин омил ба назар гирифта намешавад. Мубрамияти таҳқиқоти раванди сӯзиши газҳо дар муҳитҳои ковокидор ва сохтани амсилахое, ки «ғайриидеалияти» равандҳои физикиро дар ин шароит ба назар мегиранд, бо шумораи афзоиандаи интишорот доир ба ин мавзӯ тасдиқ мегардад [128, 129].

Бо афзоиши босуръати корҳо дар самти коркарди унсурҳои сохтори манбаҳои химиявии ҷараён (термоэлементҳо) [130–134], хусусан литиевӣ [135–139], инчунин истифодаи системаҳои электрехимиявӣ чун тартибдиҳандаи табдилдиҳандаҳои энергияи офтобӣ [140], таваҷҷуҳ ба таҳқиқи ҳодисаҳои ҳароратӣ дар сарҳади байнифазаӣ хеле боло рафт.

Бист соли охир таваҷҷуҳ ба концепсияи камераи сӯзиш бо детонатсияи ҷарҳзананда низ саҳт боло рафт [141-146]. Дар ин корҳо сухан дар бораи натиҷаҳои таҳқиқи таҷрибавӣ ва ҳисобӣ-назариявии раванди сӯзиш дар камера бо детонатсияи ҷарҳзананда меравад. Дар корҳои таҷрибавии ин силсила ба сифати сӯзишворӣ аз омехтаҳои гидрогендор истифода карда шудааст. Дар боби корҳои ҳисобӣ-назариявӣ бояд қайд кунем, ки ҳамаи онҳо дар асоси муодилаҳои ҷоришавии гази ғайричаспак (муодилаҳои Эйлер) барои омехтаҳои гомогении газҳо гузаронида шудаанд.

Амсилаи гузариши таҷзияи оҳистаи материалҳои энергетикӣ ба ре-ҷаи худшитоб тасвирот мекунем, ки равандҳои дар зерӣ таъсири ангиштиҳои статсионарӣ ва импулсӣ гузарандаро ба назар мегирад. Дар ин амсила ҳама равандҳое ҷамъ оварда шудаанд, ки пештар дар алоҳидагӣ барои ҳодисаҳои таҷзияи термохимиявӣ, фотохимиявӣ ва радиатсионӣ-химиявӣ [148, 149] ва таркишии [150-156] материалҳои энергетикӣ таҳқиқ карда шуда буданд:

– генератсияи ҷуфтҳои электронӣ-суроҳигӣ аз ҳисоби энергияи афканишоти беруна ва реаксияи химиявӣ;

– таҷзияи зерпанчараи анионӣ аз ҳисоби локализатсияи ду суроҳӣ (азид-радикали $\dot{N}_3$) дар вакансияи катионӣ бо ҳосилшавии комплекси N_6 ва тақсимшавии минбаъдаи он то ба нитрогени молекулавӣ ва ҷудошавии энергияи зиёд;

– иштироки нанокластерҳои металл, ки аз рӯи нақшаи Митчелл дар равандҳои рекомбинатсияи ҷуфтҳои электронӣ-суроҳигӣ меафзоянд.

Ба сифати маҳсули ниҳони таҷзияи зерпанчараи катионӣ кластери панҷатомаи нукра ҳисобида шудааст, кластери чоратома бошад маркази рекомбинатсияи электронҳо ва суроҳиҳо.

Дар қорҳои [157-165] амсилаи кинетикии сӯзиши занҷирӣ-гармӣ тасвирот ва таҳқиқ карда шудааст. Вобастагҳои кинетикии ҳарорати намуна, консентратсияи суроҳиҳо, электронҳо, маҳсулоти мобайнӣ ва ниҳони реаксия дар речаҳои сӯзиши оҳиста ва таркиш ҳосил карда шудаанд. Вобастагҳои давомоти даври индуксионии таҷзияи таркишӣ аз ҳарорат ҳисоб карда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки давомоти даври индуксионӣ бо афзоиши ҳарорат кам мешавад ва дар координатаҳои муодилаи Уббеллоде ду хати ростро бо энергияҳои самарии саҳт фарқкунанда ҳосил мекунад.

Натиҷаҳои ҳосилшуда имкон медиҳанд, ки хулосаи зерин барорем: барои тасвири кинетикаи таҷзияи таркишии материалҳои энергетикӣ, ҳисоби параметрҳои бӯҳронии гузариши оҳистаи таҷзия ба речаи таркишӣ навгоникунӣ назарраси амсилаи таркиши гармӣ зарур аст, ки ибтидои он дар қорҳои [165-168] гузошта шудааст.

Ба ғайр аз ин, таҳқиқи механизмҳои дезактиватсияи молекулаҳои электронӣ-фаъолшудаи нитроген дар матритсаи азиди нукра таҳқиқ карда шудаанд, баҳои доимии суръатҳои равандҳое дада шудааст, ки ба ҳосилшавии ҷуфтҳои электронӣ-суроҳигӣ, интиқоли энергия ба суроҳии зонавӣ, генератсияи ҷуфти нуксҳои френкелӣ оварда мерасонанд. Параметрҳои амсила бо истифода аз маълумот дар бораи таҷзияи гармӣ ва вобастагии гузаронандагии ионӣ аз фишор ва ҳарорат саҳеҳтар карда шуданд.

Таҳлили параметрҳои интиқоли электронӣ-сурухигӣ дар азиди нуқра дар кори [148] гузаронида шудааст.

Усулҳои номбаршуда барои татбиқ дар шароити равандҳои статсионарии гармигузаронӣ дар тарҳҳои таворавӣ-ҳимоявӣ тамоюл шудаанд. Дар асл, речаи статсионарӣ танҳо дар шароити лабораторӣ амалӣ карда шуда метавонад. Ҳангоми таҳқиқи гармотехникии объектҳои сохтмонӣ дар чараёни истифодаи онҳо ҳосикунӣ чунин шароит ғайриимкон аст. Дар ин ҳолат, речаи интиқоли гармӣ бинобар лаппиши шабонарӯзии ҳарорати ҳавои муҳити беруна, тағйироти ҷаҳишноки боду ҳаво ва дигар сабабҳо ғайрестатсионарӣ мегардад. Аз ин рӯ, масъалаи коркарди усулҳои алтернативии муайянкунии тавсифоти локалӣ ва интегралӣ тарҳҳои таворавӣ-ҳимоявӣ аҳамияти махсусро касб мекунад. Усули алтернативӣ бояд имконияти муайянкунии тавсифоти заруриро дар шароити аслии истифодабарии тарҳҳои мушаххас дошта бошад.

Хулосаи боби якум

Таҳқиқоти дар боло зикршуда имкон медиҳанд, то фарз кунем, ки дар сурати нишондодҳои гуногуни интенсивияти сӯзиш сохторҳои гармии дар речаи ташаннуҷ афзоянда худ речаҳои гуногунро мегиранд, ки хосиятҳои худро доранд. Дар зинаи равандаҳои равандҳои бештар мураккаби ғайрестатсионарӣ, чун қоида, нишонаҳое ошкор мешаванд, ки ба яку аз ин речаҳо хосанд. Дар ин силсилаи корҳо масъалаи вобастагии бефосилаи ҳолатҳои статсионарӣ аз параметрҳои физикӣ омӯхта нашудааст.

Таҳлили сершумори равандҳои табдилоти физикӣ-электрӣ-химиявӣ аз он шаҳодат медиҳанд, ки ҳодисаҳои гармии дар сарҳади ҷудоии маҳлул-муҳити атроф ба амал оянда хоси бисёр аз равандҳои физикӣ-электрӣ-химиявӣ мебошанд. Бешубҳа, замшавии маълумоти нави таҷрибавӣ ва умумикунонии назариявии онҳо ба инкишофи минбаъдаи илми сарҳадии физика-электр-химия ва татбиқи амалии он мусоидат хоҳад кард.

Аз шарҳи адабии овардашуда бармеояд, ки усулҳои назариявии пешниҳодшудаи ҳалли масъалаи гармигузаронии статсионарии ғайрихаттӣ бо ҷалби системаи муодилаҳои (1.1.7) дорои норасоии зерин аст:

а) ҳалли системаи муодилаҳои статсионарии ғайрихаттӣ (1.1.7) барои ангиштиҳои хурди параметҳои ибтидоӣ (сели гармӣ) ноустувор аст, яъне шароити бефосилагии вобастагии ҳарорат аз сели гармӣ дар сурати ангиштиҳои хурд иҷро намешаванд;

б) муодилаҳои статсионарии ғайрихаттӣ (1.1.7) дар ҳолати зарбҳои хурд нокифоя таҳқиқ карда шудаанд, чунки вобастагии сели гармӣ аз ҳарорат дар ин зона ба ғайрихаттияти саҳти муодилаҳо оварда мерасонад.

в) муодилаҳои статсионарии ғайрихаттӣ барои масъалаи ғайрихаттӣ гармигузаронӣ нокифоя таҳқиқ карда шудаанд.

Дар қорҳои [166, А-1] ҳангоми ҳалли муодилаҳои статсионарӣ (муодилаҳои навъи эллиптикӣ) норасоии номбаршуда қисман ба назар гирифта шудаанд. Нишон дода шудааст, ки дар ҳолатҳои муайяни ибтидоӣ муодилаи статсионарӣ метавонад ба муодилаи ба он наздике иваз карда шавад, ки онро барои параметрҳои дилҳоҳи додашуда ҳал кардан мумкин аст. Чунин усул имкон медиҳад, то ҳалҳои ноустувори масъалаи гармоинтиқоли статсионарӣ ба масъалаҳои устувор оварда шавад. Дар бобҳои ояндаи қор натиҷаҳои таҳқиқи таҳлилӣ ва адабии равандҳои паҳншавии статсионарии ғайрихаттӣ гармӣ дар муҳитҳои конденсӣ оварда шудаанд.

Одатан ҳангоми таҳқиқи масъала вобастагии бефосилаи ҳолати статсионарӣ аз параметрҳои мувофиқи физикӣ аҳаммият дорад, параметрҳое, ки мундариҷаашон аз мундариҷаи дигар параметрҳо вобаста нест. Чунин параметри муҳит, ки аз қисмҳои дигар бо сатҳи ҷудой ҷудо карда шудааст ва дар он ягон ҳосият ба таври ҷаҳиш тағйир меёбад (масалан, суръати паҳншавии ҳарорат) фаза мебошад. Фаза шароити мувозинат, нуқтаи бӯҳронӣ ва дигар ҳосиятҳои физикии системаро муайян мекунад.

Масъалаи тасвири амсилавии ҳалли таҳлилӣ-адабии вобастагии ҳолати статсионарии тақсимоии ғайрихаттӣ сели гармӣ аз ҳарорат дар муҳитҳои

конденсӣ ба ҷумлаи масъалаҳои муҳимтарини физика дохил мешавад. Барои баланд бардоштани дақиқии ҳисобҳо одатан аз табдилоти координатаҳо истифода мебаранд, ки гиреҳҳои тури фарқиро дар соҳаҳои градиентҳои калон зич мекунонанд, яъне пешакӣ аз маълумот дар бораи ҳал истифода мекунанд. Ҳангоми ҳалкунии масъалаҳои мураккаб чунин маълумот одатан мавҷуд нест, биноан истифодаи он гуна табдилоти координатаҳо ба мақсад мувофиқ аст, ки гиреҳҳои тури фарқиро ба таври автоматӣ ба ҳал ҷур мекунанд. Аз ин рӯ барои тасвири амсилавии вобастагии ададии тақсимооти статсионарии сели гармӣ дар муҳитҳои конденсӣ, ки дар координатаҳои ихтиёрии ортогоналӣ навишта шудаанд, нақшаи ноаёни фарқии навъи алгоритми универсалӣ пешниҳод карда мешавад, ки дар тури фарқии ҳаракатнок амалишаванда аст.

БОБИ II. АМСИЛАИ ТАҚСИМОТИ ҒАЙРИХАТТИИ ҲАРОРАТ ДАР МУҲИТИ КОНДЕНСӢ

2.1. Таҳлилии амсилаи вобастагии ҳолати статсионарии тақсими ғайрихаттии сели гармӣ аз ҳарорат дар муҳити конденсӣ

Мувофиқи маълумоти дар фасли 2.2 боби якум ва кори [А-1, А-2] овардашуда, масъалаи тақсими статсионарии ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ ҳанӯз ҳам нокифоя таҳқиқшуда мондааст. Аз ин рӯ мақсади фасли додашуда маҳз аз таҳқиқи ҳамин масъала иборат аст. Зимнан аз усули дар қорҳои [12, 169, 170, А-1] истифода мекунем ва аз системаи зерин истифода мекунем:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} - \eta_1 T, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \eta_2 q, \end{cases} \quad (2.1.1)$$

ки ин ҷо $T = T(x)$ – ҳарорат дар нуқтаи x , (К), $q = q(x)$ – зичии сели гармӣ дар

нуқта $x \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right)$; $\eta_1 = \frac{\mu - 1}{x + \varepsilon - (\mu - 1)(x + \varepsilon)^\mu}$, $\left(\frac{1}{m} \right)$, ва

$\eta_2 = \frac{1 - \mu(\mu - 1)(x + \varepsilon)^{\mu-1}}{x + \varepsilon - (\mu - 1)(x + \varepsilon)^\mu}$, $\left(\frac{1}{m} \right)$, -адади компонентҳои, ки зарбҳои

муодилаи гармигузарониро дар муҳитҳои конденсӣ тавсиф медиҳанд.

Ҳангоми $\eta_1 + \eta_2 = 0$, будан, яъне вақти $\mu = 0$ будан муҳит шакли ҳам-

ворро дорад, ҳангоми $\eta_1 + \eta_2 = \frac{1}{x + \varepsilon}$ будан, яъне $\mu = 1$ будан шакли силин-

дриро дорад, вақти $\eta_1 + \eta_2 = \frac{2}{x + \varepsilon}$ будан, яъне вақти $\mu = 2$ будан зарф шакли

куравиرو мегирад, ε бошад параметри хурд аст ($0 \leq \varepsilon < 1$). Функцияи $\varphi(T)$

гармомубодилаи ғайрихаттиро байни ҷисм ва муҳити атроф шарҳ медиҳад.

Системаи муодилаи (2.1.1) аз муодилаи (1.1.7) бо он тафовут дорад, ки дар тарафи рости онҳо ба таври сунъӣ чамъшавандаҳои $\eta_1 T$ ва $\eta_2 q$, илова гардидааст.

Ҳолатҳои мувозинатӣ ва устуворияти системаро дида мебароем. Барои ин тарафҳои чапи муодилаҳои (2.1.1) баробари нол мекунем:

$$\begin{cases} -\frac{q}{\lambda} - \eta_1 T = 0, \\ \varphi(T) - \eta_2 q = 0. \end{cases} \quad (2.1.2)$$

Ҳалли системаи муодилаҳои (2.1.1) имкон медиҳад, ки нуқтаи махсуси ҳамвории фазавӣ (T, q) муайян карда шавад. Вобаста ба қимати функсияи $\varphi(T)$ метавон адади беохир калони ҳолатҳои мувозинатиро ҳосил кард, яъне муодилаҳои (2.1.1) метавонанд маҷмӯи беохирӣ ҳалҳоро дошта бошанд, ки метавонанд устувор ё ноустувор бошанд. Ҳамин тариқ, ҳолати мувозинатӣ нуқтаи махсусест, ки дар он зичии сели гармӣ бо сели энергия ҳамроҳ мешавад, яъне $\lambda \frac{dT(x_*)}{dx} = -q(x_*)$.

Тавсифи ҳолати мувозинатӣ бо решаҳои муодилаи тавсифии (2.1.1) муайян мегарданд. Вобаста ба самти гармомубодила миёни ҷисм ва муҳити атроф яке аз мисолҳои ҳолати мувозинатиро дошта метавонем. Фарозии функсияи $\varphi(T)$ ҳолати мувозинатро муайян мекунад.

Аммо дар бисёр ҳолатҳо ёфтани ҳалли таҳлилии системаи (2.1.1) ғайриимкон аст. Дар ин ҳолат усулҳои маълум аз назарияи муодилаҳои дифференсиалӣ истифода карда мешавад, ки имконияти муайянкунии тавсифи ҳолати статсионарӣ, устуворӣ ё ноустувории ҳалҳои онро бидуни ҳалли аёни муодилаҳо таъмин менамояд. Зимнан барои ин аз баъзе хосиятҳои тарафҳои рости муодилаҳои (2.1.1), инчунин хусусиятҳои равандҳои гузаришӣ дар назди ҳолати статсионарӣ $\varphi(T)$, истифода мекунем.

Системаи мураккаб метавонад соҳиби якчанд ҳолатҳои статсионарӣ бошад, ки ба мавҷудияти чандин решаҳо дар муодилаҳои алгебравии (2.1.2) барои муайянкунии координатаҳои нуқтаи статсионарӣ мувофиқ аст. Дар

ходати мавҷудияти як тағйирёбанда қачӣ тири абсиссаро дар якчанд нуқта бурида метавонад, ки дар ҳар кадомаш функцияи $\varphi(T)$ ба нол баробар мешавад. Ҳар яке аз ин нуқтаҳои $(\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots)$ ҳолати мувозинатӣ мебошад. Вобаста аз қиматҳои ин ё он параметрҳои система ё доимиҳо, инчунин сели гармӣ ҳолати мувозинатӣ тағйир ёфта метавонад ва, ғайр аз ин, дар система сохторҳои статсионарии гуногун амалӣ шуда метавонанд. Ҳангоми гармшавии минбаъдаи модда зичии сели гармӣ дар фазо тағйир меёбад. Аз ин рӯ барои таҳқиқи тавсифи тағйирёбии бузургии q дар фазо дар вобастагӣ аз ҳарорат таносуби $\frac{dq}{dT}$ -ро бо истифода аз (2.1.1) меёбем, ки чунин мешавад:

$$\frac{dq}{dT} = \frac{-\lambda\varphi(T) + \lambda\eta_2 q}{q + \lambda\eta_1 T} = F_1(T, q) . \quad (2.1.3)$$

Ин ҷо тарафи рости муодилаи (2.1.3) бо воситаи функцияи $F_1(T, q)$ ифода ёфтааст. Ин маънии онро дорад, ки барои мо ба тавсиф ва шумораи ҳолатҳои мувозинатӣ дар система дар вобастагӣ аз бузургии q тавачҷух мекунем. Нуқтаҳои статсионарии $T = \bar{T}$ аз муодилаи зерин муайян карда мешаванд:

$$F_1(T, q) = 0 \text{ или } \varphi(\bar{T}) - \eta_2 q = 0. \quad (2.1.4)$$

Бо истифода аз муодилаи (2.1.4) тарзи ҳаракати нуқтаи тасвириро аз рӯи қачиҳои интегралӣ дар ҳамвории фазавӣ таҳқиқ мекунем. Чун q зичии сели гармӣ $q > \eta_1 T$ -ро тасвир мекунад, пас дар нимҳамвории фазавии болои нуқтаи тасвирӣ чунон ҳаракат мекунад, ки ҳарорат T меафзояд, ҳангоми $q < \eta_1 T$ бошад дар нимаҳамвории поёни ҳарорат T паст мешавад. Бо ҳамин роҳ самти ҳаракати ҳарорат аз рӯи масирҳои фазавӣ муайян карда мешаванд.

Аз муодилаи (2.1.4) бевосита як ҳолати аллакай ёдрасшуда бармеояд, ки дар ҳама гуна нуқтаи ҳамвории фазавӣ нуқтаи тасвиркунанда суръати охиринок ва аз нол фарқкунандаро дорад, ба истиснои ҳолатҳои мувозинатие, ки дар онҳо $q = -\lambda\eta_1 T$ ва $\varphi(T) = \eta_2 q$ аст.

Бинобар чунин шароит ҳама ҳолатҳои мувозинатӣ дар ҳамвории фазавӣ, дар тири ҳарорат T меҳобанд, аини замон абсиссаҳои онҳо муодилаи $\varphi(T) = \eta_2 q$ -ро қаноат мекунонанд.

Фарз мекунем, ки дар ҳамвории фазавӣ нуқтаи (q_0, T_0) дода шудааст. Саволе ба миён меояд: оё мешавад, ки ҳама вақт қачии интегралiero ёфтан мумкин аст, ки аз нуқтаи мазкур гузарад ва метавонад, ки ин қачӣ ягона бошад? Муодилаи (2.1.1) дар ҳар нуқтаи сохтори фазавӣ ягона самти расандаро муайян мекунад, ба истиснои ҳолати мувозинатӣ, ки дар он $q = -\lambda\eta_1 T$ ва $\varphi(T) = \eta_2 q$.

Нишон медиҳем, ки дар ҳолати мо аз ҳар нуқтаи номахсуси ҳамвории фазавӣ як ва танҳо як қачии интегралӣ мегузарад. Маълум аст [166, 168, А-1, А-2], ки чунин қачӣ ҳой дора два ягона мешавад, агар меёрҳои Коши риоя шаванд: агар функсияи $F_1(T, q)$ бефосила бошад ва ҳосилаи бефосилаи $\frac{\partial F_1}{\partial T}$ -ро дар соҳаи (q, T) дошта бошад, он гоҳ ҳалли системаи (2.1.2) барои шarti ибтидоии додашудаи $q(T_0) = q_0$ ягона мавҷуд аст, яъне аз нуқтаи (T_0, q_0) ягона қачии интегралӣ муодилаи мазкур мегузарад.

Акнун, аз функсияи $F_1(T, q)$ аз рӯи ҳарорат дифференциал гирифта, экстремуми функсияро меёбем:

$$\frac{dF_1}{dT} = \frac{-\lambda\varphi'(T)(q + \lambda\eta_1 T) + \lambda^2\eta_1\varphi(T) - \lambda^2\eta_1\eta_2 q}{(q + \lambda\eta_1 T)^2}. \quad (2.1.5)$$

Аз ифодаи (2.1.5) бар меояд, ки шarti $q = -\lambda\eta_1 T$ ҳойи геометрии нуқта дар масири фазавӣ мебошад, ки дар он меёрҳои Коши вайрон шудаанд.

Минбаъд тавсифоти тағйирёбии ҳароратро дар вобастагӣ аз сели гармӣ дида мебароем. Аз муодилаи дифференсиалии (2.1.1) чунин ҳосил мекунем:

$$\frac{dT}{dq} = \frac{q + \lambda\eta_1 T}{-\lambda\varphi(T) + \lambda\eta_2 q} = F_2(q, T). \quad (2.1.6)$$

$$\text{Зимнан, } \frac{dF_2}{dq} = -\frac{\varphi(T) + \lambda\eta_1\eta_2 T}{\lambda(\eta_2 q - \varphi(T))^2}. \text{ Шарти } \varphi(T) = \eta_2 q \text{ ба вайроншавии}$$

меъёри бефосилагӣ оварда мерасонад ва, биноан, барои ин муодила меъёри Коши иҷро намешавад.

Ҳамин тариқ, муодилаҳои (2.1.3) ва (2.1.6) аз нӯқтаҳои назари мухталиф натаҷаҳои мухталифро медиҳанд. Ин натиҷаҳо зинҳор муҳолифи яқдигар нестанд, чун меъёрҳои Коши худ танҳо басандаанд, вале на зарурӣ барои ягона будан. Бинобар ин, метавон тасдиқ кард, ки аз ҳар нуқтаи ҳамвории фазавӣ як ва танҳо як қачии интегралӣ мегузарад, ба истиснои, шояд, нуқтаҳое, ки дар онҳо дар як замон шароити зерин иҷро мешаванд:

$$q = -\lambda\eta_1 T \text{ и } \varphi(T) = \eta_2 q.$$

Акнун қачиҳои (q, T) -ро дар ҳамвории фазавие меомӯзем, ки дар он расандаҳо ба масирҳои фазавӣ ҳамон як моилӣ доранд. Агар системаи динамикӣ бо муодилаи (2.1.3) шарҳ дода шавад, он гоҳ расандаҳо ба масирҳои фазавӣ бо ифодаи зерин муайян мешаванд:

$$\frac{\lambda(\eta_2 q - \varphi(T))}{q + \lambda\eta_1 T} = k, \quad (2.1.7)$$

ин ҷо k зариби гармоинтиқол мебошад $\left(\frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right)$.

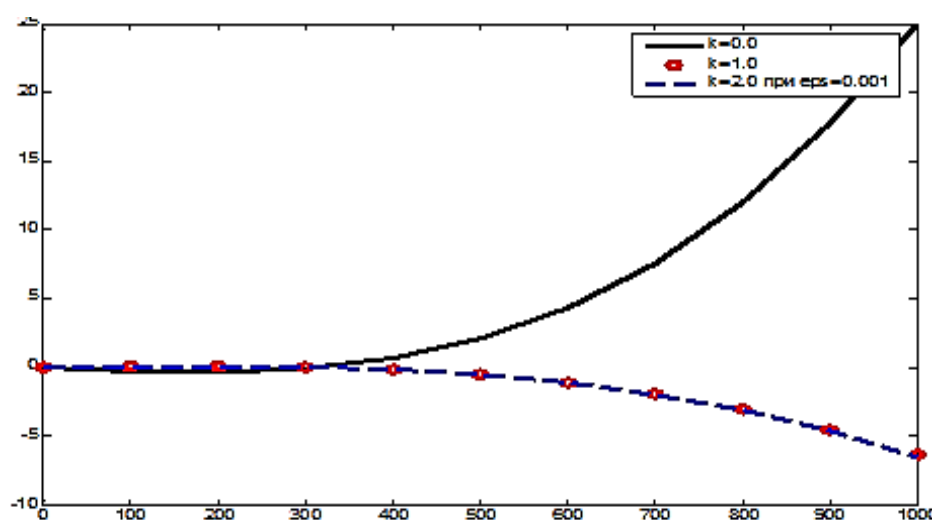
Ба k қиматҳои гуногун дода истода, оилаи расандаҳоро ба масири фазавӣ ҳосил мекунем. Дар ҳамвории фазавӣ адади муайяни расандаҳоро месозем, ки барои сохтани масири фазавӣ заруранд. Чӣ қадаре ки расандаҳо ба ҳам наздик ҷойгир шаванд, масири фазавӣ ҳамон қадар дақиқтар гузаронида шуда метавонад.

Муодилаи расанда ба масири фазавиро метавон аз ифодаи (2.1.7) чунин ҳосил кард:

$$q = \frac{\lambda(\eta_1 k T + \varphi(T))}{\lambda\eta_2 - k}, \text{ при } \lambda\eta_2 \neq k. \quad (2.1.8)$$

Барои шарҳи аёнии натиҷаҳои ҳосилшаванда бо истифода аз (2.1.8) ҳисоби ададии вобастагии зичии сели гармиро аз ҳарорат мегузаронем. Барои ин функсияи $\varphi(T)$, ба намуди $\varphi(T) = \alpha_1 T - \alpha_2 T^3$ қабул мекунем, ки ин ҷо α_1 , α_2 - зарбҳои мутаносибианд. Қиматҳои α_1 ва α_2 , λ ва x аз корҳои [115, 116] гирифта шудаанд.

Натиҷаҳои ҳисоби ададӣ барои қиматҳои гуногуни адади k дар расми 2.1. оварда шудаанд.



Расми 2.1. Вобастагии ҳароратии маҷрои гармӣ дар мавриди моҳиятҳои гуноггунии адади k

Ҳисобҳо нишон медиҳанд, ки агар $q > \frac{1}{\eta_2} \varphi(T)$ ($q > -\lambda \eta_1 T$) бошад, ҳолати статсионарӣ ҳангоми гармкунии модда ҳосил шуда наметавонад, чунки хориҷшавии гармӣ бинобар ғайриҳақиқӣ будани функсияи $\varphi(T)$ ғайриимкон аст.

Ҳангоми $q = \frac{1}{\eta_2} \varphi(T)$ ($q = -\lambda \eta_1 T$) будан танҳо як ҳолати статсионарии $T = -\frac{1}{\lambda \eta_1 \eta_2} \varphi(T)$ ҷой дорад. Ин ҳолати статсионарии майдони мунтазами ҳароратии массаи реаксияшаванда ҳангоми гармшавӣ аст. Дар система ду речаи статсионарӣ ё ду шохҳои ҳолатҳои статсионарӣ мавҷуд буда метавонанд,

агар $q < \frac{1}{\eta_2} \varphi(T)$ бошад, ки ин чо $T = -\frac{1}{\lambda \eta_1} q$ и $T = \eta_2 \varphi\left(-\frac{q}{\lambda \eta_1}\right)$ мебошанд. Зимнан ҳолати статсионарӣ бо роҳи худдаргирӣ дар система ҳангоми гармшавӣ ба даст меояд.

Шохаҳои ҳолатҳои статсионарии $T_1 = -\frac{q}{\lambda \eta_1}$ ва $T_2 = \eta_2 \varphi\left(-\frac{q}{\lambda \eta_1}\right)$ аз ҳамдигар бо тавсифи устуворият фарқ мекунанд. Дар ҳақиқат, дар мисоли додашуда ҳосилаи тарафи рости (2.1.3) ба $\frac{-\lambda \varphi'(T)(q + \lambda \eta_1 T) + \lambda^2 \eta_1 \varphi(T) - \lambda^2 \eta_1 \eta_2 q}{(q + \lambda \eta_1 T)^2}$ баробар аст.

Барои шоҳаи $q_1 = -\lambda \eta_1 T_1 \frac{\varphi(T_1)}{T_1} > \lambda^3 \eta_1^2 \eta_2$, барои шоҳаи $q_2 = \frac{1}{\eta_2} \varphi(T_2) \frac{\varphi(T_2)}{T_2} < -\lambda \eta_1 \eta_2$.

Дар ҳақиқат, ҳангоми иҷрошавии ин шароит ҳолати статсионарии сели гармии $q(T)$ ҳар дафъа бо тағйирёбии ҳарорат $T(q)$ ба зудӣ барқарор мешавад.

Акнун шартӣ бўҳрониро барои ҳарорати сӯзиши муҳит меёбем. Барои ин қимати q -ро ба намуди (2.1.8) ба муодилаи дуҷуми системаи (2.1.1) гузошта, ҳосил мекунем:

$$\frac{T}{\varphi(T)} = \frac{k\eta_2(2\lambda + 1) + k^2 - \lambda\eta_2^2 - \lambda\eta_1(k + \mu(\mu - 1)(x + \varepsilon)^{\mu-2}) - \lambda\varphi'(T)}{k\eta_2(\eta_1 + \eta_2) + k\eta_1\mu(\mu - 1)(x + \varepsilon)^{\mu-2} + \eta_2\varphi'(T)}. \quad (2.1.9)$$

Тарафи чапи ифодаи (2.1.9)-ро бо

$$\varphi_1(T) = \frac{T}{\varphi(T)}$$

ифода мекунем, тарафи рости онро бошад бо

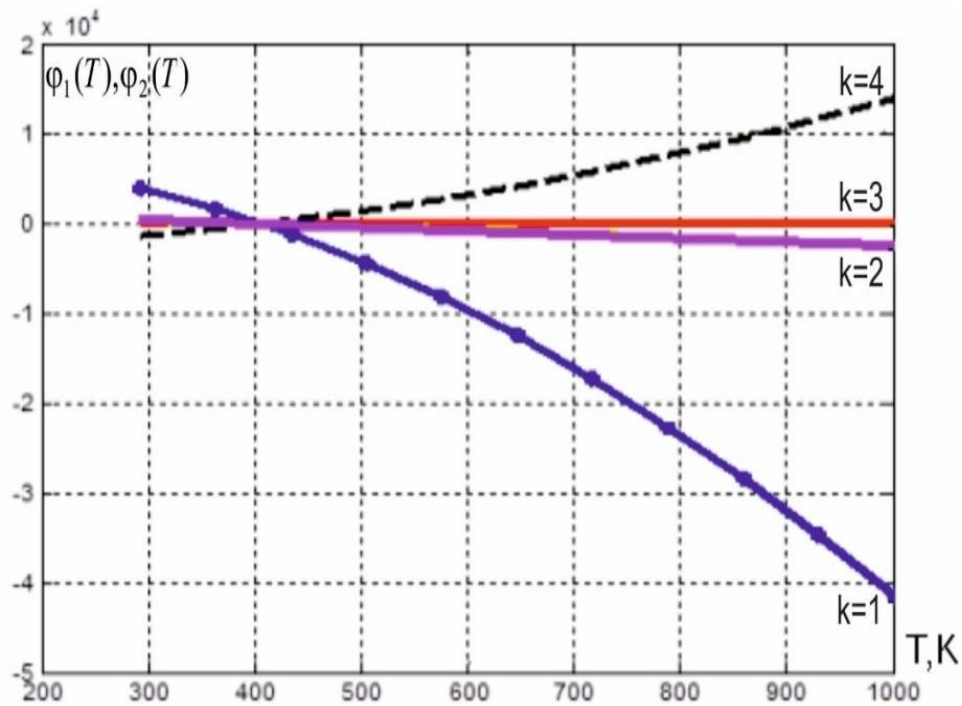
$$\varphi_2(T) = \frac{k\eta_2(2\lambda + 1) + k^2 - \lambda\eta_2^2 - \lambda\eta_1(k + \mu(\mu - 1)(x + \varepsilon)^{\mu-2}) - \lambda\varphi'(T)}{k\eta_2(\eta_1 + \eta_2) + k\eta_1\mu(\mu - 1)(x + \varepsilon)^{\mu-2} + \eta_2\varphi'(T)}.$$

Аз шартӣ расиши ҳар ду қачӣ дар ҳарорати T^* (ҳарорати нуқтаи маҳсус) баробарии ҳуди функцияҳо ва ҳосилаҳои якумашон бармеояд.

Ин шартҳои дар ифодаи (2.1.9) истифода бурда, шартӣ мураккаби ҳарорати сӯзиш ё таркишро муайян менамоем. Натиҷаи ададии вобастагии функсияи $\varphi_1(T)$ и $\varphi_2(T)$ аз тағйирёбии ҳарорат дар расми 2.2 нишон дода

шудааст. Дар мавриди гузаронидани ҳисоби ададӣ маълумотҳои таҳқиқоти [115, 116] истифода гардидааст. Дар таҳқиқоти [115] барои таҳқиқи ҳалли масъалаҳои сӯзиш андозаҳо муҳити алоҳида, махсусан, дарахт: $\lambda = 0,2 \frac{Bm}{m \cdot K}$;

$$\alpha_1 = 2500 \frac{Bm}{m^3 \cdot K}; \alpha_2 = 0,005 \frac{Bm}{m^3 \cdot K^3}; x = 0,021 \text{ м. гирифта шудааст.}$$



Расми 2.2. Вобастагии функсияи $\varphi_1(T)$ и $\varphi_2(T)$ аз тағйирёбии ҳарорат T : қачии 1; 2; 4 вобастагии функсияи $\varphi_2(T)$ аз T дар мавриди ифодаи ададҳои гуногун $k = -1; 0; 1$ нишон медиҳад; қачии 3 вобастагии $\varphi_1(T)$ аз ҳарорат T нишон медиҳад.

Аз расми 2.2 мебинем, ки дар нуқтаи $T^* = 400K$ қачиҳои $\varphi_1(T)$ ва $\varphi_2(T)$ ҳамдигарро мебурранд, биноан нуқтаи бурриши қачиҳо нуқтаи $(0, 400)$ аст. Функсияи $\varphi_1(T)$, функсияи манбаъ мебошад, ки дар ҳароратҳои нисбатан паст ҳаттӣ кам мешавад ва дар ҳарорати сӯзиши тахминан 400 K бо функсияи $\varphi_2(T)$, во меҳӯрад ва бо афзоиши минбаъдаи ҳарорат бетағйир мемонад.

Функсияи $\varphi_2(T)$, барои қиматҳои гуногуни адади k ҷе меафзояд ҷе поин меравад. Агар функсияи $\varphi_2(T)$, афзояд, дар муҳити сӯзанда тарқиш ба амал

омада метавонад, агар паст равад, хомӯшшавии сӯзиш ба амал омада метавонад.

2.2. Амсилаи тақсимои статсионарии гармӣ дар манбаъҳои дарунӣ

Усули босамари ҳалли масъалаҳои гармоинтиқол ҳар ҳолати гармшавии ғайрихаттии муҳити конденсӣ усули ба истифодаи баъзе параметрҳои математикии санҷишӣ (танзимкунӣ, релаксатсияи сели гармӣ) асосёфта мебошад [169, 170, А-1 - А-4].

Муҳити конденсиеро дида мебароем, ки барояш дар сатҳи $x = x_0 = 0$ қиматҳои нолии ҳарорат ва зичии сели гармӣ дода шудаанд, дар сатҳи $x = x_n = h$ бошад суръатҳои паҳншавии ҳарорат ва зичии сели гармӣ дода шудаанд. Раванди паҳншавии гармиро ба самти мусбати муҳити конденсӣ бо (q, T) ишора мекунем, чун параметрҳои сатҳ яхелаанд. Аз ин рӯ шартҳои сарҳадиро барои ҳарорат ва зичии сели гармӣ метавонем ба намуди зерин нависем:

$$\begin{aligned} \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} &= 0 \quad \text{у} \quad q|_{x=0} = 0; \\ -\lambda \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=h} &= \alpha(T_1 - T_2) \quad \text{у} \quad q|_{x=h} = \alpha(T_1 - T_2), \end{aligned} \quad (2.2.1)$$

ки ин ҷо T_1 ва T_2 -мутобиқан, ҳарорат дар аввал ва охири намуна, α бошад зариби гармидихӣ $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \right)$, h – дарозии намуна (м.) мебошанд.

Амсилаи математикии шарҳи ҳодисаи интиқоли гармӣ барои муайянкунии ҳарорати статсионарии муҳити конденсӣ дар тарҳ бо манбаъи ғайрихаттии гармӣ бо назардошти (2.1.1) дар ин ҳодат намуди ифодаи (2.1.1)-ро мегирад.

Ҳолатҳои мувозинатӣ ва устуворияти системаро дида мебароем. Тарафҳои чапи муодилаҳои (2.1.1)-ро ба нол баробар карда, системаи (2.1.2)-ро ҳосил мекунем. Ҳалли системаи (2.1.1) имкон медиҳад, ки нуқтаи махсусро дар ҳамвории фазавии (T, q) ёбем. Вобаста ба қимати $\varphi(T)$ дар ин ҳолат низ

шумораи беохир калони ҳолатҳои мувозинатро ҳосил кардан мумкин аст, ба ибораи дигар, муодилаҳои (2.1.2) метавонанд маҷмӯи беохир калони ҳалҳоро дошта бошанд, ки метавонанд устувор ё ноустувор бошанд.

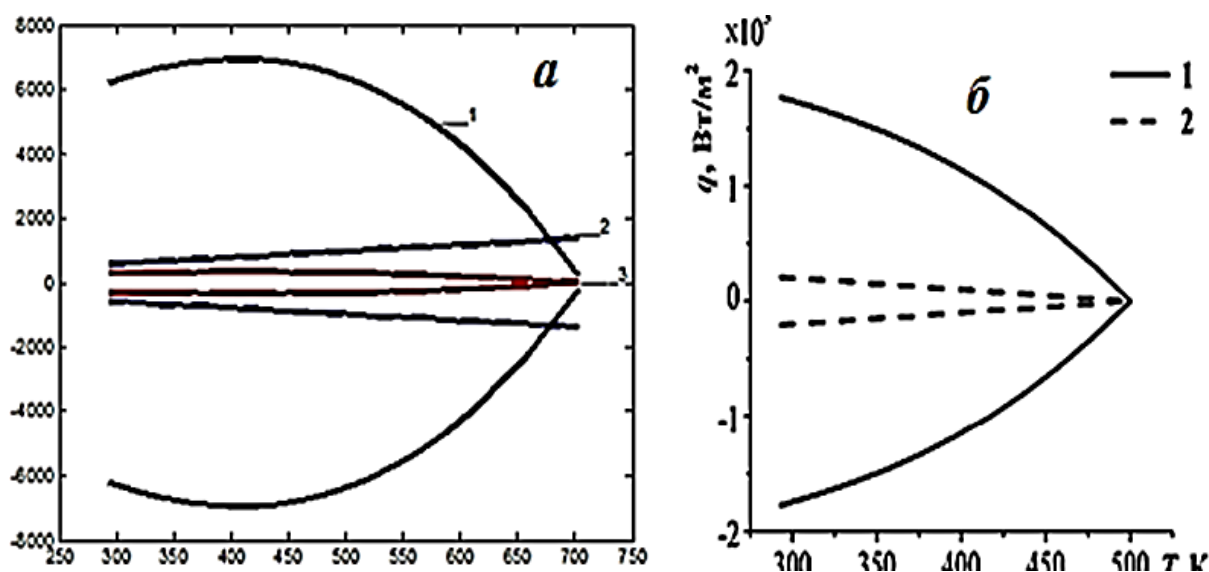
Ҳамин тариқ, ҳолати мувозинатӣ нуқтаи махсусест, ки дар он зичии сели гармӣ бо сели энергия баробар мешавад, яъне

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

Барои шарҳи аёни натиҷаҳои ба дастмада бо истифода аз ифодаи (2.1.8) ҳисоби ададии вобастагии зичии сели гармиро аз ҳарорат анҷом медиҳем. Барои ин функсияи $\varphi(T)$ -ро ба намуди $\varphi(T) = \alpha_1 T - \alpha_2 T^3$ қабул мекунем. Бузургҳои α_1 , α_2 , λ , x аз қорҳои [115, 116] гирифта шудаанд.

Алгоритми ҳалли масъаларо дар ҳамвории фазавии (T, q) месозем, ки рафтори ҳалли масъалаи канорино муайян мекунад. Ҳароратро дода истода, муодилаи (2.1.3)-ро нисбат ба тағйирёбандаи q ҳал мекунем ва дар натиҷа координатаҳои шохаҳои суперактриссаро ҳосил мекунем.

Дар расми 2.3 тасвирҳои ҳалҳои масъалаҳои ғайрихаттӣ дар ҳамвории (T, q) оварда шудаанд. Таҳлили натиҷаҳо (расми 2.3 а) нишон медиҳад, ки ғайрихаттияти манбаи гармӣ ба афзоиши сели гармӣ дар ҳамвории фазавӣ то ба як тартиб дар тамоми фосилаи ҳарорат (аз 293 К то 700 К) оварда мерасонад [166, А-4].



Расми 2.3. Вобастагии маҷмӯи гармии ҳарорат дар сатҳи фазавӣ

$(\eta_1 + \eta_2 = 0; 1; 2)$. ***a***: қачин 1-сепаратрисҳо $q(T)$ аз T ; 2- шартҳои ҳудудӣ; 3- муқодилаи гармӣ бо дарназардошти манбаъ; ***б***- натиҷаи қорҳо [115].

Дар ҳамвории фазавии (T, q) тақсимои ҳарорат дар муҳит худ порчаи хурди хати рости вертикалиро менамояд, ки дар наздикии тири абсисса ҷой гирифтааст. Ҳалли адабии масъалаи тақсимои ҳарорат дар муҳит [115] имконият медиҳад, ки градиенти ҳарорат дар парда ҳисоб карда шавад. Он тахминан ба $10^3 \text{ K} / \text{м}$ баробар аст (ниг. ба расми 2.3 б). Амалан ҳалли масъала дар ҳамвории (T, q) худ хати вертикалиро медиҳад, ки аз нуқтаи дар миёни нуқтаҳои 300 K ва 350 K абсисса меҳабд.

Ҳамин тариқ, дар ҳамвории фазавии (T, q) танҳо як ҳолати статсионарии $T = -\frac{1}{\eta_1 k} \varphi(T)$ -ро дорем. Ин ҳолати статсионарии майдони ҳароратии мунтазами массаи реаксияшаванда дар рафти гармшавии модда мебошад.

2.3. Тасвири амсилавии паҳншавии статсионарии гармӣ дар муҳити ҳамвор

Ба сифати муҳити сатҳӣ, ки дар он паҳншавии гармӣ ба амал меояд, сатҳи фазавии (T, q) истифода менамоем. Чӣ тавре дар зербанди 2.1. ва таҳқиқоти [А-4, А-5] нишон дода шуда буд, дар иҷроиши шарт $\eta_1 + \eta_2 = 0$ зарфе, ки дар он муҳит ҷойгир шудааст, намуди сатҳиро дорад. Дар ин маврид муқодилаи (2.1.1) намуди зеринро қабул менамояд:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} + \frac{T}{x + \varepsilon}, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \frac{q}{x + \varepsilon}, \end{cases} \quad (2.3.1)$$

ε - андозаи танзимкунӣ.

Чуноне ки дар фасли 2.1 нишон дода шуда буд, дар атрофи нуқтаи мувозинатӣ, яъне нуқтаи махсуси $(q(x_*), T(x_*))$, табдилоти фазавӣ ба амал

меояд: сӯзиш дар муҳит ё ба амал меояд ё хомӯш мешавад. Биноан, дар атрофи ин нуқта зарурати идоракунии раванди сӯзиш ба миён меояд.

Параметрҳои сатҳро якхела қабул мекунем, аз ин рӯ паҳншавии гармиро ба самти нимаи мусбати ҳамвории тағйирёбандаҳои (q, T) дида мебароем. Зимнан шартҳои сарҳадӣ барои ҳарорат ва сели гармӣ метавонанд ба намуди (2.1.1) навишта шаванд.

Аз шартҳои сарҳадӣ бармеояд, ки дар нуқтаи $x = 0$ ҳарорати муҳит аз нол фарқ мекунад ва доимӣ аст, бинобар ин $\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0$ мешавад ва сели гармӣ вучуд надорад. Дар нуқтаи $x = h$ тағйирёбии ҳарорат дар вобастагӣ аз координатаи x ба фарқи ҳароратҳо дар нуқтаҳои $x = 0$ ва $x = h$ мутаносиб аст, зичии сели гармӣ Q низ ба фарқи ҳароратҳо дар сарҳадҳои муҳит мутаносиб аст.

Аз мазмуни физикуи масъалаи вогузоршуда бар меояд, ки хосияти ҳал ва шarti мавҷуд будани он танҳо аз андозаҳои x , ε вобастагӣ доранд. Албатта, интизор меравад, ки дар мавриди хурди x ва $\varepsilon \equiv 0$ вақте ки маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ калон аст, ҳалли системаи (2.3.1) мавҷуд аст ва дар мавриди калони x ва $\varepsilon \equiv 0$ ин муодилаҳо ҳалли худро надоранд. Ҳамин тавр, аҳаммияти мураккаби $x_{кр}$ ва $\varepsilon_{кр}$ мавҷуд аст, ки доираи ҷудокунии мавҷуд будан ва набудани ҳалли системаи муодилаи (2.3.1) муайян менамояд. Аҳаммияти мушаххаси $x_{кр}$ ва $\varepsilon_{кр}$ дар натиҷаи ҳалли пурраи системаи (2.3.1) дар мавриди иҷрои шarti (2.2.1) пайдо кардан мумкин аст. Баъдтар, мубодилаи гармӣ байни элементҳои системаи таҳқиқшаванда ва муҳити атроф барои функсияҳои гуногуни (q, T) таҳқиқот карда мешавад.

Фарз кардем, ки мубодилаи гармӣ байни системаи таҳқиқшаванда ва муҳити атроф доимӣ аст, яъне $\varphi(T_0) = \alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3$, дар инҷо T_0 аҳаммияти ҳарорат дар нуқтаи $x = 0$ аст. Дар ин маврид, ҳалли системаи муодилаи (2.3.1)-ро дар намуди:

$$\begin{aligned} T(x, \varepsilon) &= T_{11}(x, \varepsilon) + \omega_1 T_{22}(x, \varepsilon), \\ q(x, \varepsilon) &= q_1(x, \varepsilon) + \omega_2 q_2(x, \varepsilon), \end{aligned} \quad (2.3.2)$$

ин чо ω_1 и ω_2 -доимиҳои номаълум, ки бояд ёфта шаванд. Бинобар ин, системаи муодилаҳои (2.3.1) ба ду системаи мустақили муодилаҳои зерин тақсим мешавад:

$$\begin{cases} \frac{dT_{11}}{dx} = -\frac{q_1}{\lambda} + \frac{T_{11}}{x + \varepsilon}, \\ \frac{dq_1}{dx} = \varphi(T_0) - \frac{q_1}{x + \varepsilon}, \end{cases} \quad (2.3.3)$$

$$\begin{cases} \frac{dT_{22}}{dx} = -\frac{q_2}{\lambda} + \frac{T_{22}}{x + \varepsilon}, \\ \frac{dq_2}{dx} = -\frac{q_2}{x + \varepsilon}, \end{cases} \quad (2.3.4)$$

Он гоҳ шартҳои сарҳадии (2.2.1) дар ин системаҳо шакли зеринро мегиранд:

$$\left. \frac{dT_{11}}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad \text{и} \quad q_1|_{x=0} = 0, \quad (2.3.5)$$

$$-\lambda \left. \frac{dT_{22}}{dx} \right|_{x=h} = \alpha(T_1 - T_2) \quad \text{и} \quad q_2|_{x=h} = \alpha(T_1 - T_2). \quad (2.3.6)$$

Мутобиқ ба фасли 2.1, ҳалли системаи (2.3.3)-ро ҳангоми иҷрошавии шартҳои (2.3.5) меёбем. Дар асоси формулаи (2.1.8) зичии сели гармӣ q_1 бо ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$q_1(x, \varepsilon) = \frac{\lambda(x + \varepsilon)(\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3) - \lambda k T}{\lambda - k(x + \varepsilon)} \quad (2.3.7)$$

Ифодаи (2.3.7)-ро дар системаи муодилаи якум гузорем, барои ифодаи ҳарорати T_{11} ифода меёбем:

$$T_{11}(x, \varepsilon) = -(\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3) \frac{(x + \varepsilon)^2}{\lambda - k(x + \varepsilon)} + A \frac{x + \varepsilon}{\lambda - k(x + \varepsilon)}. \quad (2.3.8)$$

Акнун, ифодаи (2.3.8)-ро ба ифодаи (2.3.7) гузошта, ифодаи умумии маҷрои гармиро муайян менамоем:

$$q_1(x, \varepsilon) = \frac{\lambda^2(x + \varepsilon)}{[\lambda - k(x + \varepsilon)]^2} (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3) - A \frac{\lambda k(x + \varepsilon)}{[\lambda - k(x + \varepsilon)]^2}. \quad (2.3.9)$$

Дар ифодаҳои (2.3.8) ва (2.3.9) A ва k интегралҳои номуайяни доимие мавҷуд аст, ки аз рӯйи ҳудудҳои шартии (2.3.5) муайян карда мешавад.

Ифодаи (2.3.8)-ро ба $(x + \varepsilon)$ ҷудо намуда, ифодаи (2.3.9)-ро ба $-\lambda^{-1}$ зарб мезанем. Баъдан, аҳаммияти зичии маҷрои гармии ҳосилшударо ва ҳарорати T_{11} байни ҳам якҷоя мекунем. Дар натиҷа ҳосил мекунем:

$$\frac{dT}{dx} = (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3) \frac{k(x + \varepsilon)^2}{[\lambda - k(x + \varepsilon)]^2} + A \frac{\lambda - 2k(x + \varepsilon)}{[\lambda - k(x + \varepsilon)]^2}. \quad (2.3.10)$$

Шарти (2.3.5)-ро бо ифодаи (2.3.10) истифода намуда, қимати A -ро дар нуқтаи $x = 0$ муайян мекунем:

$$A = \frac{k\varepsilon^2}{2k\varepsilon - \lambda} (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3). \quad (2.3.11)$$

Баъдан, қимати A -ро ба ифодаи (2.3.9) гузошта, қимати k дар нуқтаи $x = 0$ муайян мекунем: $k = \lambda$. (2.3.12)

Бо назардошти ин қимати k доимии интегралӣ сода мегардад ва шакли зеринро мегирад:

$$A = \frac{\varepsilon}{2\varepsilon - 1} (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3)$$

Акнун, қиматҳои пайдошудаи A ва k -ро дар ифодаи (2.3.8) ва (2.3.9) гузошта, ҳалли системаи муодилаи (2.3.3.)-ро дар намуди

$$\begin{aligned} T_{11}(x, \varepsilon) &= \frac{x + \varepsilon}{\lambda(1 - x - \varepsilon)} (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3) \frac{(2\varepsilon - 1)x - 2\varepsilon(\varepsilon - 1)}{2\varepsilon - 1}, \\ q_1(x, \varepsilon) &\equiv \frac{(\varepsilon - 1)(x + \varepsilon)}{(2\varepsilon - 1)(1 - x - \varepsilon)^2} (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3). \end{aligned} \quad (2.3.13)$$

муайян менамоем.

Баъд, бо истифода аз (2.3.13) қимати ҳароратро дар нуқтаи $x = h$ меёбем. Барои ин аз (2.3.13) дифференциал аз рӯи x мегирем ва ҳосил мекунем:

$$-\lambda \frac{dT_{11}}{dx} = \frac{\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3}{2\varepsilon - 1} \cdot \frac{(\varepsilon - 2x(2\varepsilon - 1))(1 - x - \varepsilon) + (x + \varepsilon)^2(2\varepsilon - 1)}{(1 - x - \varepsilon)^2}. \quad (2.3.14)$$

Ифодаи (2.3.14) қимати ҳарорати T_{11} -ро дар нуқтаи $x = h$ муайян мекунад. Аз тарафи дигар, мутобиқ ба шартҳои сарҳадии (2.2.1)

$$-\lambda \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=h} = \alpha(T_1 - T_2)$$

Аз баробарии тарафҳои чапи ин ифодаҳо баробарии зеринро ҳосил мекунем:

$$T_2 = T_1 - \frac{\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3}{\alpha(2\varepsilon - 1)} \left[\frac{\varepsilon - 2h(2\varepsilon - 1)}{1 - h - \varepsilon} + \frac{(h + \varepsilon)^2(2\varepsilon - 1)}{(1 - h - \varepsilon)^2} \right]. \quad (2.3.15)$$

Аз ифодаҳои ҳосилшуда қимати ҳароратро T_1 -ро дар нуқтаи $x = 0$ муайян мекунем: $T_1 = T_2 + \frac{\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3}{\alpha(2\varepsilon - 1)} \left[\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} + \frac{\varepsilon^2(2\varepsilon - 1)}{(1 - \varepsilon)^2} \right]$.

Агар дар нуқтаи $x = 0$ қимати ҳарорати T_1 баробар T_0 бошад, пас аз ифодаи охирин дар нуқтаи $x = h$ таносуби зеринро муайян кардан мумкин аст.

$$\frac{T_2}{T_0} : \frac{T_2}{T_0} = 1 - \frac{\alpha_1 - \alpha_2 T_0^2}{\alpha(2\varepsilon - 1)} \left[\frac{\varepsilon - 2h(2\varepsilon - 1)}{1 - h - \varepsilon} + \frac{(h + \varepsilon)^2(2\varepsilon - 1)}{(1 - h - \varepsilon)^2} \right].$$

Айнан ҳамин тавр ҳалҳо барои системаи муодилаҳои (2.3.4) дар сурати иҷрошавии шартҳои (2.3.6) ёфта шуда метавонанд. Ба сифати адади ихтиёрии k ифодаи намуди (2.3.12)-ро қабул мекунем. Он гоҳ ҳалҳои умумии системаҳои муодилаҳои (2.3.4)-ро бо назардошти (2.3.12) чунин намуд мегиранд:

$$\begin{aligned} T_{22}(x, \varepsilon) &= \frac{B}{\lambda} + B_1(x + \varepsilon), \\ q_2(x, \varepsilon) &= -\frac{B}{x + \varepsilon}. \end{aligned} \quad (2.3.16)$$

Бо назардошти шартҳои сарҳадии (2.3.6) аз ифодаи (2.3.16) қимати доимии интегронири B муайян мекунем:

$$B = (h + \varepsilon)\alpha(T_1 - T_2).$$

Ифодаи (2.3.13) ва (2.3.16) барои муайян кардани бузургҳои номуайяни ω_1 ва ω_2 имкон медиҳад. Барои муайян кардани қимати ω_1 баробарии якуми ифодаи (2.3.13) бо x дифференсатсия мекунем. Баъдан, ифодаи якуми (2.3.16)-ро чудо намуда, ба $(x + \varepsilon)$ тақсим намуда, ифодаи дуум (2.3.16)-ро ба $(-\lambda^{-1})$ зарб мезанем ва ҳосилро якҷоя карда, ҳосили зеринро ба даст меоварем:

$$\frac{dT_{22}}{dx} = -\alpha(T_1 - T_2) = B_1. \quad (2.3.17)$$

Акнун, ифодаи (2.3.17)-ро ба $-\lambda\omega_1$ зарб зада ва бо ифодаи (2.3.14) якҷоя карда барои қимати ω_1 баробарии $-\lambda \frac{dT_{11}}{dx} \Big|_{x=h} - \lambda\omega_1 \frac{dT_{22}}{dx} \Big|_{x=h} = -\lambda \frac{dT}{dx} \Big|_{x=h}$ (2.3.18) ҳосил менамоем.

Барои муайян кардани қимати ω_2 ифодаи дууми (2.3.16)-ро ба ω_2 зарб зада ва бо ифодаи дуум (2.3.13) якҷоя карда, дар натиҷа ин ҳосил мегардад.

$$q_1 \Big|_{x=h} + \omega_2 q_2 \Big|_{x=h} = q \Big|_{x=h}. \quad (2.3.19)$$

Ҳамин тавр, аз ифодаҳои (2.3.18) ва (2.3.19) қимати коэффитсентҳои ω_1 ва ω_2 ёфтан мумкин аст:

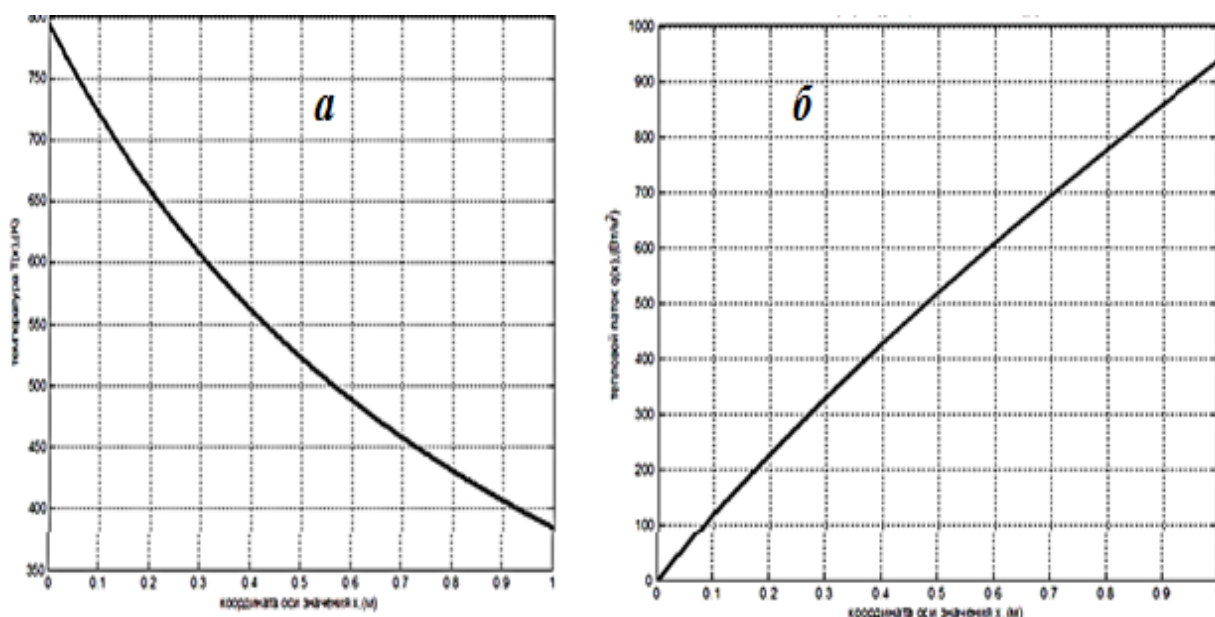
$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{1}{\lambda} - \frac{\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3}{\alpha(T_1 - T_2)(2\varepsilon - 1)} \cdot \frac{(\varepsilon - 2h(2\varepsilon - 1))(1 - h - \varepsilon) - (h - \varepsilon)^2(2\varepsilon - 1)}{(1 - h - \varepsilon)^2}, \\ \omega_2 &= \frac{(\varepsilon - 1)(h + \varepsilon)(\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3)}{(2\varepsilon - 1)(1 - h - \varepsilon)^2 \alpha(T_1 - T_2)} - 1. \end{aligned} \quad (2.3.20)$$

Пасон, қиматҳои функсияҳои $T_{11}(x, \varepsilon)$, $T_{22}(x, \varepsilon)$, $q_1(x, \varepsilon)$ ва $q_2(x, \varepsilon)$ аз (2.3.13) ва (2.3.16), инчунин қиматҳои ω_1 ва ω_2 аз (2.3.20) ба (2.3.2) гузошта истода, ҳалли умумии системаи муодилаҳои (2.3.1) ба намуди зерин ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned}
T(x, \varepsilon) = & \frac{(x + \varepsilon)[(2\varepsilon - 1)x - 2\varepsilon(\varepsilon - 1)]}{\lambda(1 - x - \varepsilon)(2\varepsilon - 1)} (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3) - \\
& - \left[1 - \frac{\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3}{(2\varepsilon - 1)\alpha(T_1 - T_2)} \cdot \frac{(\varepsilon - 2h(2\varepsilon - 1))(1 - h - \varepsilon) - (h - \varepsilon)^2(2\varepsilon - 1)}{(1 - h - \varepsilon)^2} \right] \cdot \\
& \cdot \left(\frac{h + \varepsilon}{\lambda} + (x + \varepsilon) \right) \alpha(T_1 - T_2), \\
q(x, \varepsilon) = & \frac{(\varepsilon - 1)(x + \varepsilon)}{(2\varepsilon - 1)(1 - x - \varepsilon)^2} (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3) + \frac{(\varepsilon - 1)(h + \varepsilon)^2 (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3)}{(2\varepsilon - 1)(1 - h - \varepsilon)^2 (x + \varepsilon)} - \\
& - \frac{h + \varepsilon}{x + \varepsilon} \alpha(T_1 - T_2). \quad (2.3.21)
\end{aligned}$$

Барои муайянкунии тавсифи вобастагии T ва q аз андозаҳои геометрӣ (x) аз параметрҳои муҳити мушаххас, маҳз чуб истифода мекунем. Қабул мекунем, ки $\varphi(T) = \alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3$, ки ин ҷо $\alpha_1 = 2500 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$ (зариби тавоноии манбаъи хаттӣ, $\alpha_2 = 0,005 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}^3}$ (зариби тавоноии манбаъи ғайрихаттӣ), $\alpha = 5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ (зариби гармидиҳӣ), $\lambda = 0,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ (зариби гармигузаронӣ), $h = 0 \div 1$ (дарозии намуна), ҳарорати ибтидоӣ $T_1 = 505,1 \text{ К}$ [115, 116].

Дар расми 2.4 натиҷаи ҳисобҳои адабии вобастагҳои сели гармӣ ва ҳарорат аз андозаҳои хаттии муҳит оварда шудаанд, ки дар асоси ифодаи (2.3.21) ҳосил карда шудаанд.



Расми 2.4. Вобастагии ҳарорат T (а) ва зичии маҷрои гармӣ (q) аз намунаи ҳаҷми хаттӣ

Тавре аз расми 2.4 б мебинем, бо афзудани андозаи хаттии намуна зичии сели гармӣ қариб хаттӣ меафзояд, аз раси 2.4 а бошад мебинем, ки бо афзоиши андозаи хаттии намуна ҳарорати он ғайрихаттӣ паст мешавад.

Дар раванди гармомубодила вобастагии зичии сели гармиро аз ҳарорат дар муҳити ҳамвор метавон ба намуди системаи зерини муодилаҳо шарҳ дод [166, А-6]:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} + \frac{1}{x + \varepsilon} T, \\ \frac{dq}{dx} = \alpha_1 T - \alpha_2 T^3 - \frac{1}{x + \varepsilon} q. \end{cases} \quad (2.3.22)$$

ки ин ҷо $T = T(x)$ – ҳарорат дар нуқтаи x , (K), $q = q(x)$ – зичии сели гармӣ дар нуқтаи x ($\text{Вт}/\text{м}^2$); λ – зариби гармигузаронӣ ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$); x – координата қад-қади тири Ox .

Муодилаи дуҷумро ба якҷум ҷудо намоем, ҳосил мекунем:

$$\frac{dq}{dT} = \frac{\lambda(x + \varepsilon)(\alpha_1 T - \alpha_2 T^3) - \lambda q}{\lambda T - (x + \varepsilon)q}. \quad (2.3.23)$$

Барои муайякунии шароити бӯҳронӣ тарафи рост муодилаи (2.3.23)-ро бо воситаи функсияи

$$F(q, T) = \frac{\lambda(x + \varepsilon)(\alpha_1 T - \alpha_2 T^3) - \lambda q}{\lambda T - (x + \varepsilon)q}$$

ифода мекунем ва ҳосилаи онро аз рӯи q ба нол баробар мекунем:

$$\frac{\partial F}{\partial q} = \frac{\lambda^2 T + \lambda(x + \varepsilon)^2(\alpha_1 T - \alpha_2 T^3) - 2\lambda(x + \varepsilon)q}{[\lambda T - (x + \varepsilon)q]^2} = 0. \quad (2.3.24)$$

Аз ин ҷо бармеояд, ки ҳангоми $\frac{(x + \varepsilon)q}{\lambda} \neq T$ будан баробарии

$$\lambda T + (x + \varepsilon)^2(\alpha_1 T - \alpha_2 T^3) = 2(x + \varepsilon)q,$$

ичро мешавад, дар акси ҳол шарт (2.3.24) иҷро намешавад. Бинобар ин барои муайянкунии функцияи сели гармӣ фарз мекунем, ки $\frac{dq}{dT} = k$ аст, ки ин ҷо k – адади ихтиёрӣ аст. Он гоҳ аз баробарии (2.3.23) зичии сели гармиро муайян мекунем:

$$q = \frac{\lambda(x + \varepsilon)(\alpha_1 T - \alpha_2 T^3) - \lambda k T}{\lambda - k(x + \varepsilon)}. \quad (2.3.25)$$

Ин қимати селро ба муодилаи дуҷуми системаи (2.3.25) гузошта истода, ҳароратро меёбем:

$$T = \pm \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{\lambda^2 k}{\alpha_2(x + \varepsilon)[\lambda(2\lambda - 1) + k(1 - \lambda)(x + \varepsilon)]}}. \quad (2.3.26)$$

Пасон, қимати ҳароратро аз (2.3.26) ба (2.3.25) гузошта истода, ифодаи ниҳоиро барои сели гармӣ меёбем:

$$q(x, \varepsilon) = \pm \frac{\lambda^3 k}{(\lambda - k(x + \varepsilon))[\lambda(2\lambda - 1) + k(1 - \lambda)(x + \varepsilon)]} \cdot \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{k\lambda^2}{\alpha_2(x + \varepsilon)[\lambda(2\lambda - 1) + k(1 - \lambda)(x + \varepsilon)]}}. \quad (2.3.27)$$

Акнун аз ифодаҳои (2.3.26) ва (2.3.27) қиматҳои α_1 ва α_2 меёбем. Қайд мекунем, ки қиматҳои α_1 ва α_2 аз шарти расиши қачиҳои (2.3.26) ва (2.3.27), яъне шарт

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

муайян карда мешаванд. Яъне, ин нукта соҳаи паҳншавии ҳарорат ва сели гармиро ба ду соҳа тақсим мекунад: $T < T^*$, $q < q^*$ ва $T > T^*$, $q > q^*$. Дар нуктаи (x^*, T^*) , яъне дар нуктаи буриши қачиҳо, шартҳои зерин иҷро мешаванд:

$$-\lambda \left. \frac{dT(x)}{dx} \right|_{x=x^*} = q(x^*), \quad \left. \frac{d}{dx} \left(-\lambda \frac{dT(x)}{dx} \right) \right|_{x=x^*} = \left. \frac{dq}{dx} \right|_{x=x^*}. \quad (2.3.28)$$

Ин шартҳо имконияти муайянкунии қиматҳои α_1 ва α_2 дар нуктаи буриши қачиҳо фароҳам меорад.

Аз муодилаи аввалини (2.2.28) бар меояд, ки

$$\alpha_1 = \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right). \quad (2.3.29)$$

Қимати ёфтаи α_1 ба намуди ифодаи (2.3.29) ба ифодаҳои (2.3.26) ва (2.3.27) гузошта, шартҳои дуҷуми (2.3.28) ба назар гирифта, α_2 -ро меёбем:

$$\alpha_2 = \frac{1}{2T^{*2}} \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \left(\sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right). \quad (2.3.30)$$

Баъд, қиматҳои ёфтаи α_1 ва α_2 ба ифодаҳои (2.3.26) ва (2.3.27) гузошта, ҳарорат ва сели гармиро меёбем.

Бо истифода аз ифодаҳои (2.3.29) ва (2.3.30) ҳисоби ададии вобастагии зарибҳои мутаносибиро аз нуктаҳои координатаҳои тири Ox ва параметри хурд мегузаронем. Зимнан қимати $\lambda = 0,2$ Вт/(м·К) қабул мекунем.

Дар ҷадвали 2.1 вобастагиҳои зарибҳои α_1 ва α_2 аз нуктаҳои координатаҳои тири Ox оварда шудаанд, ки барояшон қиёси ҳисобҳои ададии сели гармӣ ва ҳароратро низ гузаронидам мумкин аст.

Мисол, нуқтаи $x=0,03$ нуқтаи ҳақиқии формулаи (2.1.9) мебошад, дар ин сурат, дар ин нуқтаи ҳарорат

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

ба аҳаммияти зерин мерасад.

Барои шарҳи натиҷаҳо бо истифода аз (2.3.26) ва (2.3.27)) ҳисоби ададии вобастагии зичии сели гармиро аз ҳарорат мегузаронем. Барои ин аввал функсияи $\varphi(T)$ -ро ба намуди

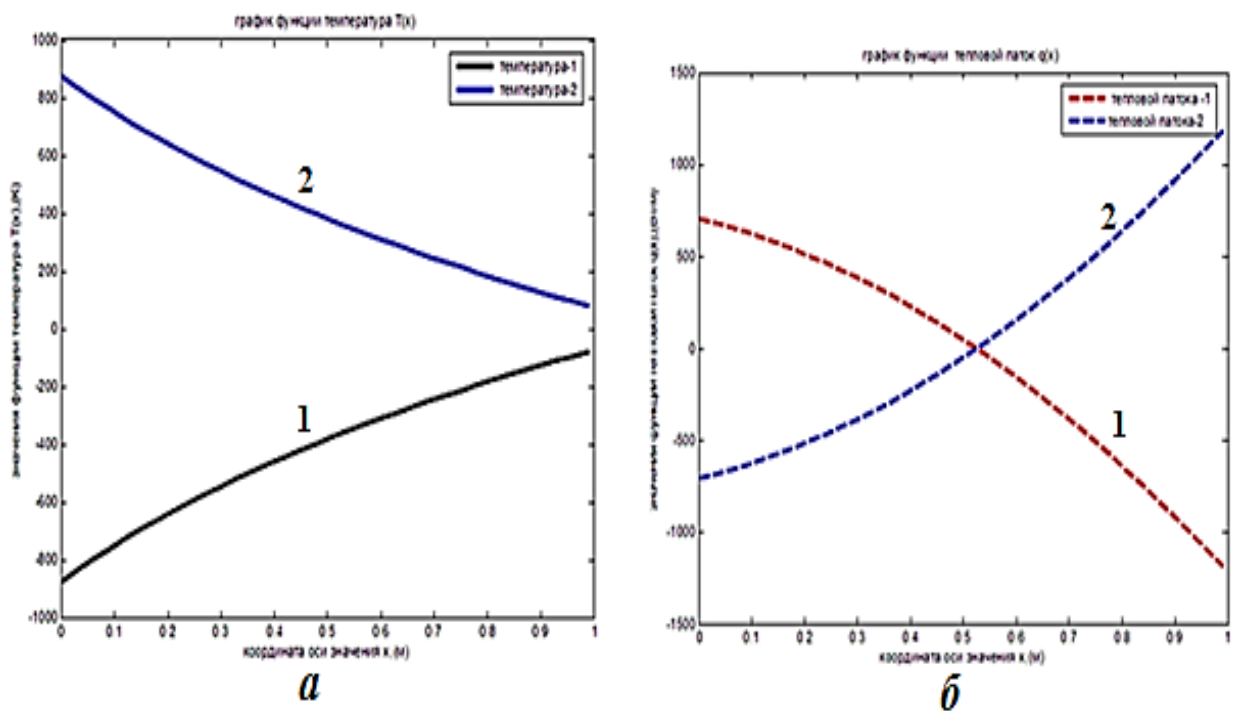
$$\varphi(T) = \alpha_1 T - \alpha_2 T^3,$$

қабул мекунем, ки ин ҷо $\alpha_1 = 287,5893 \text{ Вт} / (\text{м}^3 \cdot \text{К})$, $\alpha_2 = 0,0014 \text{ Вт} / (\text{м}^3 \cdot \text{К}^3)$ -зарибҳои мутаносибӣ, $\lambda = 0,2 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ [116], $x = 0,03 \text{ м}$. Натиҷаҳои ҳисобҳо барои қимати адади $k = \lambda$ дар расми 2.5 оварда шуданд.

Ҷадвали 2.1. – Вобастагии коэффитсенти таносуби α_1 ва α_2 аз нуқтаи

координати тири Ox

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



Расми 2.5. Вобастагии ҳарорат (а) ва зичии маҷрои гармӣ (б) аз ҳаҷми ҳаттии намуна

Чи тавре ки аз расмҳо мебинем, бо афзудани андозаҳои ҳаттӣ x афтиш $-2 + T(x, \varepsilon)$ ва афзоиши $-1 - T(x, \varepsilon)$. Ғайриҳаттии ҳарорат ба амал меояд. Зимнан рафтори акси зичии сели гармӣ, яъне афзоиши $-2 (+ q(x, \varepsilon))$ ва афтиши $-1 (- q(x, \varepsilon))$.

2.4. Таҳқиқи амсилавии паҳншавии статсионарии гармӣ дар муҳити цилиндршакл

Муҳитеро дида мебароем, ки дар он аз рӯи тағйирёбандаҳои силиндрӣ (T, q) раванди концентратсияи моддаи реакцияшаванда ба амал меояд. Масъалаи тасвири амсилавии гармомубодила дар муҳити статсионарии цилиндрӣ аз рӯи тағйирёбандаҳои q ва T бо ёрии системаи зерини муодилаҳо ба амал оварда мешавад [А-1, А-6]:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda}, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \frac{q}{x + \varepsilon}, \end{cases} \quad (2.4.1)$$

ки ин чо ε - параметри хурд ($0 \leq \varepsilon \ll 1$).

Дар корҳои [А-7, А-8] дар атрофи нуқтаи мувозинат, яъне нуқтаи махсуси $(q(x_*), T(x_*))$ табдилоти фазавӣ ба амал меоянд, ё дар муҳит сӯзиш ба амал меояд, ё сӯзиш хомӯш мешавад. Биноан дар атрофи ин нуқта зарурати идоракунии раванди сӯзиш ба миён меояд.

Раванди паҳншавии гармиро ба самти нимаи мусбати тағйирёбандаҳои (q, T) дида мебароем, чун параметрҳои сатҳ якхелаанд. Бинобар ин шартҳои сарҳадиро барои ҳарорат ва зичии сели гармӣ метавонем ба намуди (2.2.1) нависем.

Аз ин шартҳо бармеояд, ки дар нуқтаи $x = 0$ ҳарорати муҳит $T \neq 0$ ва доимӣ аст, яъне $\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0$ аст ва сели гармӣ q қой надорад. Дар нуқтаи $x = h$ ҳарорат дар вобастагӣ аз координатаи x ба фарқи ҳароратҳо дар нуқтаҳои $x = 0$ ва $x = h$ мутаносиб аст ва, биноан, зичии сели гармӣ q низ ба фарқи ҳароратҳо дар сарҳади муҳити силиндрӣ мутаносиб аст.

Акнун фарз мекунем, ки функсияи $\varphi(T)$ шакли зеринро дорад:

$$\varphi(T) = \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right). \quad (2.4.2)$$

Мувофиқи [А-7, А-8], барои муайянкунии вобастагии сели гармӣ аз ҳарорати сӯзиши модда муодилаи дуҷуми системаи (2.4.1)-ро ба муодилаи якуми он тақсим мекунем ва ҳосил мекунем:

$$\frac{dq}{dT} = \frac{\lambda(x + \varepsilon) \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right) - \lambda q}{-(x + \varepsilon) q}. \quad (2.4.3)$$

Барои муайянкунии шартҳои бӯҳронӣ тарафи рости (2.4.3)-ро бо воситиҳои функсияи $F(T, q)$ ифода мекунем:

$$F(q, T) = \frac{\lambda(x + \varepsilon)\alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right) - \lambda q}{-(x + \varepsilon)q}$$

ва ҳосилаи онро ба нол баробар мекунем:

$$\frac{\partial F}{\partial q} = \frac{\lambda\alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)}{q^2} = 0. \quad (2.4.4)$$

Аз ин ҷо бармеояд, ки ҳангоми $q \neq 0$ будан баробарии $\lambda\alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right) = 0$ иҷро мешавад, дар акси ҳол шарт (2.4.4) иҷро намешавад. Аз ин рӯ, барои муайян кардани функсияи сели гармӣ фарз мекунем, ки $\frac{dq}{dT} = k$, ки ин ҷо k – адади ихтиёрӣ аст. Он гоҳ аз баробарии (2.4.3) зичии сели гармиро меёбем

$$q = \frac{\lambda(x + \varepsilon)\alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)}{\lambda - k(x + \varepsilon)}. \quad (2.4.5)$$

Ин қимати q -ро ба муодилаи якуми системаи (2.4.1) гузошта истода, ҳарратро меёбем:

$$T = \pm \frac{\sqrt{A\alpha_1} \exp(-f_2(x, \alpha_1, \alpha_2 k, \varepsilon))}{\sqrt{\alpha_2} \sqrt{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}}, \quad (2.4.6)$$

ки ин ҷо

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

Ҳамин тариқ, қиматҳои ҳароратро аз (2.4.6) ба (2.4.5) гузошта, ниҳоиро барои зичии сели гармӣ ҳосил мекунем:

$$q(x, \varepsilon) = \pm \frac{\alpha_1 \sqrt{A \alpha_1} \lambda (x + \varepsilon) \exp(-f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{\sqrt{\alpha_2} (\lambda - k(x + \varepsilon)) \sqrt{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}} * \frac{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - 2A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}. \quad (2.4.7)$$

Дар ифодаҳои (2.4.6) ва (2.4.7) A ва k доимии номаълуми интегронӣ мебошанд, ки бояд муайян карда шаванд. Барои ин бояд аз шартҳои сарҳадии (2.2.1) истифода мебарем.

Ифодаи (2.4.7) –ро ба $(-\lambda^{-1})$ зарб мезанем. Дар натиҷа чунон ҳосил мегардад:

$$\frac{dT(x, \varepsilon)}{dx} = - \frac{\alpha_1 \sqrt{A \alpha_1} (x + \varepsilon) \exp(-f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{\sqrt{\alpha_2} (\lambda - k(x + \varepsilon)) \sqrt{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}} * \frac{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - 2A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}. \quad (2.4.8)$$

Шартҳои (2.2.1)-ро ба ифодаи (2.4.8) гузошта, қиматҳои A -ро дар нуқтаи $x=0$ меёбем:

$$A = \frac{1}{2} f_1^2(0, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) \exp(-2f_2(0, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon)). \quad (2.4.9)$$

Пасон, қимати A -ро ба ифодаи (2.4.7) гузошта қимати k -ро дар нуқтаи $x=0$ меёбем:

$$k = \frac{\lambda}{\varepsilon}. \quad (2.4.10)$$

Бо назардошти ин қимати k доимии интегронӣ A шакли зеринро мегирад:

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

Акнун, қиматҳои ёфтаи A ва k ба ифодаҳои (2.4.6) ва (2.4.7) гузошта истода, ҳалли системаи муодилаҳои (2.4.1)-ро меёбем.

Баъд аз ин аз ифодаҳои (2.4.6) ва (2.4.7) қиматҳои α_1 ва α_2 меёбем. Қайд мекунем, ки қиматҳои α_1 ва α_2 аз шартҳои расиши қачиҳои (2.4.6) ва

(2.4.7) муайян карда мешаванд. Аз ин бармеояд, ки $-\lambda \frac{\partial T(x)}{\partial x} \Big|_{x=x^*} = q(x^*)$.

Яъне ин нуқта соҳаҳои паҳншавии ҳарорат ва зичии сели гармиро ба ду соҳа тақсим мекунад: $T < T^*$, $q > q^*$ и $T > T^*$, $q < q^*$. Дар нуқтаи (x^*, T^*) , яъне нуқтаи бурриши қатъҳои зерин бояд иҷро шаванд:

$$-\lambda \frac{dT}{dx} \Big|_{x=x^*} = q \Big|_{x=x^*}, \quad -\lambda \frac{d^2T}{dx^2} \Big|_{x=x^*} = \frac{dq}{dx} \Big|_{x=x^*}. \quad (2.4.11)$$

Ин шартҳо аҳамияти α_1 ва α_2 дар нуқтаи гузариши қатъҳои барои муайян кардан имкон медиҳад.

Аз баробарии якуми (2.4.11) бармеояд:

$$\alpha_1 = \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \quad (2.4.12)$$

Қимати ёфтаи α_1 ба намуди ифодаи (2.4.12) ба ифодаҳои (2.4.6) ва (2.4.7) гузошта истода ва шартҳои дуҷуми (2.4.11)-ро табиқ намуда қимати α_2 -ро меёбем:

$$\alpha_2 = \frac{1}{2T^{*2}} \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \left(\sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right). \quad (2.4.13)$$

Барои шарҳи аёниии натиҷаҳои ҳосилшуда бо истифода аз ифодаҳои (2.4.12) ва (2.4.13) ҳисоби адабии вобастагҳои зарифи мутаносибиро аз координатаи тири Ох ва параметри хурд барои қимати гармигузаронии $\lambda = 0,2 \frac{Bm}{(m \cdot K)}$ мегузаронем. Натиҷаи ҳисобҳои адабӣ дар ҷадвали 2.2 оварда шудаанд.

Вобастагиҳои зарбҳои мутаносиби α_1 ва α_2 аз
координатаҳои тири Ox ва параметри хурд

№ 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

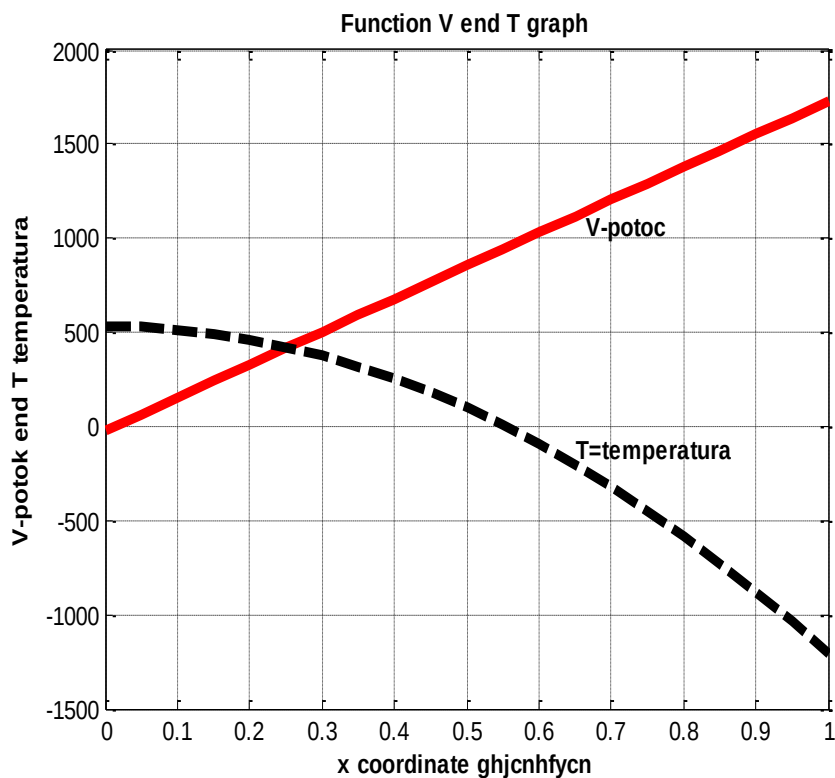
Пасон, қиматҳои ёфтаи α_1 ва α_2 ба ифодаҳои (2.4.6) ва (2.4.7)

мутобиқан гузошта истода, ҳарорат $-\lambda \frac{dT(x^*)}{dx}$ ва зичии сели гармиро $q(x^*)$

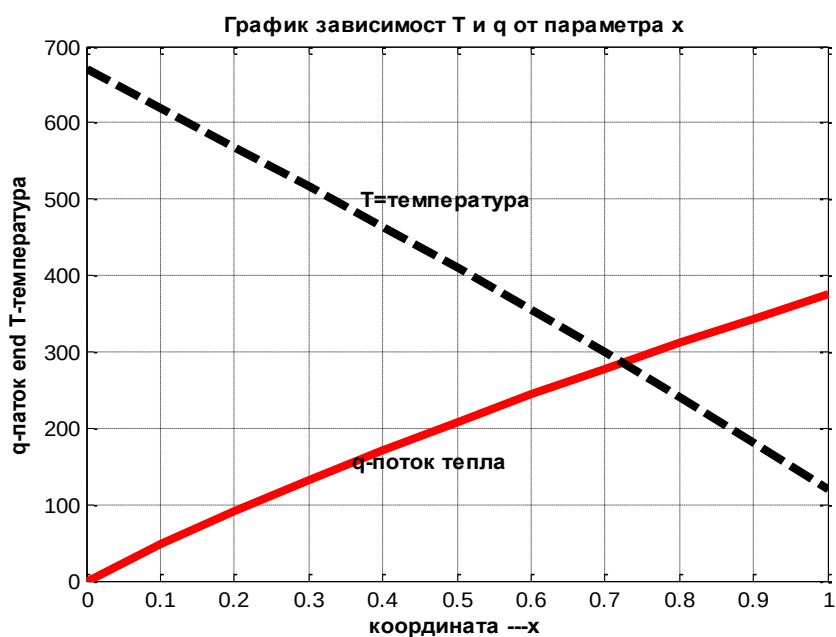
дар нуқтаи бурриши қатъҳо муайян мекунем.

Дар расмҳои 2.6 ва 2.7 натиҷаи ҳисобҳои ададии сели гармӣ ва ҳарорат аз андозаи (дарозии) муҳити силиндрӣ x барои шартҳои тағйирёбии ҳарорат ба намуди $\varphi(T) = \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)$ оварда шудаанд. Барои ҳисобҳо параметрҳои муҳити мушаххас аз қорҳои [115, 116] истифода шудаанд: таъвоноии манбаъҳои дохилӣ $q_v = 8 \cdot 10^3$; ҳарорати гармоинтиқолкунандаи сардкунанда $T_{ж} = 273K$; зарби гармидиҳӣ $\alpha = 5$; зарби гармигузаронӣ $\lambda = 23$;

ғафсии девор $h = (\sqrt{3.4.5} - 1) / (\sqrt{3.4.5} + 1)$; параметри хурд $\varepsilon = 0.001(0.0002, 0.003)$; миқдори нуқтаҳо $N = 20$.



Расми 2.6. Вобастагиҳои зичии сели гармӣ (—) ва ҳарорат (- - -) аз андозаҳои муҳити цилиндри x .



Расми 2.7. Вобастагиҳои зичии сели гармӣ (—) ва ҳарорат (- - -) аз андозаҳои муҳити цилиндри x .

Тавре ки мебинем, дар муҳити силиндрӣ бо афзоиши андозаи ҷисм зичии сели гармӣ қариб хаттӣ меафзояд, ҳарорати он бошад ғайрихаттӣ поён меравад. Чи қадаре ки параметри ε , калонтар бошад, ҳамон қадар тақсимооти ҳарорат фарозтар мегардад. Дар нуктаи $x=0,25$ шартҳои (2.4.11) иҷро мешаванд.

Интенсивияти омехташавии компонентаҳои муҳит ба пастшавии ҳарорат меоварад (расми 2.6), ки табиатан ба васеъшавии бари аланга ва кӯтаҳшавии дарозии (баландии) он (расми 2.7) оварда мерасонад. Нигаҳдории қитъаи ибтидоии фавораи силиндрӣ, инчунин дарозии аланга, ки бо ёрии ҳисобҳои адабии мо ҳосил шудаанд, бо қиматҳои аз рӯи формулаи тахминие, ки барои амалияи муҳандисӣ қобили қабул аст, тавъаманд [А-1].

Ҳамин тариқ, аз миёни параметрҳои зичӣ ё суръат танҳо таҷриба ё амсилаи математикии асоснокшуда метавонанд муайян кунанд, ки кадоме аз онҳо барои омехтакунии интенсиви муҳити силиндрӣ конденсӣ муҳимтар аст, чун тавсифоти асосии сӯзиш (дарозӣ ва шакл) дар ҳолати баробарии шароити боқӣ бо селҳои диффузиони реактентҳо муайян мешаванд. Натиҷаҳои таҳқиқи адабии таъсири параметри хурд ε ба тавсифои вобастагҳои $q = f(x)$ ва $T = f(x)$ нишон медиҳанд, ки барои қиматҳои ε дар фосилаи $0,0001 \div 0,001$ дарозшавии баландии (дарозии) аланга ва дар сурати ба қимати $0,01$ наздик шудани он хурдшавии баландии он мушоҳида мешавад.

2.5. Таҳқиқи амсилавии паҳншавии статсионари гармӣ дар муҳити куравӣ

Муҳитеро дида мебароем, ки дар он аз рӯи тағйирёбандаҳои силиндрӣ (T, q) раванди концентратсияи моддаи реаксияшаванда ба амал меояд. Гузариш ба тағйирёбандаҳои силиндрӣ фазавии q, T бо ёрии системаи муодилаҳои зерин ба амал оварда мешавад:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} - \frac{T}{x+\varepsilon}, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \frac{1}{x+\varepsilon}q. \end{cases} \quad (2.5.1)$$

Функсияи $\varphi(T)$ гармомубодилаи ғайрихаттиро миёни унсурҳои системаи таҳқиқшаванда ва муҳити атроф тавсиф медиҳад.

Ҳалли системаи (2.5.1)-ро чун мубодилаи гармӣ миёни унсурҳои ҷисми куравӣ ва муҳити атроф барои намудҳои гуногуни функсияи $\varphi(T)$ таҳқиқ мекунем.

Фарз мекунем, ки гармомубодила миёни ҷисм ва муҳити атроф ба намуди функсияи

$$\varphi(T) = \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)$$

дода шудааст. Муодилаи якуми системаи (2.5.1)-ро ба муодилаи якумаш тақсим намуда, ҳосил мекунем:

$$\frac{dq}{dT} = - \frac{\lambda(x+\varepsilon)\alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right) - \lambda q}{(x+\varepsilon)q + \lambda T} \quad (2.5.2)$$

Барои муайян кардани шароити бӯхронӣ тарафи ростии (2.5.2)-ро бо воситаи функсияи $F(q, T)$ ишора мекунем

$$F(q, T) = - \frac{\lambda(x+\varepsilon)\alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right) - \lambda q}{(x+\varepsilon)q + \lambda T}$$

ва ҳосилаи онро ба нол баробар карда, ҳосил мекунем:

$$\frac{\partial F}{\partial q} = \frac{\lambda^2 T + \lambda(x+\varepsilon)^2 \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)}{[(x+\varepsilon)q + \lambda T]^2} = 0 \text{ ҳосил мекунем.} \quad (2.5.3)$$

Дар ҳолати $(x+\varepsilon)q \neq \lambda T$ бӯдан ифодаи зерин ҳосил мешавад:

$$T_1 = 0, \quad T_{2,3} = \pm \frac{1}{x + \varepsilon} \sqrt{\frac{\lambda}{\alpha_2} - \frac{\alpha_1}{\alpha_2} (x + \varepsilon)^2}, \quad (2.5.4)$$

Дар акси ҳол шарт (2.5.3) иҷро намешавад. Аз ин рӯ барои муайян кардани функсияи сели гармӣ таносуби $\frac{dq}{dT} = k$ -ро қабул мекунем, ки ин ҷо k – адади ихтиёрӣ. Он гоҳ зичии сели гармӣ шакли зеринро мегирад:

$$q = \frac{\lambda T \left(k + (x + \varepsilon) \alpha_2 \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right) \right)}{\lambda - k(x + \varepsilon)}. \quad (2.5.5)$$

Дар сурати чунин интихоби функсияи сели гармӣ q шарт (2.5.3) ҳама вақт иҷро мешавад.

Акнун шарт бӯҳрониро барои ҳарорати сӯзиши муҳит меёбем. Барои ин қимати q -ро ба намуди (2.5.5) ба муодилаи дуҷуми системаи (2.5.1) гузошта, ҳосил мекунем:

$$T_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{\lambda^2}{\alpha_2 (k(x + \varepsilon) - \lambda)(x + \varepsilon)^2}} \quad \text{ҳосил менамоям.} \quad (2.5.6)$$

Аз баробарии (2.5.6) шарт бӯҳронии ҳарорати сӯзиши муҳитро муайян мекунем. Аввал доимии α_1 ва α_2 меёбем. Фарз мекунем, ки дар нуқтаи x^* қимати калонтарини ҳарорат T^* фаро мерасад. Он гоҳ аз шарт расиши ҳар ду қиматҳо дар ҳарорати T^* баробарии худӣ функсияҳо ва ҳосилаҳои якуми онҳо бармеояд [166, А-1]:

$$-\lambda \frac{\partial T(x)}{\partial x} \Big|_{x=x^*} = q(x^*).$$

Яъне, ин нуқта соҳаи паҳншавии ҳарорат ва зичии сели гармиро ба ду соҳаи $T < T^*$, $q > q^*$ ва $T > T^*$, $q < q^*$ тақсим мекунад. Дар нуқтаи (x^*, T^*) , яъне дар нуқтаи бурриши қиматҳо, бояд шартҳои зерин иҷро шаванд:

$$-\lambda \frac{dT}{dx} \Big|_{x=x^*} = q \Big|_{x=x^*}, \quad -\lambda \frac{d^2 T}{dx^2} \Big|_{x=x^*} = \frac{dq}{dx} \Big|_{x=x^*}. \quad (2.5.7)$$

Ин шартҳо имконияти муайян кардани қиматҳои α_1 ва α_2 дар нуктаи бурриши қачиҳо фароҳам меоранд.

Аз муодилаи якуми (2.5.7) бар меояд:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda(\lambda k^2(x+\varepsilon)^2 - k(x+\varepsilon) + \lambda^3)}{(k^2(x+\varepsilon)^2 + k(x+\varepsilon) + \lambda^2)(k(x+\varepsilon) - \lambda)(x+\varepsilon)^2}. \quad (2.5.8)$$

Қимати α_1 -ро ба намуди ифодаи (2.5.8) ба ифодаҳои (2.5.5) ва (2.5.6) гузошта истода, бо истифода аз шarti дуоми (2.5.7) қимати α_2 -ро меёбем:

$$\alpha_2 = \frac{1}{2T^{*2}} \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x+\varepsilon)) - \frac{\lambda}{x+\varepsilon}} \right) \left(\sqrt{k(3\lambda + k(x+\varepsilon)) - \frac{\lambda}{x+\varepsilon}} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right). \quad (2.5.9)$$

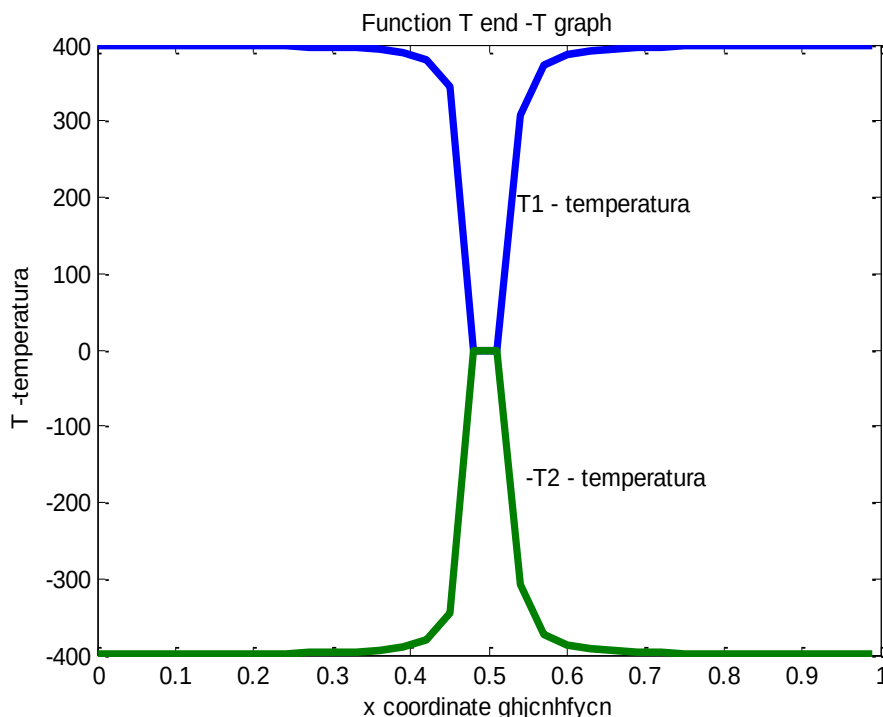
Ҳамин тариқ, қиматҳои ҳосилшудаи α_1 ва α_2 -ро ба (2.5.6) гузошта истода, ба ҳарорат қиматҳои гуногун дода, шarti бўҳронии сӯзиши гармии муҳитро муайян мекунем. Ин усули муайянкунии шarti бўҳронии сӯзиши гармиро метавон усули баръакс номид. Мазмуни татбиқи усули баръакс дар он аст, ки қиматҳои ҳарорат ва сели гармӣ дар муҳити куравӣ дода мешаванд ва системаи муодилаҳои (2.5.1) бо шarti қанории (2.2.1) ҳал карда мешавад. Дар ҳолати қиматҳои бештар баланди ҳарорати T_1 тақсимои гармиро чун тақсимои масштабии ғайрихаттии статсионари гармӣ дар муҳити куравӣ қабул мекунем.

Акнун қиматҳои ҳосилшудаи α_1 , α_2 ба ифодаҳои (2.5.4) ва (2.5.5) мувофиқан гузошта истода, ҳарорат ва сели гармиро дар нуктаи расиши қачиҳои $T(x^*)$ ва $q(x^*)$ барои шarti $-\lambda \frac{\partial T(x)}{\partial x} \Big|_{x=x^*} = q(x^*)$ муайян мекунем.

Барои тасвири аёнии натиҷаҳои ҳосилшуда ҳисоби адабии вобастагии зариби мутаносибиро аз координатаҳои тири Ox ва параметри хурд мегузaronем.

Дар расми 2.8 натиҷаи ҳисобҳои адабии вобастагии ҳарорат аз андозаи (диаметри) муҳити куравӣ барои функсияи $\varphi(T) = \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)$ оварда шудаанд.

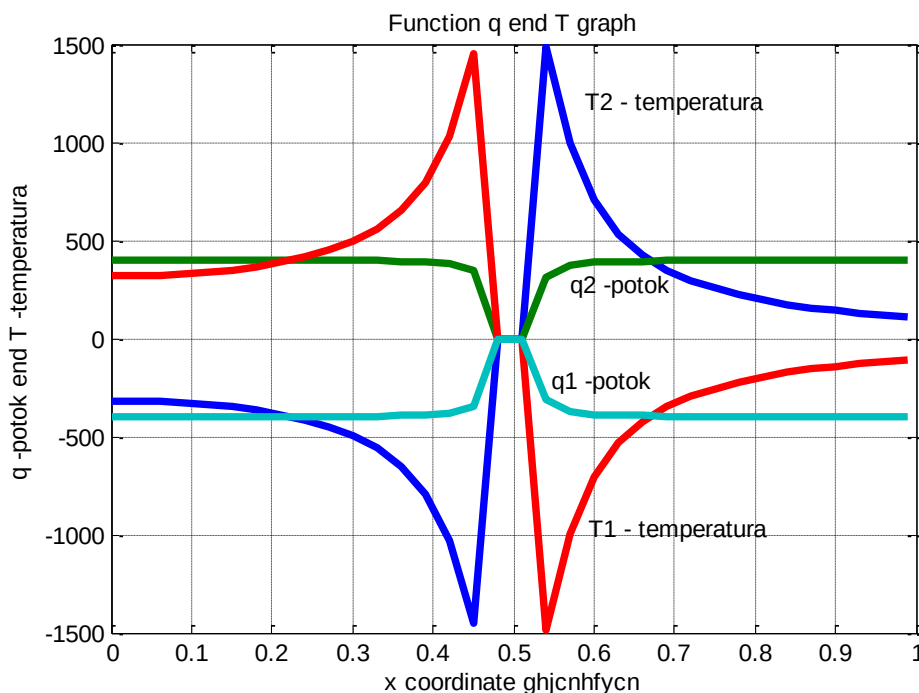
Қиматҳои гармофизикийи муҳит чунинанд: $\varepsilon = 0.5 \text{ м.}$; $\alpha_1 = 309.0985 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$;
 $\alpha_2 = 0.001935 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$; $x_{\min} = 0$; $x_{\max} = 1 \text{ м.}$; $\lambda = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$; $T_0 = 300 \text{ К}$.



Расми.2.8. Вобастагии тағйирёбии ҳарорат аз андозагии муҳити курагӣ (x)

Аз расми 2.8 мебинем, ки дар муҳити куравӣ бо афзоиши параметри ε нуқтаи бӯҳронии ҳарорат дар ибтидои тири координатии x қариб хаттӣ ҳаракат мекунад, бо камшавии параметри ε -баръакс. Чи қадаре ки параметри ε калонтар бошад, ҳамон қадар тақсимои ҳароратӣ фарозтар мешавад. Нуқтаи $x = 0,5$ нуқтаи бӯҳронӣ мебошад.

Дар расми 2.9 вобастагиҳои ҳисобии зичии сели гармӣ ва ҳарорат аз андозаи муҳити куравӣ оварда шудаанд.



Расми 2.9. Вобастагии тағйирёбии маҷрои гармӣ ва ҳарорат аз андозагии муҳити курагӣ (x)

Чуноне ки аз расми 2.9 бармеояд, дар муҳити куравӣ бо афзоиши андозаҳои ҳисм зичии сели гармӣ қариб ҳаттӣ меафзояд, ҳарорати он ғайриҳаттӣ паст мешавад. Чӣ қадаре ки параметри ε калонтар бошад, ҳамон қадар тақсимои ҳарорат фарозтар мешавад. Дар нуқтаи $x = 0.5$ шарт (2.5.7) иҷро мешавад.

Дар расми 2.10. натиҷаи ҳисоби адабии вобастагии маҷрои гармӣ q аз ҳарорат T дар асоси ифодаҳои (2.5.5) оварда шудааст, пешниҳод мегардад.

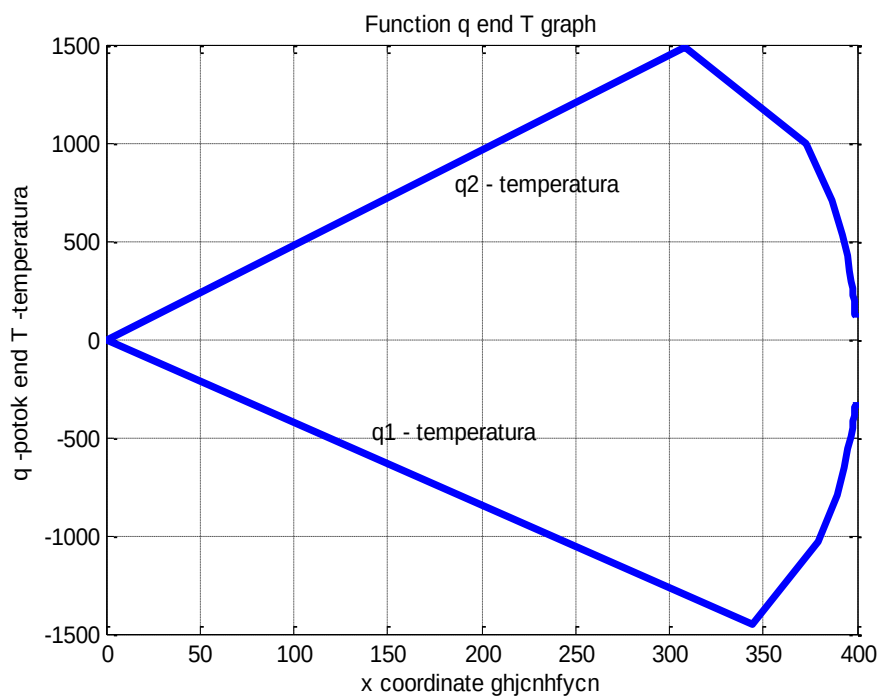
Дар расми 2.10 вобастагиҳои ҳисобии сели гармӣ аз ҳарорат дар асоси ифодаи (2.5.5) оварда шудаанд. Натиҷаҳои дар расми 2.10 овардашуда бо натиҷаҳои дар қорҳои [115, 116] ҳосилшуда мувофиқати хуб доранд.

Ҳамин тариқ, системаҳои намуни (2.5.1), чуноне ки таҳлили устуворият нишон медиҳад, имкон медиҳанд, ки ҳалҳои таҳлилии амсилави сохта шаванд.

Чамъшавандаҳои ба таври сунъӣ ба системаи (2.5.1) воридшавандаи

$$\frac{1}{(x + \varepsilon)(1 - x - \varepsilon)} \quad \text{ва} \quad \frac{1 - 2(x + \varepsilon)}{(x + \varepsilon)(1 - x - \varepsilon)}$$

барои тағйирёбиҳои хурди шароити ибтидоӣ ҳосил карда шаванд.



**Расми 2.10. Вобастагии ҳароратии зичиисели гармӣ
дар муҳити куравӣ**

Хулосаи боби дуюм

Мақсади боби мазкур иборат аз омӯзиши тақсимои ғайрихаттии статсионарии гармӣ дар ҷараёни сӯзиши муҳитҳои конденсӣ бо истифода аз амсилаи математикие буд, ки ҷараёни сӯзиши маводи сӯзандаро дар шароити табиӣ (кори генераторҳои гармӣ) хуб тасвир карда метавонад.

Ғояи асосии амсилаи математикии пешниҳодшуда дар усули табдилоти муодилаи гармигузаронӣ ба системаи думодилавӣ бо ду функсияи номаълум-ҳарорат ва сели гармӣ иборат аст. Шароити канорӣ бо қиматҳои тахминиашон бо шароити сарҳадӣ барои функсияҳои ҳарорат ва сели гармӣ иваз карда мешаванд. Дар натиҷаи чунин табдилот системаи муодилаҳои дифференсиалие ҳосил мешаванд, ки ҳалли нормал ва устувори аз параметрҳои хурд ва танзимкунанда вобастаро дорад. Вобастагҳои ҳароратии зичии сели гармии ҳосил кардашуда бо натиҷаҳои дар адабиёт кайдшуда, ки бо дигар усулҳо ба даст омадаанд, мувофиқати хуб доранд.

Амсилаи математикии равандҳои статсионарии гармие коркард карда шудааст, ки танзимшавии сели гармӣ ва вобастагии ҳароратии тавсифоти

гармофизикиро дар муҳитҳои конденсии ҳамвор, силиндршакл ва курашакл ба назар мегирад. Аппарати математикии ба намуди усули таҳлилии тахминӣ сохташуда метавонад барои ҳалли муодилаҳои эллиптикӣ бо зарбҳои доимӣ ва тағйирёбанда бо манбаъҳои ғайрихаттӣ истифода карда шавад.

Қонуниятҳои асосии паҳншавии статсионарии ҳарорат дар вобастагӣ аз шароити ҳолати мувозинатии сели гармӣ ва ҳарорат дар ҳамвории фазавӣ ошкор карда шудаанд. Таҷрибаҳои адабии гузаронидашуда мувофиқати хуби натиҷаҳои ҳосил кардашударо бо натиҷаҳои назариявӣ ва таҷрибавии мавҷуда нишон медиҳанд.

БОБИ III. ТАСВИРИ АМСИЛАВИИ ҲАЛЛИ ҒАЙРИХАТТИИ ТАҚСИМОТИ ҲАРОРАТ ДАР МУҲИТҲОИ КОНДЕНСӢ

Дар боби 2 вобастагии тақсимоти статсионарии сели гармӣ ба ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ дида баромада шуд, алаҳусус, усулҳои ҳамвории фазавӣ барои ҳалли системаҳои муодилаҳои дифференсиалӣ татбиқ карда шуд. Дар рафти таҳқиқи системаҳои муодилаҳои дифференсиалӣ бо шартҳои ниҳоят умумии ибтидоӣ ва канорӣ усулҳои дақиқи ҳамвориҳои фазавӣ ба мушкилоти калон дучор меоянд, чунки ҳангоми таҳлили вобастагиҳои ғайрихаттии онҳо аз ҳолати гармӣ ҳалли ин муодилаҳо номуайян мегарданд. Дар ин ҳолатҳо ноилоҷ мачбурем, то ба ин ё он усулҳои адабии таҳқиқ рӯ оварем.

Тасвири амсилавии усулҳои адабии дар координатаҳои ортогоналӣ навишташуда ба таҳлили системаҳои муодилаҳои дифференсиалӣ имконият медиҳад, то аз шарҳи содашудаи амсилаи математикии раванд даст кашем ва чояш нақшаи фарқие истифода карда шавад, ки ба таҷзияи муодилаҳо аз рӯи равандҳои физикӣ ва самтҳои фазой асос меёбад.

Барои таҳқиқи хусусиятҳои сохтори фазавӣ дар муҳитҳои конденсии ғайриҷакчинса дар боби мазкур вобастагиҳои тақсимоти статсионарии сели гармӣ аз ҳарорат истифода карда шудаанд, ки бо системаи муодилаҳои (2.1.1) тасвир қада шудаанд. Ҳалли чунин масъалаҳои гармофизика дар мисоли мушаххас кори басо мушкил аст. Ҳалли таҳлилии ҳатто системаи якченакаи статсионарии муодилаҳои гармигузаронӣ, ки ба ҷумлаи муодилаҳои оддии дифференсиалӣ дохил мешаванд, кори хеле мушкил аст, вобастагиҳои хосиятҳои гармофизикӣ аз ҳарорат ва сели гармӣ, ғайрихаттияти шартҳои сарҳадӣ дар назар дошта мешвад. Метавон гуфт, ки усулҳои таҳлилӣ барои ёфтани майдонҳои ду ва сеченаки ҳароратӣ дар соҳаҳои конфигуратсияшон мураккаб амалан корношояманд. Аз ин камбудихо усулҳои адабӣ фориғанд, чун дар системаи (2.1.1) муодилаҳои дифференсиалӣ бо муодилаҳои алгебравӣ иваз карда мешаванд ва муодилаҳои матритсавии ҳосилшаванда бо ёрии

компютерҳо бо усули муайянкунии майдони ҳароратӣ дар нуқтаҳои гиреҳии тури фарқӣ ҳал карда мешаванд.

Барои ҳалли адабии муодилаҳои, ки ҳолати статсионарии сӯзиши гармиро шарҳ медиҳанд, айна ҳол нақшаҳои фарқии зиёде коркард шудаанд [94-106]. Маҳдудиятҳои, ки ба устуворияти нақшаҳои аён гузошта мешаванд, ҳарчӯи назарраси вақти мошинавиро талаб мекунанд ва дар чандин ҳолат ин усулро иқтисодан нокулай мегардонанд, масалан, ҳангоми ҳалли масъалаҳои статсионарӣ бо усули муқарраркунӣ. Нақшаҳои ноаёни фарқӣ [94] ба устуворӣ маҳдудиятҳои сустрар доранд. Нақшаи дар [95] муҳокимашуда бешарт устувор аст, вале ҳосияти консервативӣ надорад. Дар [94, 95] нақшаи ноаёни устуворе пешниҳод карда мешавад, ки ба таҷзияи муодилаҳои ибтидоӣ аз рӯи равандҳои физикӣ ва тағйирёбандаҳои фазоӣ асос меёбанд ва дар ҳолати статсионарӣ консерватив мебошад.

Барои баланд бардоштани дақиқии ҳисобҳо одатан чунин табдилоти координатаҳо истифода бурда мешаванд, ки гиреҳҳои турро дар соҳаи градиентҳои калон зич мекунонанд, яъне пешакӣ маълумот дар бораи ҳал доранд. Ҳини ҳал кардани масъалаҳои мураккаб чунин маълумот одатан мавҷуд нест, аз ин рӯ истифодаи чунин табдилоти координатаҳо мувофиқи мақсад аст, ки ба таври автоматӣ гиреҳҳои тури фарқиро ба ҳал ҷӯр мекунанд. Масалан, дар кори [96] табдилоти аз вектори суръат вобаста пешниҳод карда шудааст. Турҳои фарқии ҳаракатнок, ки бар асоси принсипи вариатсионӣ сохта шудаанд, дар кори [97] дида баромада шудааст.

Дар боби мазкур барои таҳқиқи адабии вобастагии тақсимои статсионарии сели гармӣ аз ҳарорат дар муҳити конденсӣ, ки дар координатаҳои ихтиёрии ортогоналӣ навишта шудаанд, нақшаи ноаёни намуди алгоритми универсалӣ пешниҳод карда мешавад [98], ки дар тури фарқии ҳаракатнок амалӣ мегардад [99]. Бешубҳа, истифодаи якҷояи нақшаи фарқӣ ва усули турҳои ҳаракатнок дақиқии ҳисобҳоро ба таври назаррас баланд мекунад [100-106].

3.1. Тасвири амсилавии ҳалли ададии масъалаи вобастагии тақсимои статсионарии ҳарорат аз сели гармӣ дар муҳитҳои конденсӣ

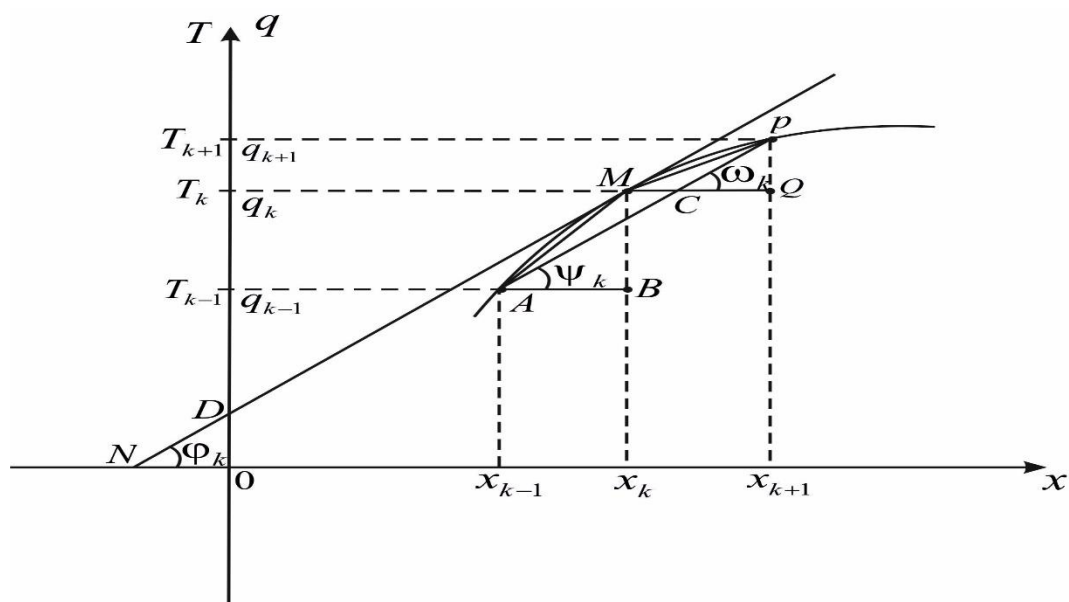
Ғояи асосии тасвири амсилавии усулҳои ададӣ барои системаи муодилаҳои (2.1.1) иборат аз ивази функсияҳои бефосила ва ҳосилаҳои онҳо аз рӯи координатаҳо, инчунин шартҳои канории онҳо ба қиматҳои тахминии онҳо дар нуқтаи алоҳидаи тур аст. Дар натиҷаи чунин ивазкунии система қачии дифференциалӣ ба фарқи қиматҳои функсия дар нуқтаҳои алоҳидаи дискретӣ оварда мешавад. Системаи муодилаҳои дифференциалии (2.1.1) дар натиҷаи чунин табдилот бо таносуби эквивалентӣ дар фарқҳои охирикӣ иваз карда мешавад, ки ҳалли он ба иҷрои амалиёти нисбатан содаи алгебравӣ оварда мешавад. Натиҷаи ниҳонии ҳал бо ифодае дода мешавад, ки аз рӯи он қиматҳои сели гармӣ ва ҳарорат дар нуқтаи додашуда функсияи ҳолати статсионарӣ мебошанд. Такроршавии амалиёти яхела ҳангоми ҳисоби сели гармӣ ва ҳарорат барои истифодаи технологияҳои иттилоотии замонавӣ (техникаи ҳисобӣ) хеле қулай аст ва самаранокии кори онҳоро хулу афзун мекунад.

Гиреҳҳои тури фарқӣ бо координатаҳои зерин муайян карда мешаванд [8, 12, 171]:

$$x_k = kh; \quad k = 0, 1, 2, \dots, N; \quad h = \frac{x_{\max}}{N},$$

ки ин ҷо h – қадами тури фазой, k – рақами нуқтаи гиреҳӣ дар самти координатаи x , N – адади тақсимо аз рӯи дарозӣ x .

Ивазкунии тахминии ҳосилаҳоро бо воситаи таносубҳои фарқӣ бо чунин роҳ осон ба амал овардан мумкин аст [8, 12, 171, А-1]. Бигузор функсияҳои ҳарорат $T(x)$, сели гармӣ $q(x)$ ва графики онҳо дода шуда бошанд (расми 3.1). Агар бо воситаи φ_k кунчи МАВ-ро, ки расанда ба нуқтаи $M(x_k, T(x_k))$ ($M(x_k, q(x_k))$) дар хати $T(x)$ (ё хати $q(x)$) бо тири абсисса



**Расми 3.1. Муайянкунии ҳосилаҳои функсияҳои
ҳарорат $T(x)$ ва сели гармӣ $q(x)$**

ташкил медиҳад, ифода кунем, он гоҳ ҳосила аз функсияи $T(x)$ дар нуктаи $x = x_k$ чунин мешавад:

$$T'(x_k) = \operatorname{tg}(\varphi_k) \quad (3.1.1)$$

Дар қачӣ ду нуктаҳои $A(x_{k-1}, T_{k-1})$ ва $P(x_{k+1}, T_{k+1})$ чунон интиҳоб мекунем, ки фарқҳои $x_k - x_{k-1} = x_{k+1} - x_k = h$ басо хурд бошанд ва φ_k бо ψ_k ё ω_k иваз мекунем, яъне $\varphi_k = \angle DNO \approx \psi_k = \angle MAB \approx \omega_k = \angle PCQ$. Ин маънои инро дорад, ки ба ҷои расандаи MN яке аз буррандаҳоро, MP ё AM -ро ба қор мебарем. Он гоҳ ҳосил мекунем:

$$T'(x_k) = \operatorname{tg}(\omega_k) = \frac{QP}{MQ} = \frac{T_{k+1} - T_k}{h}, \quad (3.1.2)$$

$$\text{ва ё} \quad T'(x_k) = \operatorname{tg}(\psi_k) = \frac{BM}{AB} = \frac{T_k - T_{k-1}}{h}. \quad (3.1.3)$$

Агар зариби кунҷии расандаи MN -ро тахминан бо зариби кунҷии буррандаи AP иваз кунем, ҳосил мекунем, ки

$$T'(x_k) = \operatorname{tg}(\varphi_k) = \frac{AP}{AB + MQ} = \frac{T_{k+1} - T_{k-1}}{2h}. \quad (3.1.4)$$

Тарафҳои рости формулаҳои (3.1.2) - (3.1.4) мутобиқан чунини номида мешаванд: таносуби фарқии ба пеш, таносуби фарқии қафо ва таносуби фарқии симметрӣ [8, 12, 171]. Айнан ҳамин хел формулаҳоро метавон барои ҳосилаҳо аз функсияи сели гармӣ ҳосил намекунад:

$$q'(x_k) = \frac{q_k - q_{k-1}}{h}; \quad q'(x_k) = \frac{q_{k+1} - q_k}{h}; \quad q'(x_k) = \frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{2h} \quad (3.1.5)$$

Ошкор аст, ки формулаҳои Очевидно, что приведённые формулы (3.1.2)-(3.1.5) барои ивазкунии ҳосилаҳо бо таносубҳои фарқӣ ягона имконпазир нестанд. Аммо ҳангоми интегронии ададии системаи муодилаҳои (2.1.1) бештар маҳз аз ин формулаҳо истифода карда мешавад [8, 12, 171].

Бигуздор формулаҳои тахминӣ барои ҳосилаи якуми функсияи ҳароратии $T(x)$ ва функсияи сели гармӣ $q(x)$ якҷоя бошанд. Барои ин тақсимшавии онҳоро ба қатори Тэйлор дар самти координатаи x дар атрофи нуқтаи x_k ($k = 1, 2, \dots$) дида мебароем:

$$T(x) = T(x_k) + \frac{dT(x_k)}{dx} \frac{x - x_k}{1!} + \frac{d^2T(x_k)}{dx^2} \frac{(x - x_k)^2}{2!} + \frac{d^3T(x_k)}{dx^3} \frac{(x - x_k)^3}{3!} + \dots \quad (3.1.6)$$

$$q(x) = q(x_k) + \frac{dq(x_k)}{dx} \frac{x - x_k}{1!} + \frac{d^2q(x_k)}{dx^2} \frac{(x - x_k)^2}{2!} + \frac{d^3q(x_k)}{dx^3} \frac{(x - x_k)^3}{3!} + \dots \quad (3.1.7)$$

Қаторҳои (3.1.6) ва (3.1.7) тез хурд мешаванд ва барои ёфтани ҳосилаи якуми онҳо метавонем бо ду узви аввалаи онҳо маҳдуд шавем. Узви сеюми тақсимои (3.1.6) ва (3.1.7), ки калонтарин аз мунсарифшудаҳо мебошанд, дар ин ҳолат хатогии апроксиматсияҳоро тавсиф медиҳанд. Акнун ҳосилаҳои якумро бо хатогҳои апроксиматсия дар шакли фарқҳои охириноки зерин навишта метавонем [8, 12, 171]:

$$\frac{dT(x)}{dx} = \frac{T(x+h) - T(x)}{h};$$

$$\frac{dq(x)}{dx} = \frac{q(x+h) - q(x)}{h}.$$

Барои ёфтани хатогҳои апроксиматсияи ифодаҳои ҳосилшуда аз қаторҳои Тейлор (3.1.6) и (3.1.7) бо се узви аввалаи тақсимои истифода

мекунем. Ба ин қаторҳо қиматҳои $x = x_k$ ва $x = x_k + h$ мегузорем, пас аз муодилаи дуоим якумашро тарҳ намуда ҳосил мекунем:

$$\left. \frac{dT(x)}{dx} \right|_h = \frac{T(x_k + h) - T(x_k)}{h} + \varepsilon_1(h); \quad \left. \frac{dq(x)}{dx} \right|_h = \frac{q(x_k + h) - q(x_k)}{h} + \varepsilon_2(h), \quad (3.1.8)$$

ки ин ҷо $\varepsilon_1(h) = \frac{d^2 T(x)}{dx^2} \cdot \frac{h}{2}$, $\varepsilon_2(h) = \frac{d^2 q(x)}{dx^2} \cdot \frac{h}{2}$ мувофиқан аъзои

боқимондаи қаторҳои (3.1.6) ва (3.1.7) мебошанд, ки тартиби қадами тур h -ро доранд. Бо ҳамин гуна тартиби дақиқият формулаҳои ҳосилаҳои дуоим низ ҳосил карда шуда метавонанд. Барои ин дар тақсими (3.1.6) ва (3.1.7), ки аз рӯи нуқтаҳои гиреҳии қабатик-ум навишта шудаанд, боз яктоғи узвҳои дигарро ба назар мегирем. Он гоҳ ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned} \left. \frac{dT(x)}{dx} \right|_{x_k} &= \frac{T(x_k + h) - T(x_k)}{h} - \left(\frac{d^2 T(x)}{dx^2} \right)_{x_k} \frac{h}{2} - \left(\frac{d^3 T(x)}{dx^3} \right)_{x_k} \frac{h^2}{6}; \\ \left. \frac{dq(x)}{dx} \right|_{x_k} &= \frac{q(x_k + h) - q(x_k)}{h} - \left(\frac{d^2 q(x)}{dx^2} \right)_{x_k} \frac{h}{2} - \left(\frac{d^3 q(x)}{dx^3} \right)_{x_k} \frac{h^2}{6}, \end{aligned}$$

Бо назардошти қиматҳои тахминии ҳосилаҳои дуввум ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned} \left. \frac{dT(x)}{dx} \right|_{x_k} &= \frac{T(x_k + h) - T(x_k - h)}{2h} - \varepsilon_1(h^2); \\ \left. \frac{dq(x)}{dx} \right|_{x_k} &= \frac{q(x_k + h) - q(x_k - h)}{2h} - \varepsilon_2(h^2), \end{aligned} \quad (3.1.9)$$

Ҳамин тариқ, формулаи фарқи марказии (3.1.9) тартиби дуоими дақиқиро дорад, яъне ин формула аз формулаҳои фарқҳои якҷонибаи (3.1.8) даҳ маротиба дақиқтар аст.

Масъалаи тасвири тахминии амсилавии интегронии ададии системаи муодилаҳои (2.1.1) бо ёрии усулҳои ададӣ аз ёфтани қиматҳои тахминии функцияҳои ҳарорат $T(x)$ ва сели гармӣ $q(x)$ дар ҳар як нуқтаи абсисса (гиреҳи тук) иборат аст:

$$x_0 = 0, \quad x_1 = h, \quad x_2 = 2h, \quad \dots, \quad x_n = L.$$

Бо воситаи $T_k = T(x_k)$ қимати ҳақиқии ҳарорат, бо воситаи $q_k = q(x_k)$ бошад қимати ҳақиқии сели гармиро дар нуқтаи $x_k = kh$ ($k = 0, 1, 2, \dots, n$) абсисса ишора мекунем.

Ҳосилаҳои $\frac{dT}{dx}$, $\frac{dq}{dx}$ дар нуқтаи $x_k = kh$ бо воситаи таносубҳои фарқӣ аз рӯи формулаҳои (3.1.2)-(3.1.5) иваз мекунем, яъне фарз мекунем, ки:

$$\frac{dT(x_k)}{dx_k} = \frac{T_{k+1} - T_{k-1}}{2h} - \varepsilon_1, \quad \frac{dq(x_k)}{dx_k} = \frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{2h} - \varepsilon_2,$$

ки ин ҷо ε_1 ва ε_2 – аъзои боқимонда, ки ҳангоми ба нол майл кардани h ба нол майл мекунанд. Он гоҳ дар нуқтаи $x_k = kh$ абсисса системаи муодилаҳои (2.1.1) бо таносуби зерин иваз карда мешавад:

$$\begin{cases} \frac{T_{k+1} - T_{k-1}}{2h} = \varepsilon_1 - \frac{1}{\lambda} q_k - \eta_{1k} T_k, \\ \frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{2h} = \varepsilon_2 + \varphi(T_k) - \eta_{2k} q_k, \end{cases} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (3.1.10)$$

$$\text{ки ин ҷо } \eta_{1k} = \frac{\mu - 1}{x_k + \varepsilon - (\mu - 1)(x_k + \varepsilon)^\mu} \text{ ва } \eta_{2k} = \frac{1 - \mu(\mu - 1)(x_k + \varepsilon)^{\mu-1}}{x_k + \varepsilon - (\mu - 1)(x_k + \varepsilon)^\mu}$$

($k = 0, 1, 2, \dots, n$) бузургихоеанд, ки зарибҳои вобастагии сели гармиро аз ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ тавсиф медиҳанд.

Қайд мекунем, ки айниятҳои ҳосилшуда дорои дақиқияти тартиби дуюм аз рӯи тағйирёбандаҳои фазой мебошанд.

3.2. Ҳалли ададии масъалаи вобастагии тақсимои статсионарии харорат аз сели гармӣ дар муҳити ҳамвор

Ҳамвории фазавии (q, T) -ро дар муҳити ҳамворе, ки дар он гармӣ паҳн мешавад, дида мебароем. Чуноне ки дар фасли 2.1 ва корҳои [А-4, А-5] қайд шудааст, ҳангоми иҷрошавии шарт $\eta_1 + \eta_2 = 0$ зарфе, ки дар он муҳит чой гирифтааст, шакли ҳамворро дорад. Дар ин ҳолат муодилаҳои (2.1.1) шакли зеринро мегиранд:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} + \frac{T}{x + \varepsilon}, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \frac{q}{x + \varepsilon}, \end{cases} \quad (3.2.1)$$

ки ин ҷо ε - параметри танзимкунанда мебошад.

Мувофиқи корҳои [А-1 –А-4], дар атрофи нуқтаи мувозинатӣ, яъне нуқтаи махсуси $(q(x_*), T(x_*))$, табдилоти фазавӣ ба амал меояд: дар система ё сӯзиш ба амал меояд, ё сӯзиш хомӯш мешавад. Бинобар ин, дар атрофи ин нуқта зарурати идоракунии раванди сӯзиш ба миён меояд.

Аз шароити сарҳадӣ бармеояд, ки дар нуқтаи $x = 0$ ҳарорати муҳит аз нол фарқ мекунад ва доимӣ аст, аз ин рӯ $\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0$ мешавад ва сели гармӣ чой надорад. Дар нуқтаи $x = h$ функсияи $T(x)$ ба фарқи ҳароратҳо дар нуқтаҳои $x = 0$ ва $x = h$ мутаносиб аст, бинобар ин зичии сели гармӣ низ ба фарқи ҳароратҳо дар сарҳадҳои муҳит мутаносиб аст.

Аз мазмуни физикийи масъалаи гузошташуда бармеояд, ки тавсифи ҳал ва шароити мавҷудияти он танҳо аз параметрҳои x , ε вобастаанд. Дар сурати киматҳои хурди x ва мавҷудияти айнияти $\varepsilon \equiv 0$, вақте ки зичии сели гармӣ дар муҳити ҳамвор бузург аст, ҳалли системаи решение системы (3.2.1) чой дорад, дар сурати x -и калон ва айнияти $\varepsilon \equiv 0$ ин муодилаҳо ҳал надоранд.

Ҳамин тариқ, қиматҳои бӯхронии x_{kp} ва ε_{kp} мавҷуданд, ки соҳаҳои мавҷудият ва нобудии ҳалли системаи (3.2.1)-ро ҷудо мекунад. Қиматҳои мушаххаси x_{kp} ва ε_{kp} дар натиҷаи ҳисоби адабии пурраи ин барои шартҳои (2.2.1) ёфтан мумкин аст. Поинтар натиҷаи таҳқиқи адабии гармомубодила миёни системаи таҳқиқшаванда ва муҳити атроф барои шаклҳои гуногуни функсияи $\varphi(T)$ оварда мешавад.

Аз ин ҷо нақшаи фарқиро ба намуди алгоритми универсалии зерин ҳосил мекунем:

$$\begin{cases} \frac{T_{k+1} - T_{k-1}}{2h} = -\frac{1}{\lambda} q_k + \frac{T_k}{x_k + \varepsilon}, \\ \frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{2h} = \varphi(T_k) - \frac{q_k}{x_k + \varepsilon}, \end{cases} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (3.2.2)$$

Қадвали тақсимотии намуди универсалии алгоритмро ҳосил мекунем:

$$\begin{cases} T_{k+1} = T_{k-1} - \frac{2h}{\lambda} q_k + \frac{2h}{x_k + \varepsilon} T_k, \\ q_{k+1} = q_{k-1} + 2h\varphi(T_k) - \frac{2h}{x_k + \varepsilon} q_k, \end{cases} \quad (k=1, 2, \dots, n-1) \quad (3.2.3)$$

ки ин ҷо ε –параметри хурд аст. Нақшаи фарқии (3.2.3) систему (3.2.1)-ро аз рӯи татиби $O(h^2)$ аппроксиматсия мекунад.

Системаҳои устуворкунандаи

$$\begin{cases} q_k = \frac{1}{x_k + \varepsilon} T_k + \lambda \varepsilon_1, \\ \varphi(T_k) = \frac{1}{x_k + \varepsilon} q_k - \varepsilon_2, \end{cases} \quad k=0, 1, 2, \dots, n \quad (3.2.4)$$

мувофиқшуда меномер, агар барои $k=0, 1, 2, \dots, n$ нуқтаҳои махсусро дар ҳамвории фазавии (T_k, q_k) ёфта тавонем, дар акси ҳол- номувофиқ. Дар ин ҳолат дар ҳар як қадам нақшаи фарқии (3.2.3) ба шакли зерин амалӣ мегардад:

$$\frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{T_{k+1} - T_{k-1}} = \frac{\lambda q_k - \lambda(x_k + \varepsilon)(\varepsilon_2 + \varphi(T_k))}{(x_k + \varepsilon)(\lambda \varepsilon_1 - q_k) - \lambda T_k}, \quad k=1, 2, \dots, n. \quad (3.2.5)$$

Ҳангоми ҳосил кардани ҳалли статсионарӣ бо усули муқарраркунӣ ба сифати оператори устуворкунанда системаҳои устуворкунандаи номувофиқи

(3.2.4) интиҳоб карда мешаванд. Он гоҳ, ҳангоми $\varepsilon_1 \neq \frac{q_k}{\lambda}$ ва

$T_k \neq \frac{x_k + \varepsilon}{\lambda} q_k - (x_k + \varepsilon) \varepsilon_1$ нуқтаҳои статсионарии T_k^* аз муодилаи

$$(x_k + \varepsilon)(\varepsilon_2 + \varphi(T_k)) - q_k = 0$$

муайян карда мешаванд.

Акнун, татбиқи қадвали (3.2.3)-ро дар қадвали сатҳи ҷазавӣ (q_k, T_k) баррасӣ менамоем. Агар системаи фосилдор бо муодилаи тақсимотии (3.2.5) тавзеҳ гардад, пас нуқтаи таносуби қадвали масоҳати ҷазавӣ бо ифодаи

$$\frac{\lambda q_k - \lambda(x_k + \varepsilon)(\varepsilon_2 + \varphi(T_k))}{(x_k + \varepsilon)(q_k - \lambda \varepsilon_1) - \lambda T_k} = M_k, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (3.2.6)$$

муайян мегардад, ки дар ин ҷо M_k — коэффитсенти гармигузаронӣ дар k -қабат мебошад.

Аз ифодаи (3.2.6) метавон қимати функсияи туриро ҳосил намуд:

$$q_k = \frac{\lambda(x_k + \varepsilon)(\varepsilon_2 - M_k \varepsilon_1)}{\lambda - M_k(x_k + \varepsilon)} - \frac{\lambda[(x_k + \varepsilon)\varphi(T_k) - M_k T_k]}{\lambda - M_k(x_k + \varepsilon)}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (3.2.7)$$

ҳангоми $M_k \neq \frac{\lambda}{x_k + \varepsilon}$.

Мувофиқи қорҳои [А-14, А-15], шарти бўҳронӣ барои ҳарорати сӯзиши муҳити конденсии шакли ҳамвор аз ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$\alpha_2(x_k + \varepsilon)T_k^3 - [\alpha_1(x_k + \varepsilon) - M_k]T_k - (x_k + \varepsilon)(\varepsilon_2 - M_k \varepsilon_1) = 0.$$

Ин муодилаи алгебраии кубӣ нисбат ба бузургии T_k аст, ки онро бо истифода аз натиҷаҳои қорӣ [172] ҳал кардан мумкин аст.

Агар ҳатогиҳои дискретизатсияи сели гармӣ ва ҳарорат ба шарти $\varepsilon_2 = M_k \varepsilon_1$ ($k = 1, 2, 3, \dots$) қаноат кунанд, он гоҳ

$$T_k^1 = 0,$$

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

$$T_k^3 = \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{M_k}{\alpha_2(x_k + \varepsilon)}},$$

ҳосил мегардад.

Акнун таносуби миёни қадамҳои турро барои сели гармие муайян мекунем, ки дақиқияти якхелаи дискретизатсияи онро бо ифодаҳои (3.2.1) ва (3.2.2) таъмин менамояд. Сели гармӣ дар (3.2.1) ва (3.2.2) дар нуқтаҳои координатӣ қиматҳои гуногунро дорад. Аз ин рӯ, бо назардошти он омиле, ки ҳатогиҳои дискретизатсия бояд ҳарорат ва сели гармиро қаноат кунонанд, менависем:

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

Акнун шартҳои бӯхрониро барои функсияи дискретии ҳарорати сӯзиш меёбем. Барои ин, функсияи дискретии сели гармиро ба намуди (3.2.7) ба системаи (3.2.2) гузошта истода, ҳосил мекунем:

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

$$q_{k+1} = q_{k-1} + 2h \frac{2\lambda - M_k(x_k + \varepsilon)}{\lambda - M_k(x_k + \varepsilon)} \varphi(T_k) - \frac{2h\lambda N_k}{(x_k + \varepsilon)(\lambda - M_k(x_k + \varepsilon))} T_k. \quad (3.2.8)$$

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

Таносубҳои (3.2.8) барои ҳама гиреҳҳои дохилии нуқтаҳои қабати k -ум системаи муодилаҳои алгебравии тартиби $(n-1)$ -умро ташкил медиҳанд.

Барои тасвири аниқи натиҷаҳои ҳосилшуда ҳисоби ададии вобастагии сели гармӣ ва ҳароратро аз координатаи тири координатии Ox аз рӯи ҳатогии дискретизатсия ва параметри хурд мегузaronем.

3.3. Ҳалли ададии амсилаи вобастагии тақсимои статсионарии харорат ва сели гармӣ дар муҳити силиндрӣ

Фарз мекунем, ки раванди концентратсияи моддаи реаксияшаванда аз рӯи тағйирёбандаҳои силиндрӣ (T, q) ба амал меояд. Тасвири амсилавии гармомубодилаи статсионарӣ аз рӯи тағйирёбандаҳои фазавии силиндрӣ q , T бо ёрии системаи зерин ба амал оварда мешавад:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dx} &= -\frac{q}{\lambda}, \\ \frac{dq}{dx} &= \varphi(T) - \frac{q}{x + \varepsilon}. \end{aligned} \quad (3.3.1)$$

Акнун нақшаи фарқии таҷзияро аз рӯи равандҳои физикӣ ва тағйирёбандаҳои фазоӣ тартиб медиҳем. Пас аз ихтисор кардани қадамҳои касрӣ дар (3.3.1), яъне аз

$$\begin{cases} \frac{T_{k+1} - T_{k-1}}{2h} = -\frac{1}{\lambda} q_k, \\ \frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{2h} = \varphi(T_k) - \frac{q_k}{x_k + \varepsilon}, \end{cases} \quad (k = 1, 2, \dots, n), \quad (3.3.2)$$

нақшаи фарқии намуди алгоритми универсалии зеринро ҳосил мекунем:

$$\begin{cases} T_{k+1} = T_{k-1} - \frac{2h}{\lambda} q_k, \\ q_{k+1} = q_{k-1} + 2h \varphi(T_k) - \frac{2h}{x_k + \varepsilon} q_k, \end{cases} \quad (k = 1, 2, \dots, n-1) \quad (3.3.3)$$

ки ин ҷо ε – параметри хурд аст. Нақшаи фарқии (3.3.2) систему (3.3.1)-ро аз рӯи тартиби $O(h^2)$ аппроксиматсия мекунад.

Системаҳои устуворкунандаи

$$\begin{cases} q_k = \lambda \varepsilon_1, \\ \varphi(T_k) = \frac{1}{x_k + \varepsilon} q_k - \varepsilon_2, \end{cases} \quad k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (3.3.4)$$

мувофиқшуда меномем, агар барои $k=0,1,2,\dots,n$ нуқтаҳои махсусро дар ҳамвории фазавии (T_k, q_k) ёбем, дар акси ҳол онҳоро номувофиқ меномем. Дар ин ҳолат дар ҳар қадам нақшаи фарқии (3.3.3) ба намуди зерин амалӣ мешавад:

$$\frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{T_{k+1} - T_{k-1}} = \frac{\lambda(x_k + \varepsilon)(\varepsilon_2 + \varphi(T_k)) - \lambda q_k}{(x_k + \varepsilon)(\lambda \varepsilon_1 - q_k)}, \quad k=1,2,\dots,n. \quad (3.3.5)$$

Ҳангоми ҷустуҷӯи ҳалли статсионарӣ бо усули муқарраркунӣ ба сифати оператори устуворкунанда системаҳои устуворкунандаи номувофиқи (3.3.4) интиҳоб карда мешаванд. Он гоҳ ҳангоми $\varepsilon_1 \neq \frac{q_k}{\lambda}$ будан нуқтаҳои статсионарии T_k^* аз муодилаи

$$(x_k + \varepsilon)(\varepsilon_2 + \varphi(T_k)) - q_k = 0$$

муайян карда мешаванд.

Акнун амалишавии нақшаи (3.3.3)-ро дар тури ҳамвории фазавии (q_k, T_k) дида мебароем. Агар системаи дискретӣ бо муодилаи фарқии (3.2.5) шарҳ дода шавад, он гоҳ нуқтаҳои расанда ба тури масири фазавӣ аз рӯи ифодаи зерин муайян карда мешаванд:

$$\frac{\lambda(x_k + \varepsilon)(\varepsilon_2 + \varphi(T_k)) - \lambda q_k}{(x_k + \varepsilon)(\lambda \varepsilon_1 - q_k)} = M_k, \quad k=1,2,\dots,n, \quad (3.3.6)$$

ки ин ҷо M_k – зариби гармоинтиқол дар қабати k -ум мебошад.

Аз системаи муодилаҳои (3.3.6) метавон қимати функсияи туриро ёфт:

$$q_k = \frac{\lambda(x_k + \varepsilon)(M_k \varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{M_k(x_k + \varepsilon) - \lambda} - \frac{\lambda \varphi(T_k)}{M_k(x_k + \varepsilon) - \lambda}, \quad k=1,2,\dots,n, \quad (3.3.7)$$

ҳангоми $M_k \neq \frac{\lambda}{x_k + \varepsilon}$.

Мувофиқи корҳои [А-14, А-15], шарти бўҳронӣ барои ҳарорати сӯзиш ё таркиши муҳити конденсии шакли силиндрӣ аз ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$\varphi(T_k) = \varepsilon_2 - \frac{\lambda}{x_k + \varepsilon} \varepsilon_1.$$

Агар хатогии дискретизатсияи сели гармӣ ва ҳарорат шартӣ

$$\varepsilon_2 = \frac{\lambda}{x_k + \varepsilon} \varepsilon_1 \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \text{ қаноат кунонад, он гоҳ}$$

$$\varphi(T_k) = 0 \quad (k = 1, 2, 3, \dots).$$

Таносуберо байни қадамҳои тур барои сели гармӣ меёбем, ки дақиқияти якхелаи дискретизатсияи онро бо ифодаҳои (3.3.1) ва (3.3.2) таъмин менамояд. Сели гармӣ дар (3.3.1) ва (3.3.2) дар нуқтаи координатӣ қиматҳои гуногунро дорад. Бинобар ин, бо назардошти он омиле, ки хатогии дискретизатсия бояд сели гармӣ ва ҳароратро қаноат кунонанд, менависем :

$$M_k \varepsilon_1 = \varepsilon_2.$$

Акнун шартӣ бӯҳрониро барои функсияи дискретии ҳарорати сӯзиш меёбем. Барои ин функсияи дискретии сели гармиро ба намуди (3.3.7) ба системаи (3.3.2) гузошта, меёбем:

$$\begin{aligned} T_{k+1} &= T_{k-1} + \frac{2h(x_k + \varepsilon)}{M_k(x_k + \varepsilon) - \lambda} \left[\varepsilon_2 - \frac{\lambda}{x_k + \varepsilon} \varepsilon_1 + \varphi(T_k) \right], \\ q_{k+1} &= q_{k-1} + \frac{2hM_k(x_k + \varepsilon)}{M_k(x_k + \varepsilon) - \lambda} \left[\varepsilon_2 - \frac{\lambda}{x_k + \varepsilon} \varepsilon_1 + \varphi(T_k) \right]. \end{aligned} \quad (k = 1, 2, 3, \dots). \quad (3.3.8)$$

Таносубҳои (3.3.8) барои ҳама гиреҳҳои дохилии нуқтаҳои қабати k -ум системаи муодилаҳои алгебравии тартиби $(n-1)$ -ро ташкил медиҳанд.

Барои пешниҳоди равшани натиҷаҳои ҳосилшуда, ифодаи (3.2.8) истифода намуда, ҳисоби ададии вобастагии маҷрои гармӣ ва ҳароратро бо тағйирёбии нуқтаи тири координати Ox аз рӯйи хатогии безътиборкунӣ ва андозаи хурд меёбем.

$$\text{Натиҷаи ҳалли масъалаи ибтидоии } \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0, \quad q|_{x=0} = 0 \text{ дар чадвали 3.1}$$

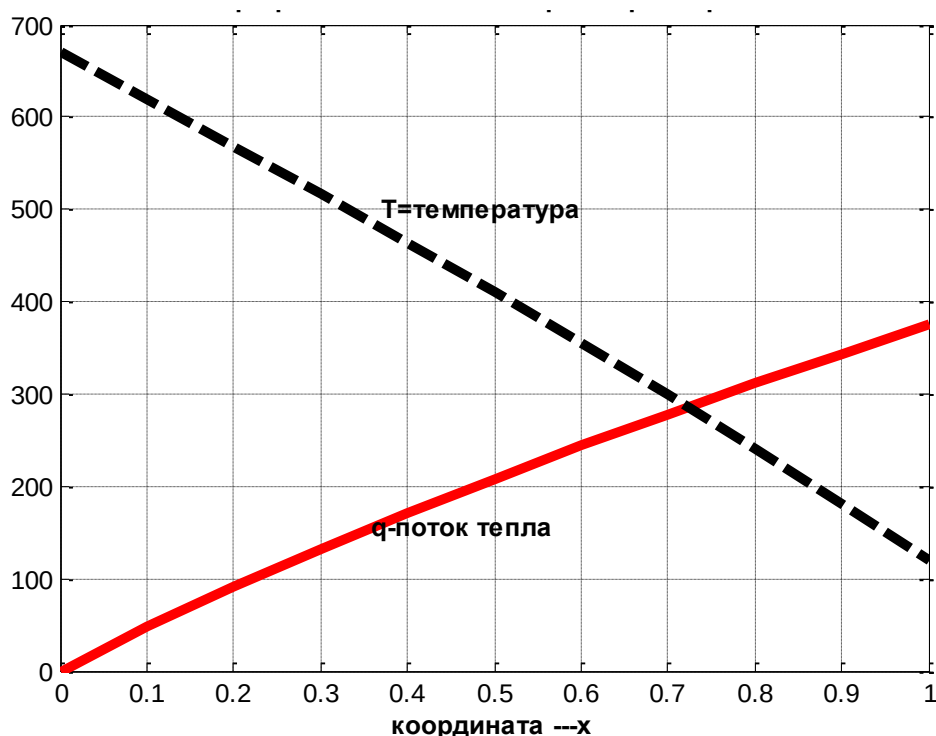
ва расми 3.2 оварда шудаанд. Ҳангоми ҳисобҳои ададӣ функсияи намуди

$$\varphi(T) = \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right) \text{ қабул карда шудааст, қиматҳои } \lambda, \quad \alpha_1, \quad \alpha_2 \text{ аз корҳои}$$

[115, 116] гирифта шудаанд: $\alpha_1 = 2500 \frac{Bm}{(M^3 \cdot K)}$; $\alpha_2 = 0.005 \frac{Bm}{(M^3 \cdot K)}$;
 $\lambda = 0,2 \frac{Bm}{(M \cdot K)}$; $\rho = 500 \frac{K^2}{M^3}$; $c_p = 2.39 \cdot 10^3 \frac{Дж}{(K^2 \cdot K)}$.

Ҷадвали 3.1 – Натиҷаи ҳалли масъалаҳои ибтидоӣ

x	0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.3
T	300.00	284.00	267.99	251.99	235.99	219.99	203.99	186.99	171.99	155.99	139.98
q	0	16.000	32.000	48.000	64.001	80.002	96.003	112.00	128.00	144.00	160.01
			2	7	4	4	6	50	67	86	08



Расми 3.2. Вобастагиҳои қиматҳои сели гармӣ ва ҳарорат ба андозаҳои муҳити силиндрӣ дар раванди сӯзиш

Чи тавре аз расми 3.2. айён мегардад, а) дар муҳити силиндрӣ бо афзоиши ҳаҷми ҷисм зичии маҷрои гармӣ тақрибан ҳаттӣ зиёд мегардад. Дар расми 3.2. б) инъикос мегардад, ки бо зиёд гардидани координати ҷисм (x) ҳарорати вай тақрибан ҳаттӣ кам мегардад. Ҳар чи андоза ε калон бошад, ҳамон қадар тақсимооти ҳарорат зиёдтар мегардад. Дар нуқтаи ($x = 0.73; T = 285K$) шарти баробарвазнӣ иҷро мегардад.

Ҳамин тариқ, нақшаҳои фарқии (3.3.2) басо устувор мебошанд. Чамъшавандаҳои ба таври сунъӣ ба системаи муодилаҳои (3.3.9) воридкардашудаи $\frac{1}{x_k + \varepsilon}$ -ро дар гиреҳҳои тури оператори дифференсиалкунии сели гармӣ ва ҳарорат бе узвҳои боқимондаи ε_1 ва ε_2 аппроксиматсия мекунем.

Барои ҳалли ададии системаи (3.3.1) нақшаи фарқии таҷзияро аз рӯи равандҳои физикӣ ва тағйирёбандаҳои фазоии намуди (3.3.2) тартиб медиҳем. Пас аз ихтисор намудани қадамҳои касрӣ дар (3.3.2) нақшаи фарқии намуди алгоритми алгебравии (3.3.8) ҳосил мекунем.

3.4. Ҳалли ададии амсилаи вобастагии тақсимои статсионарии ҳарорат ва сели гармӣ дар муҳити куравӣ

Фарз мекунем, ки раванди концентратсияи моддаи реаксияшаванда аз рӯи тағйирёбандаҳои куравии (T, q) ба амал меояд. Тасвири амсилавии гармомубодилаи статсионарӣ аз рӯи тағйирёбандаҳои фазавии куравии q , T бо ёрии системаи зерин ба амал оварда мешавад:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} - \frac{T}{(x + \varepsilon)(1 - x - \varepsilon)}, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \frac{1 - 2(x + \varepsilon)}{(x + \varepsilon)(1 - x - \varepsilon)} q. \end{cases} \quad (3.4.1)$$

Мутобики [А-3, А-5] дар атрофи нуқтаи мувозинати $(T(x_*), q(x_*))$ табдилоти фазавии куравӣ дар ин ҷо он раванд ба амал меояд. Алалхусус, дар атрофи ин нуқта зарурати идораи дурушти ҳарорат ва сели гармӣ ба миён меояд.

Дар ин ҷо $\frac{1}{(x + \varepsilon)(1 - x - \varepsilon)}$ ва $\frac{1 - 2(x + \varepsilon)}{(x + \varepsilon)(1 - x - \varepsilon)}$ – шумораи умумии компонентаҳои система мебошанд, ε параметри хурд ($0 \leq \varepsilon \ll 1$). Функцияи

$\varphi(T)$ гармомубодилаи байни унсурҳои система ва муҳити атрофро шарҳ медиҳад ки ба намуди $\varphi(T) = \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)$ дода шудааст.

Ҳалли системаи муодилаи (3.4.1) –ро чун таҳқиқи гармомубодила миёни унсурҳои системаи таҳқиқшаванда ва муҳити атрофи курашакл барои намудҳои гуногуни функсияи $\varphi(T)$ ҷустуҷӯ мекунем.

Ҳангоми шӯидани ҷисмҳои конфигуратсияшон мураккаб ё ҷисмҳои саҳт ёзида соҳаи ҳисобиро ба чандин зерсоҳаҳо тақсим мекунанд. Усулҳои адабии таҳқиқи паҳншавии статсионарии гармиро дар муҳити шакли куравӣ дида мебароем. Гузариш ба тағйирёбандаҳои фазавии куравии q , T бо ёрии системаи зерин амалӣ карда мешавад:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dx} &= -\frac{q}{\lambda} - \frac{T}{(x+\varepsilon)(1-x-\varepsilon)}, \\ \frac{dq}{dx} &= \varphi(T) - \frac{1-2(x+\varepsilon)}{(x+\varepsilon)(1-x-\varepsilon)} q. \end{aligned} \quad (3.4.1)$$

Дискретизатсияи системаи (3.4.1) таносубҳои зерин мебошанд:

$$\begin{cases} \frac{T_{k+1} - T_{k-1}}{2h} = \varepsilon_1 - \frac{1}{\lambda} q_k - \eta_{1k} T_k, \\ \frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{2h} = \varepsilon_2 + \varphi(T_k) - \eta_{2k} q_k, \end{cases} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (3.4.2)$$

Ин ҷо $\eta_{1k} = \frac{1}{(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)}$, $\eta_{2k} = \frac{1 - 2(x_k + \varepsilon)}{(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)}$ ($k=0, 1, 2, \dots, n$) -

бузургихоеанд, ки зарифҳои вобастагҳои ҳароратии дар нуқтаҳои координатии тур бударо шарҳ медиҳанд. Нақшаи фарқии (3.4.2) системаи (3.4.1)-ро бо ҳатогии тартиби $O(h^2)$ аппроксиматсия мекунад.

Системаҳои устуворкунандаи

$$\begin{cases} T_k = (x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon) \left(\varepsilon_1 - \frac{1}{\lambda} q_k \right), \\ q_k = \frac{(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)}{1 - 2(x_k + \varepsilon)} (\varepsilon_2 + \varphi(T_k)), \end{cases} \quad k=0, 1, 2, \dots, n \quad (3.4.3)$$

мувофиқ меномем, агар барои $k=0,1,2,\dots,n$ нуқтаҳои махсуси ҳамвории фазавии (T_k, q_k) ёфта тавонем, дар акси ҳол номувофиқ меномем. Он гоҳ дар ҳар қадам нақшаи фарқии (3.4.2) ба намуди зерин амалӣ мешавад:

$$\frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{T_{k+1} - T_{k-1}} = \frac{\lambda(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)(\varepsilon_2 + \varphi(T_k)) - \lambda(1 - 2(x_k + \varepsilon))q_k}{(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)(\lambda\varepsilon_1 - q_k) - \lambda T_k}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (3.4.4)$$

Ҳангоми ҳосил кардани ҳалли статсионарӣ ба усули муқарраркунӣ ба сифати оператори устуворкунанда системаи устуворкунандаи номувофиқи (3.4.3) интиҳоб карда мешавад. Барои ҳолати $T_k \neq (x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)\left(\varepsilon_1 - \frac{q_k}{\lambda}\right)$

нуқтаҳои статсионарии T_k^* аз муодилаи

$$(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)(\varepsilon_2 + \varphi(T_k)) - (1 - 2(x_k + \varepsilon))q_k = 0$$

муайян карда мешаванд.

Акнун татбиқи нақшаи (3.4.2)-ро дар тури фазавии ҳамвории (q_k, T_k) ба амал меорем. Агар системаи дискретӣ бо муодилаи фарқии (3.4.4) тасвир ёбад, пас нуқтаҳои расанда ба тури масирҳои фазавӣ бо ифодаи

$$\frac{\lambda(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)(\varepsilon_2 + \varphi(T_k)) - \lambda(1 - 2(x_k + \varepsilon))q_k}{(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)(\lambda\varepsilon_1 - q_k) - \lambda T_k} = M_k, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (3.4.5)$$

муайян карда мешаванд, ки ин ҷо M_k зариби гармоинтиқоли қабати k -ум мебошад.

Аз системаи (3.4.5) қиматҳои функсияи турии сели гармӣ дар муҳити куравӣ ёфта шуда метавонанд:

$$q_k = \frac{\lambda(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)(\varepsilon_2 - M_k\varepsilon_1 + \varphi(T_k)) + \lambda M_k T_k}{\lambda(1 - 2(x_k + \varepsilon)) - M_k(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (3.4.6)$$

$$\text{дар мавриди } M_k \neq \frac{\lambda(1 - 2(x_k + \varepsilon))}{(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)}.$$

Шарти бўҳронӣ барои ҳарорати сӯзиш ё таркиш дар муҳити конденсии шакли куравӣ аз муодилаи зерин ёфта мешавад:

$$\varphi(T_k) + \frac{1 - 2(x_k + \varepsilon)}{(x_k + \varepsilon)^2(1 - x_k - \varepsilon)^2} T_k = \varepsilon_2 - \frac{\lambda}{(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)} \varepsilon_1.$$

Агар хатогиҳои дискретизатсияи сели гармӣ ва ҳарорат ба шарти

$$\varepsilon_2 = \frac{\lambda}{(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)} \varepsilon_1 \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \text{ ҷавобгӯ бошанд, он гоҳ}$$

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

Акнун таносуби байни қадамҳои турро барои сели гармӣ меёбем, ки дақиқии якхелаи дискретизатсияи онро бо ифодаҳои (3.4.1) ва (3.4.2) таъмин мекунад. Селҳои гармӣ дар (3.4.1) ва (3.4.2) дар нуқтаи координатӣ қиматҳои гуногун доранд. Аз ин рӯ, бо назардошти он, ки хатогиҳои дискретизатсия бояд сели гармӣ ва ҳароратро қаноат кунонанд, менависем:

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

Ҳоло шарти бўҳрониро барои функсияи дискретии ҳарорати сӯзиш меёбем. Барои ин функсияи дискретии сели гармиро ба намуди (3.4.6) ба системаи (3.4.2) гузошта, меёбем:

$$\begin{aligned} T_{k+1} = & T_{k-1} + \frac{2h(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)}{\lambda(1 - 2(x_k + \varepsilon)) - M_k(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)} \cdot \\ & \cdot \left[\frac{\lambda(1 - 2(x_k + \varepsilon))}{(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)} \varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varphi(T_k) \right] - \\ & - \frac{2h\lambda(1 - 2(x_k + \varepsilon))}{(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)[\lambda(1 - 2(x_k + \varepsilon)) - M_k(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)]} T_k, \\ q_{k+1} = & q_{k-1} + \frac{2hM_k(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)}{\lambda(1 - 2(x_k + \varepsilon)) - M_k(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)} \cdot \\ & \cdot \left[\frac{\lambda(1 - 2(x_k + \varepsilon))}{(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)} \varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varphi(T_k) \right] - \\ & - \frac{2h\lambda(1 - 2(x_k + \varepsilon))M_k}{(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)[\lambda(1 - 2(x_k + \varepsilon)) - M_k(x_k + \varepsilon)(1 - x_k - \varepsilon)]} T_k. \end{aligned} \quad (3.4.7)$$

Таносубҳои (3.4.7) барои ҳамаи гиреҳҳои дохилии нуқтаҳои қабати k -ум системаи муодилаҳои алгебравии тартиби $(n-1)$ -умро ташкил медиҳанд.

Аз таносубҳои (3.4.7) истифода карда, ҳисоби ададии вобастагҳои сели гармӣ ва ҳароратро аз координатаи тири Ox аз рӯи ҳатогии дискретизатсия ва параметри хурд анҷом медиҳем.

Натиҷаҳои ҳалли масъалаи ибтидоии $\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0, \quad q|_{x=0} = 0$ дар

ҷадвали 3.2 ва расми 3.3 оварда шудаанд. Барои ҳисобҳо функсияи

$\varphi(T) = \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)$ интиҳоб мекунем, қиматҳои $\lambda, \alpha_1, \alpha_2$ қори [115]

гирифта шудаанд: $\lambda = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \quad \rho = 500 \text{ кг}/\text{м}^3; \quad c_p = 2.39 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$

$\alpha_1 = 2500 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}); \quad \alpha_2 = 0.005 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}^3).$

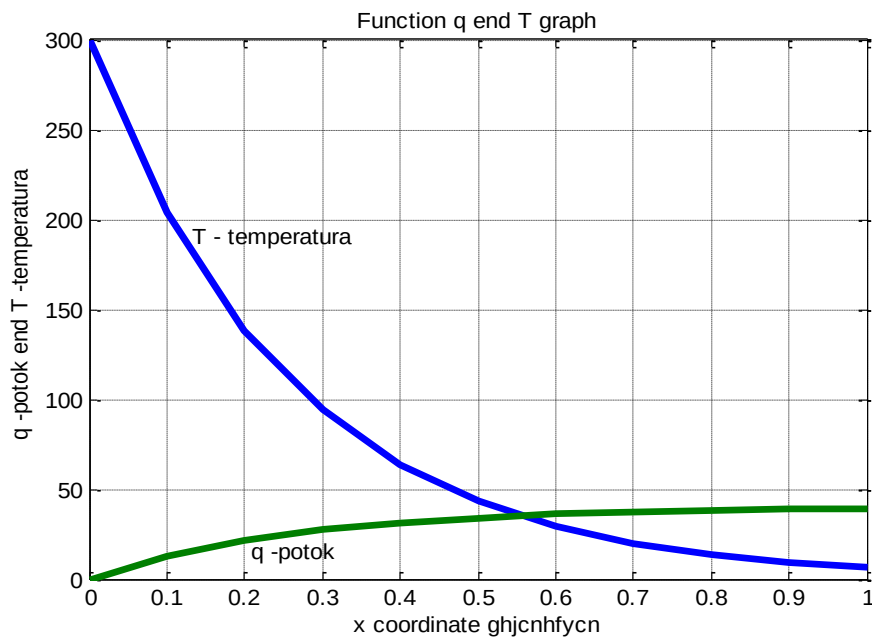
Ҷадвали 3.2 – Натиҷаи ҳалли масъалаҳои ибтидоӣ

x	0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.3
T	300.0	203.8	138.5	94.1	64.0	43.5	29.5	20.1	13.67	9.297	6.3221
	0	848	712	849	211	196	850	132	47	7	
q	0	12.81	21.52	27.4	31.4	34.1	36.0	37.3	38.17	38.76	39.157
		54	38	419	639	974	553	182	67	03	1

Аз ҷадвали 3.2 бармеояд, ки дар чараёни сӯзиши муҳит мавҷи гармӣ ҳосил мешавад [115, 116], ки амплитудааш барои параметрҳои додашуда ба

қимати доимии $\sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}} \text{ К}$ майл мекунад. Барои шартӣ додашуда дар ҳарорати T_0

$< 250 \text{ К}$ даргирии чуб ба амал намеояд [115, 116]. Ҳарорати ибтидоии манбаъ ба афзоиши сели гармӣ оварда мерасонад.



Расми 3.3. Вобастагиҳои сели гармӣ ва ҳарорат аз андозаи муҳити куравӣ

Тавре ки мебинем, дар муҳити куравӣ бо афзоиши андозаи он сели гармӣ қариб хаттӣ меафзояд, ҳарорат бошад қариб хаттӣ паст мешавад. Чанде параметри ε калонтар бошад, ҳамон қадар тақсимои ҳароратӣ фарозтар мешавад. Дар нуқтаи $(x = 0.55; T = 47.50^{\circ})$ шароити мувозинатӣ иҷро мешаванд.

Хулосаи боби сеюм

Бар боби мазкур тасвири амсилавии нақшаи ададии ҳалли масъалаи вобастагии тақсимои статсионарии ҳарорат ба сели гармӣ дар муҳити конденсӣ пешниҳод карда шудааст. Мутобиқ ба ин натиҷаҳои пешниҳодшуда имкон доданд, ки рафтори сели гармӣ ва ҳарорат дар фосилаҳои калон барои раванди сӯзиш дар муҳитҳои шаклҳои гуногун омӯхта шаванд.

Ғояи асосии тасвири амсилавии усулҳои ҳисобӣ барои системаи муодилаҳо ин ивази функсияҳои доимӣ ва ҳосилаҳои онҳо дар координатаҳо, инчунин дар шартҳои сарҳадӣ бо қиматҳои тахминӣ дар нуқтаҳои алоҳидаи тур мебошад. Дар натиҷаи чунин ивазкунии система функсияи тағйирёбандаи дифференсиалӣ ба фарқкунии қиматҳои функсия дар нуқтаҳои алоҳидаи дискретӣ оварда мешавад. Системаи муодилаҳои дифференсиалӣ дар натиҷаи

чунин табдилот бо таносуби эквивалентӣ ба намуди фарқҳои охиринок иваз карда мешавад, ки ҳалли он бо иҷрои амалиёти содаи алгебравӣ ёфта мешавад. Бо истифода аз ин усул вобастагиҳои зичии сели гармӣ аз ҳарорат таҳқиқ карда шуданд, ки бо натиҷаҳои дар адабиёт буда мувофиқаи хуб доранд.

Аппарати математикӣ ба намуди нақшаҳои фарқие коркард карда шудааст, ки аз то ин замон будаҳо бо он фарқ мекунад, ки бо ёрии он метавон муодилаҳои статсионарию куллан нави физикаи математикиро бо зарбҳои тағйирёбанда ва доимӣ ҳал кард.

Шароити ҳолати мувозинатии сели гармӣ ва ҳарорат дар муҳити фазавӣ муайян карда шуданд, ки дар онҳо сели гармӣ ва ҳарорат мекӯчанд ва соҳаро ба ду қисм устувор ва ноустувор тақсим мекунанд. Алгоритмҳо ва барномаҳои татбиқи нақшаҳои фарқӣ барои ҳалли адабии муодилаҳои сӯзиш дар координатаҳои лагранжӣ, инчунин амсилаҳои математикии раванди сӯзиш дар муҳитҳои конденсии мушаххас (девори ҳамвор, силиндр, кура) коркард карда шуданд.

БОБИ IV. ҲАЛЛИ ТАҲЛИЛӢ ВА АДАДИИ АМСИЛАИ ТАҚСИМОТИ ҲАРОРАТ ДАР МУҲИТҲОИ КОНДЕСИИ ДУЧЕНАКА

Дар боби мазкур ҳалли масъалаи ноустувори муайянкунии функсияи дар раҳи беохир гармоникӣ мавриди муҳокима қарор мегирад, ки чун ҳалли масъалаи статсионарии гармигузаронӣ ҳисобида мешавад. Фарз карда мешавад, ки дар як рӯи раҳ қиматҳои сели гармӣ ва ҳарорат маълуманд, дар тарафи дигари он ягон шартҳои дигар дода нашудаанд. Иловатан қиматҳои ҳарорат дар баъзе нуқоти раҳ дода шудаанд. Фарз карда мешавад, ки қиматҳои ҳарорат мутлақ дақиқ чен карда шудаанд, қиматҳои сели гармӣ бошанд бо ягон қимати ченшавандаи хатогӣ. Усули пасткунии таъсири хатогихои шароити сарҳадии додашуда ба ҳалли масъала бо истифода аз қиматҳои иловатан додашудаи ҳарорат ҷустуҷӯ карда мешаванд. Набудани вобастагии бефосилаи паҳншавии гармӣ аз ҳарорат ва зичии сели гармӣ мушкилоти зиёдеро ба бор меорад, алалхусус ҳангими ҳалли ададии масоили татбиқӣ. Бинобар ин усулҳои гуногуни тахминие раванқ дода шуда буданд [61, 166], ки имконияти сохтани чунин ҳалҳои ададиеро фароҳам меоранд, ки ба қиматҳои ҳарорат ва сели гармӣ бефосила вобаста бошанд. Усулҳои ададии ҳалли масоили ноустувор дар аксарияти ҳолатҳо бо мушкилӣ асоснок карда мешаванд, дар чараёни ҳисобҳои бисёрченака мушкилоти зиёде пеш меод, натиҷаҳои татбиқи онҳо бевосита ягон умумкунонии назариявиро намедиханд ва бояд чун натиҷаҳои таҷрибаҳои «физикаи ҳисобӣ» қабул карда шаванд [8]. Дар алоқа бо ин усулҳо таҳлилӣ раванқи васеъ пайдо кардаанд, ки ба ҷумлаи онҳо усули қаторҳои махсус дохил мешавад, ки поёнтар мавриди муҳокима қарор мегирад.

4.1. Тасвири амсилавии масъалаи тақсимоти дученакаи статсионарии ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ

Масъалаи муайянкунии тақсимоти статсионарии гармиро дар раҳи беохир дида мебароем, ки бо функсияҳои гармоникӣ тавсиф дода мешавад.

Бигуздор паҳншавии воқеъии гармӣ дар раҳи $D = \{(x, y) : -\infty < x < \infty, 0 \leq y \leq y_0\}$ дақиқ бо функсияи $u(x, y)$ тавсиф карда мешавад [170, 173-178, А-12]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = f(x, y), \quad (4.1.1)$$

$$u(x, 0) = \varphi(x), \quad \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} = \psi(x), \quad (4.1.2)$$

ки ин ҷо $f(x, y)$, $\varphi(x)$ ва $\psi(x)$ — мувофиқан, функсияи манбаъи гармӣ, функсияи додашудаи ҳарорат ва функсияи додашудаи сели гармӣ. Бигуздор дар масъалаи (4.1.1)-(4.1.2) $f(x, y) \equiv 0$ ва функсияҳои $\varphi(x)$ ва $\psi(x)$ шартҳои зеринро қаноат мекунонанд:

- 1) $\varphi(x)$ ва $\psi(x)$ функсияҳои беохир дифференциалшавандаанд;
- 2) ҳосилаҳои функсияи ҳарорат $\varphi^{(k)}(x)$ ва сели гармӣ $\psi^{(k)}(x)$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) ҳангоми $|x| \rightarrow \infty$ ба нол тезтар аз дилхоҳ дараҷаи манфии $|x|$ майл мекунонд.

Дар ин ҳолат барои ёфтани ҳалҳои тахминии муодилаи (4.1.1) бо шартҳои (4.1.2) метавон аз усулҳои таҳлилӣ истифода кард. Баъзе аз тариқаҳои сохтани усулҳои таҳлили ҳалли муодилаҳои (4.1.1)-ро шарҳ медиҳем. Барои ин қатори махсуси намуди зеринро дида мебароем:

$$u(x, y) = \sum_{k=0}^{\infty} y^k (a_k(x) + b_k(x)), \quad (4.1.3)$$

$$a_0(x) = \varphi(x), \quad a_1(x) = 0, \quad b_0(x) = 0, \quad b_1(x) = \psi(x), \quad (4.1.4)$$

Тасдиқ (ниг. ба [166]). Дар ҳолати сохтмони рекуррентии мувофиқи зарибҳои $a_k(x)$ и $b_k(x)$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) қатори (4.1.3) ҳалли формалии масъалаи вобастагии паҳншавии статсионарии гармӣ аз ҳарорат ва сели гармӣ мебошад.

Барои исбот кардани одилона будани ин тасдиқ аввал фарз мекунем, ки:

- 1) ҳалҳои намуди (4.1.3) дар сурати ҳосилаи тартиби $k = 2$ аз рӯи y одилонаанд.

Тасдиқи мазкур бо гузориши қатори (4.1.3) ба муодилаи (4.1.1), дифференциалкунӣ ва татбиқи таносубҳои (4.1.3) тафтиш карда мешавад. Баъд, пас аз баробаркунии ифодаҳои дараҷаҳои ҳосилашон аз рӯи y^2 ($m=0,1,2$) якхела зарибҳои $a_k(x)$ ва $b_k(x)$ ($k=0,1,2$) қатор пайдарҳам аз занҷири муодилаҳои дифференциалшудаи (4.1) (барои аъзои озоди $a_0(x)$ и $b_1(x)$) ҷойгир мешаванд. Қайд мекунем, ки рекуррентнокии ҷустуҷӯи зарибҳои қатор дар ин ҳолат аз ҳисоби махсусияти намуди ифодаи (4.1.2) ба даст оварда мешавад.

Дар ҳақиқат, ин тасдиқ бо воситаи гузориши қатори (4.1.3) ба муодилаи (4.1.1) ва дифференциалкунии қаторҳо бо назардошти таносубҳои (4.1.2) тафтиш карда мешавад. Фарз мекунем, ки дар шарти (4.1.2) функцияҳои $\varphi(x)$ ва $\psi(x)$, инчунин ҳама ҳосилаҳои онҳо маълуманд. Барои ҳосил намудани киматҳои дақиқи зарибҳои $a_k(x)$, $b_k(x)$ ($k=0,1,2,\dots$) муодилаи энергия барои ҳосиятҳои статсионари гармиро (4.1.1) ба шакли зерин табдил медиҳем [А-12]:

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}. \quad (4.1.5)$$

Инак, ҳосилаҳои тартиби ихтиёриро аҳ функцияи (4.1.3) аз рӯи координатаҳои x ва y ҳисоб карда, ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} &= \sum_{k=0}^{\infty} y^k \frac{da_k(x)}{dx} + y^k \frac{db_k(x)}{dx}; & \frac{\partial u}{\partial y} &= \sum_{k=1}^{\infty} k y^{k-1} a_k(x) + k y^{k-1} b_k(x); \\ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} &= \sum_{k=0}^{\infty} y^k \frac{d^2 a_k(x)}{dx^2} + y^k \frac{d^2 b_k(x)}{dx^2}; & \frac{\partial u}{\partial y} &= \sum_{k=1}^{\infty} k y^{k-1} a_k(x) + k y^{k-1} b_k(x); \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) &= \sum_{k=2}^{\infty} k(k-1) y^{k-2} a_k(x) + k(k-1) y^{k-2} b_k(x); \end{aligned}$$

Пасон, ин таҷзияҳоро ба муодилаи (4.1.5) гузошта истода, ифодаи (4.1.2) ба назар гирифта истода, меёбем:

$$a_2(x) = -\frac{1}{1 \cdot 2} \left(\frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} \right).$$

Бори дигар ифодаи (4.1.5)-ро аз рӯи у дифференсиронида, меёбем:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) = \sum_{k=1}^{\infty} k y^{k-1} \frac{d^2 a_k(x)}{dx^2} + k y^{k-1} \frac{d^2 b_k(x)}{dx^2};$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) = \sum_{k=3}^{\infty} k(k-1)(k-2) y^{k-3} a_k(x) + k(k-1)(k-2) y^{k-3} b_k(x);$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) = -\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\partial u}{\partial x}.$$

Аз ифодаҳои ҳосилшуда пайдо мекунем:

$$b_2(x) = -\frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3} \left(\frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} \right).$$

Ҳамин тариқ, ҳалҳои масъалаи (4.1.1)-(4.1.2) ба намуди (4.1.3) шакли зеринро мегиранд:

$$u(x, y) = \varphi(x) + \psi(x) - \frac{1}{1 \cdot 2} \left(\frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} \right) - \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3} \left(\frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} \right). \quad (4.1.6)$$

2) тасдиқ барои ҳама ҳосилаҳои тартиби k аз рӯи U одилона аст, ки барояшон $2 < k \leq n$;

$$\frac{\partial^4 u}{\partial x^4} = \sum_{k=0}^{\infty} y^k \frac{d^4 a_k(x)}{dx^4} + y^k \frac{d^4 b_k(x)}{dx^4};$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \right) &= \\ &= \sum_{k=4}^{\infty} k(k-1)(k-2)(k-3) y^{k-4} a_k(x) + k(k-1)(k-2)(k-3) y^{k-4} b_k(x); \end{aligned}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \right) = -\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) = \frac{\partial^4 u}{\partial x^4};$$

$$\sum_{k=4}^{\infty} k(k-1)(k-2)(k-3)y^{k-4}a_k(x) + k(k-1)(k-2)(k-3)y^{k-4}b_k(x) =$$

$$= \sum_{k=0}^{\infty} y^k \frac{d^4 a_k(x)}{dx^4} + y^k \frac{\partial^4 b_k(x)}{\partial x^4};$$

.....

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\dots \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \right) \right) \right) \right) \dots \right) =$$

$$= \sum_{k=m-1}^{\infty} k(k-1) \dots (k-m)y^{k-m+1}a_k(x) +$$

$$+ \sum_{k=m-1}^{\infty} k(k-1)(k-2) \dots (k-m)y^{k-m+1}b_k(x);$$

$$\frac{\partial^{2m-2}}{\partial x^{2m-2}} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) = \sum_{k=1}^{\infty} ky^{k-1} \frac{d^{2m-2}a_k(x)}{dx^{2m-2}} + ky^{k-1} \frac{d^{2m-2}b_k(x)}{dx^{2m-2}};$$

$$y^{\mu} \frac{\partial}{\partial y} \left(y^{-\mu} \frac{\partial}{\partial y} \left(\dots y^{\mu} \frac{\partial}{\partial y} \left(y^{-\mu} \frac{\partial}{\partial y} \left(y^{\mu} \frac{\partial}{\partial y} \left(y^{-\mu} \frac{\partial}{\partial y} \left(y^{\mu} \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \right) \right) \right) \dots \right) =$$

$$= (-1)^m \left(\frac{\partial^{2m-2}}{\partial x^{2m-2}} \left(y^{\mu} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \lambda \frac{\partial^{2m-4}}{\partial x^{2m-4}} \left(y^{\mu} \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right);$$

$$\sum_{k=m-1}^{\infty} k(k-1) \dots (k-m)y^{k-m+1}a_k(x) +$$

$$+ \sum_{k=m-1}^{\infty} k(k-1) \dots (k-m)y^{k-m+1}b_k(x) =$$

$$= (-1)^m \sum_{k=1}^{\infty} ky^{k-1} \frac{d^{2m-2}a_k(x)}{dx^{2m-2}} + ky^{k-1} \frac{d^{2m-2}b_k(x)}{dx^{2m-2}};$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\dots \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \right) \right) \right) \right) \dots \right) =$$

$$= \sum_{k=m}^{\infty} k(k-1) \dots (k-m)y^{k-m+1}a_k(x) + \sum_{k=m}^{\infty} k(k-1) \dots (k-m)y^{k-m+1}b_k(x);$$

$$\frac{\partial^{2m} u}{\partial x^{2m}} = \sum_{k=0}^{\infty} y^k \frac{d^{2m}a_k(x)}{dx^{2m}} + y^k \frac{d^{2m}b_k(x)}{dx^{2m}};$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\dots \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \right) \right) \right) \dots \right) = (-1)^m \left(\frac{\partial^{2m} u}{\partial x^{2m}} \right);$$

$$\sum_{k=m}^{\infty} k(k-1) \dots (k-m) y^{k-m+1} a_k(x) + \sum_{k=m}^{\infty} k(k-1) \dots (k-m) y^{k-m+1} b_k(x) = (-1)^m \sum_{k=0}^{\infty} y^k \frac{d^{2m} a_k(x)}{dx^{2m}} + y^k \frac{d^{2m} b_k(x)}{dx^{2m}}.$$

Пас аз умумикунонӣ ба тартиби ихтиёрии ҳосила аз рӯи Y барои муодилаи (4.1.5) ҳосил мекунем

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\dots \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \right) \right) \right) \dots \right) = (-1)^m \left(\frac{\partial^{2m} u}{\partial x^{2m}} \right) \quad (3.7)$$

барои тартиби чуфти ҳосилаҳо m ва

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\dots \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \right) \right) \right) \dots \right) = (-1)^m \left(\frac{\partial^{2m}}{\partial x^{2m}} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right). \quad (4.8)$$

барои тартиби тоқи ҳосилаҳо m .

Шарти ҳалшавандагии якқиматаи муодилаҳои (4.1.5) шарте мемонад, ки дар атрофи нуқтаи $(x, y=0) \in D$ барои муодилаи додашудаи (4.1.5) тавсифӣ нест. Дар соҳаи D ҳангоми $y=0$ будан чунин шартҳо ҳосил мешаванд:

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{y=0} = \frac{da_0(x)}{dx}; \quad \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} = a_1(x); \quad \left. \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right|_{y=0} = \frac{d^2 a_0(x)}{dx^2}; \quad \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} = b_1(x);$$

$$\left. \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right|_{y=0} = 1 \cdot 2 \cdot a_2(x); \quad \left. \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right|_{y=0} = \frac{d^2 b_1(x)}{dx^2};$$

$$\left. \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \right|_{y=0} = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot b_3(x);$$

$$\left. \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \right) \right|_{y=0} = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot a_4(x); \quad \left. \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} \right|_{y=0} = \frac{d^4 a_0(x)}{dx^4};$$

.....

$$\left. \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\dots \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \right) \right) \right) \right) \dots \right) \right|_{y=0} = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot m \cdot b_m(x);$$

$$\left. \frac{\partial^{2m-2}}{\partial x^{2m-2}} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right|_{y=0} = \frac{d^{2m-2} b_1(x)}{dx^{2m-2}};$$

$$\left. \frac{\partial}{\partial y} \left(\dots \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \right) \right) \right) \right) \dots \right) \right|_{y=0} = 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot m \cdot a_{2m}(x);$$

$$\left. \frac{\partial^{2m} u}{\partial x^{2m}} \right|_{y=0} = \frac{d^{2m} a_0(x)}{dx^{2m}}.$$

Аз ин таносубҳо аён аст, ки зарибҳои қатори (4.1.3), мутобиқ ба формулаҳои рекуррентии (4.1.7) ва (4.1.8), дар атрофи нуқтаи $(x, y = 0) \in D$ ба функсияҳои ҳарорат $\varphi(x)$ ва сели гармӣ $\psi(x)$ мувофиқат мекунад:

$$a_{2k}(x) = (-1)^k \sum_{n=0}^k C_n^k \frac{d^{2(k-n)} \varphi(x)}{dx^{2(k-n)}}, \quad b_{2k}(x) = 0, \quad k = 1, 2, 3, \dots; \quad (4.1.9)$$

$$a_{2k+1}(x) = 0, \quad b_{2k+1}(x) = (-1)^k \sum_{n=0}^k C_n^k \frac{d^{2(k-n)} \psi(x)}{dx^{2(k-n)}}, \quad k = 1, 2, 3, \dots. \quad (4.1.10)$$

3) бо истифода аз фарзияҳои 1) ва 2) исбот мекунем, ки тасдиқ барои дилхоҳ ҳосилаҳои тартиби $k = n + 1$ аз рӯи u одилона аст.

Дар ҳақиқат, дар ин занҷири баробариҳо ҳаргоми гузариш аз ифодаи яқум ба дуумаш шарти 2) истифода карда шудааст. Азбаски шартҳои 1) ва 2) иҷро шудаанд, пас бинобар шартҳои (4.4) зарибҳои $a_{k+1}(x)$, $b_{k+1}(x)$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) пеш аз зарибҳои $a_k(x)$, $b_k(x)$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) ҳисоб карда мешаванд, агар шартҳои (4.1.5) иҷро шавад. Бояд қайд намуд, ки ифодаҳои (4.1.9) ва (4.1.10) барои ҳама тартибҳои ҳосилаҳо аз рӯи u дурустанд..

Қиматҳои зарибҳои ҳосилшударо аз (4.1.9) ва (4.1.10) ба (4.1.3) гузошта, ифодаро барои майдони ҳарорат ҳосил мекунем

$$\begin{aligned}
u(x, y) = & \varphi(x) + y\psi(x) + \\
& + \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \frac{y^{2k}}{k!} \left[\sum_{n=0}^k C_n^k \frac{d^{2(k-n)}\varphi(x)}{dx^{2(k-n)}} + \right. \\
& \left. + y \sum_{n=0}^k C_n^k \frac{d^{2(k-n)}\psi(x)}{dx^{2(k-n)}} \right].
\end{aligned}
\tag{4.1.11}$$

Таносуби (4.1.11) сохтмони рекуррентии зарибҳои қатори (4.1.3)-ро таъмин менамояд ва ҳалли муодилаи (4.1.1) мебошад, ки шарти (4.1.2)-ро қаноат мекунонад.

Ҳамин тариқ, дар сурати сохтмони рекуррентии мувофиқи зарибҳои $a_k(x)$, $b_k(x)$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) қатори (4.1.3) ҳалли формалии муодилаи (4.1.1) мешавад.

Миёни қаторҳои мавҷуда маълумтарин ва бештар истифодашавандатарин барои тасвири ҳалҳои масъалаи Коши барои муодилаҳо аз рӯи ҳосилаҳои хусусӣ қатори Тэйлор мебошад. Аммо, одатан, барои қатори Тэйлор танҳои наздикшавии локалӣ хос аст, илова ба ин, бисёр вақт наздикшавии басо сушт. Умуман, қатори талаботи ба зарибҳо тасвияшуда бо роҳи дифференсиалкунии пайдарҳам бо ёрии баъзе системаҳои рекуррентии муодилаҳои алгебравӣ ёфта мешаванд.

Хосияти махсуси чунин тариқа он аст, ки қатор барои ҳалли масъалаи Коши ҳамон сохторро дорад, ки қатор барои маълумоти ибтидоӣ дорад, аз ин рӯ наздикшавии қаторҳои сохташуда бояд бо фарзияи наздикшавии маълумоти ибтидоӣ аз рӯи истилоҳоти мансубият ба ягон ченаки фазои Банахӣ (C, L_2) омӯхта шавад.

Тасдиқ дар бораи мавҷудияти ҳалли (4.1.11), дар бораи айнияти ин ҳал ва ягонагии он дар синфи функцияҳои таҳлилӣ мундариҷаи теоремаи классикии маълуми Коши-Ковалевская [179-181] мебошад.

Ошкор аст, ки ҳалли масъалаи (4.1.1)-(4.1.2) бо усули сохтмони формалии тархҳои махсуми қаторҳо бо зарибҳои намуди (4.1.9) ва (4.1.10) дар шакли (4.1.11) танҳо бо наздикшавии локалӣ тавсиф дода мешавад. Аз рӯи

чунин шарҳ ҳалҳои (4.1.11), ки дар онҳо функцияҳои ҳарорат $\varphi(x)$ ва сели гармӣ $\psi(x)$ аз таҷриба бо ягон ҳатогиҳои додашуда маълуманд, бояд он омиле низ ба назар гирифта шавад, ҳисоби операторҳои дифференсиронии функцияҳои ҳарорат $\varphi(x)$ ва сели гармӣ $\psi(x)$, яъне $\frac{d^{2k}\varphi(x)}{dx^{2k}}, \frac{d^{2k}\psi(x)}{dx^{2k}} \quad (k = 1, 2, \dots)$, нисбат ба ангешиҳои маълумоти ибтидоӣ ноустуворанд [182, 182]. Биноан барои ёфтани қиматҳои тахминии зарбҳо маҷбурем, то системаи беохирӣ муодилаҳои ҳаттиро кӯтаҳ кунем.

4.2. Тартибдиҳии ҳалҳои таҳлилии тахминии масъалаи

таксимоти

статсионарии дученакаи ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ

Дар ҳалли масъалаи (4.1.1)-(4.1.2) намуди (4.1.11) адади охириноки ҷамъшавандаҳо N ниғаҳ медорем.

Бигузор,

$$Z_k(x) = \frac{d^{2k}\varphi(x)}{dx^{2k}}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N, \quad (4.2.1)$$

$$R_k(x) = \frac{d^{2k}\psi(x)}{dx^{2k}}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (4.2.2)$$

Системаҳои (4.2.1) ва (4.2.2)-ро ба функцияи $\exp(isx)$ зарб карда аз рӯи x аз $-\infty$ то ∞ интеграл мегирем, яъне аз табдилоти бефосилаи Фурье истифода мебарем. Дар натиҷа системаи муодилаҳои интегралӣ чини якумро нисбат ба функцияҳои номаълуми $Z_k(x), R_k(x) \quad (k = 0, 1, 2, \dots, N)$ ҳосил мекунем [177, 178]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} Z_k(x) \exp(isx) dx = (-1)^k s^{2k} \Phi(s), \quad k = 0, 1, 2, \dots, N, \quad (4.2.3)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} R_k(x) \exp(isx) dx = (-1)^k s^{2k} \Psi(s), \quad k = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (4.2.4)$$

Дар ҳақиқат, ӯ истифода аз табдилоти Фурье ва хосиятҳои он [170, 183], барои функцияи ҳарорат $\varphi(x)$ ҳосил мекунем:

$$\Phi(s) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) \exp(isx) dx, \quad (4.2.5)$$

Мутобиқ ба фарзияҳои дар боло зикршуда дар бораи рафтори функсияи $\varphi(x)$ ($\varphi(x) \in K$) ва хосиятҳои табдилоти Фурье [183], интеграл (4.2.5) наздикшаванда аст, бинобар ин табдилоти Фурье муайяншуда аст.

Аз хосиятҳои табдилоти Фурье [183] бармеояд, ки

$$(-1)^k s^{2k} \Phi(s) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^{2k} \varphi(x)}{dx^{2k}} \exp(isx) dx, \quad k = 1, 2, \dots \quad (4.2.6)$$

Ошкор аст, ки

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^{2k} \varphi(x)}{dx^{2k}} \exp(isx) dx = \lim_{L \rightarrow \infty} \int_{-L}^L \frac{d^{2k} \varphi(x)}{dx^{2k}} \exp(isx) dx, \quad k = 1, 2, \dots$$

Акнун ин ифода ро метавонем қисм ба қисм интегралем:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^{2k} \varphi(x)}{dx^{2k}} \exp(isx) dx &= \lim_{L \rightarrow \infty} \left[\frac{d^{2k-1} \varphi(x)}{dx^{2k-1}} \exp(isx) \right]_{-L}^L - (is) \int_{-L}^L \frac{d^{2k-1} \varphi(x)}{dx^{2k-1}} \exp(isx) dx \\ &= -(is) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^{2k-1} \varphi(x)}{dx^{2k-1}} \exp(isx) dx, \quad k = 1, 2, \dots \end{aligned}$$

Бо истифода аз интеграл бисёрқаратаи қисм ба қисм ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^{2k} \varphi(x)}{dx^{2k}} \exp(isx) dx &= \lim_{L \rightarrow \infty} \left[\frac{d^{2k-1} \varphi(x)}{dx^{2k-1}} \exp(isx) \right]_{-L}^L - (is) \int_{-L}^L \frac{d^{2k-1} \varphi(x)}{dx^{2k-1}} \exp(isx) dx = \\ &= -(is) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^{2k-1} \varphi(x)}{dx^{2k-1}} \exp(isx) dx = \\ &= -(is) \lim_{L \rightarrow \infty} \left[\frac{d^{2k-2} \varphi(x)}{dx^{2k-2}} \exp(isx) \right]_{-L}^L - (is) \int_{-L}^L \frac{d^{2k-2} \varphi(x)}{dx^{2k-2}} \exp(isx) dx = \\ &= \dots = (-1)^k (is)^{2k} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) \exp(isx) dx = (-1)^k s^{2k} \Phi(s), \quad k = 1, 2, \dots \end{aligned}$$

Чунин амал босалоҳият аст, чунки интегралҳо ҳосилшуда бо ёрии интегралӣ

$\int_{-\infty}^{\infty} |s|^{2k} \Phi(s) ds$ мажор карда мешавад, ки наздикшавиаш аз хосиятҳои

табдилоти Фурье ва хосиятҳои 1), 2) барои функсияи $\varphi(x)$ бармеояд.

Айнан ҳамин ҳел ифодаҳо барои функсияи сели гармӣ ҳосил шуда метавонанд:

$$(-1)^k s^{2k} \Psi(s) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^{2k} \psi(x)}{dx^{2k}} \exp(isx) dx, \quad k = 1, 2, \dots \quad (4.2.7)$$

Акнун табдилоти баръакси Фурье-функсияҳои ҳарорат $\varphi(x)$ ва сели гармиро $\psi(x)$ меёбем. Ифодаи (4.2.5)-ро ба $\exp(-ist)$ зарб мезанем ва аз рӯи s аз $-\infty$ то ∞ интеграл мегирем, дар тарафи рости ифодаи ҳосилшуда бошад тартиби интегрониро тағйир медиҳем ва ҳосил мекунем:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(s) \exp(-ist) ds = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp(is(x-t)) ds \right] dx.$$

Мувофиқи [170, 183], интегралҳои Фурье $\int_{-\infty}^{\infty} \exp(isx) dx$ бо функсияи δ

алоқаманд аст. Он гоҳ аз

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp(isx) dx = 2\pi \delta(s),$$

бармеояд, ки

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp(is(x-t)) ds = 2\pi \delta(x-t).$$

Аз ин рӯ

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(s) \exp(-ist) ds = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) \delta(x-t) dx = 2\pi \varphi(t).$$

Аз ин ҷо меёбем:

$$\varphi(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(s) \exp(-ist) ds. \quad (4.2.8)$$

Таносуб барои функсияи ҳарорати (4.2.5) ва (4.2.8) барои функсияи маҷрои гармӣ $\psi(x)$ бо ҳамин монандӣ инъикос мешавад:

$$\Psi(s) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(x) \exp(isx) dx, \quad \psi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Psi(s) \exp(-isx) ds. \quad (4.2.9)$$

Инак, аз табдилоти рости Фурйеи ифодаҳои (4.2.5) ва (4.2.8) бар омада, ифодаро барои табдилоти баръакси Фурйеи ифодаҳои (4.2.8), (4.2.9)-ро метавон чун натиҷаи ҳалли таҳлилии муодилаи интегралӣи Фредголми чинси якуми (4.2.5) ва (4.2.9) барои $k=0$ мутобиқан ҳисобидан мумкин аст.

Масъалаи дарёфти табдилоти Фурйеи ноустувор аст [180. 181], чун бо ҳалли муодилаҳои интегралӣи Фредголми чинси якум алоқаманд аст. Ин муодилаҳо ба таври таҳлилӣ ҳал мешаванд, аз ин рӯ дараҷаи ғайрикорректӣ хеле поинтар меравад.

Ҳамин тариқ, ҳисоби операторҳои дифференциалгирии функсияҳои ҳарорат $\varphi(x)$ ва сели гармӣ $\psi(x)$, яъне ҳалҳои муодилаҳои (4.2.3) ва (4.3.4) шакли зеринро доранд:

$$Z_k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (-1)^k s^{2k} \Phi(s) \exp(-isx) ds, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N, \quad (4.2.10)$$

$$R_k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (-1)^k s^{2k} \Psi(s) ds, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (4.2.11)$$

Дар ин ҳолат ҳалли (4.1.11) бо назардошти ишораҳои (4.2.10) ва (4.2.11) ба намуди зерин навишта мешаванд:

$$u(x, y, \mu, \lambda) = \varphi(x) + y\psi(x) + \sum_{k=1}^N (-1)^k \frac{y^{2k}}{k!} \left[\sum_{n=0}^k C_n^k Z_n(x) + y \sum_{n=0}^k C_n^k R_n(x) \right]. \quad (4.2.12)$$

Шартҳои сарҳадӣ дар атрофи нуқтаи $(x, y=0) \in D$ бо таносуби (4.2.12) барқарор мешаванд, ки дар он функсияҳои $Z_k(x)$, $R_k(x)$ ($k=1, 2, \dots, N$) ҳалҳои муодилаҳои интегралӣи (4.2.3) ва (4.2.4) ба намуди ифодаҳои (4.2.10) ва (4.2.11) мутобиқан мебошанд.

Дар масъалаҳои татбиқӣ, вақте ки шартҳои сарҳадии функсияҳои ҳарорат $\varphi(x)$ ва сели гармӣ $\psi(x)$, чун қоида, бо ҳатогии муайян маълуманд, ҳалҳои (4.1.11) метавонанд аз қиматҳои ҳақиқии саҳт фарқ кунанд.

Дар ҳолати умумӣ ҳалли масъалаҳои (4.1.1)-(4.1.2) ба намудҳои (4.1.11) ва (4.1.12) мавҷуданд ва ягонаанд (мувофиқи фарзияҳо дар бораи рафтори функсияҳои $\varphi(x)$ ва $\psi(x)$ дар синфи муайяни функсияҳои таҳлилӣ). Қабул карда мешавад, ки дар як рӯи раҳ қиматҳои ҳарорат ва сели гармӣ маълуманд, дар дигараш номаълум. Иловатан қиматҳои ҳарорат мутлақ дақиқ бо ягон дараҷаи ҳатогӣ чен карда шудаанд.

Муодилаҳои (4.2.3) ва (4.2.4)-ро бо ҷалби усули танзимкунонӣ [184, 185] ҳал мекунем. Ҳалҳо ба $Z_k(x)$ и $R_k(x)$ ($k = 1, 2, \dots, N$) наздикшавандаанд ва из нишондодҳои ибтидоӣ (функсияҳои $\varphi(x)$ ва $\psi(x)$) вобастаанд. Ба сифати наздикшавӣ ба функсияҳои $Z_k(x)$ ва $R_k(x)$ ($k = 1, 2, \dots, N$) ҳалро ба намуди зерин қабул мекунем [177, 178]:

$$Z_{\alpha k}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (-1)^k g(s, \alpha) s^{2k} \Phi(s) \exp(-isx) ds, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N, \quad (4.2.13)$$

$$R_{\alpha k}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (-1)^k g(s, \alpha) s^{2k} \Psi(s) ds, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (4.2.14)$$

Ин ҷо функсияи $g(s, \alpha)$ зарбшавандаи устуворкунанда мебошад ва дорои хосиятҳои зерин аст:

- 1) $g(s, \alpha)$ дар соҳаи $\{-\infty < s < \infty, \alpha \geq 0\}$ муайян аст;
- 2) $0 \leq g(s, \alpha) \leq 1$ барои ҳама қиматҳои $\alpha \geq 0$ ва $-\infty < s < \infty$;
- 3) $g(s, 0) \equiv 1$;
- 4) барои ҳама гуна $\alpha > 0$ $g(s, \alpha)$ ҷуфт аз рӯи s ва $g(s, \alpha) \in L_2(-\infty, \infty)$;
- 5) барои дилҳо $\alpha > 0$ $g(s, \alpha) \rightarrow 0$ ҳангоми $|s| \rightarrow \infty$;
- 6) ҳангоми $\alpha \rightarrow 0$ $g(s, \alpha) \rightarrow 1$ кам намешавад, зимнан дар ҳама гуна порча $|s| \leq s_1$, ин наздикшавӣ мунтазам аст;

7) барои дилхоҳ $s \neq 0$ $g(s, \alpha) \rightarrow 0$ ҳангоми $\alpha \rightarrow \infty$ ва ин наздикшавӣ дар ҳар порчаи $[s_1, s_2]$ мунтазам аст;

Ба ин шартҳо, масалан, зариби устуворкунандаи $g(s, \alpha) = \frac{1}{1 + \alpha s^{2n}}$ ҷавобгӯ аст, ки ин ҷо $g(s, \alpha) = \exp(-(\alpha s)^{2n})$, $g(s, \alpha) = \exp(-\alpha s^{2n})$, $\alpha > 0$, $n \geq 1$.

Қиматҳои $Z_{\alpha k}(x)$ ва $R_{\alpha k}(x)$ ($k = 1, 2, \dots, N$) аз (4.2.13) ва (4.2.14) ба (4.2.12) гузошта, ҳалли тахминии масъалаи (4.1.1)-(4.1.2)-ро меёбем:

$$u(x, y) = \varphi(x) + y\psi(x) + \sum_{k=1}^N (-1)^k \frac{y^{2k}}{k!} \left[\sum_{n=0}^k C_n^k Z_{\alpha n}(x) + y \sum_{n=0}^k C_n^k R_{\alpha n}(x) \right]. \quad (4.2.15)$$

Ҳамин тариқ, вобастагии бефосилаи паҳншавии статсионарии гармӣ аз ҳарорат тахминан сохта шуд. Дақиқӣ ё саҳеҳии ҳал нисбат ба атрофи нуқтаи $(x, y = 0) \in D$ -и ҳарорат ва сели гармӣ (4.1.2) ва ҳалли (4.2.15) дида баромада мешавад, на нисбати қиматҳои ҳақиқии ин бузургҳо.

Вобастагии бефосилаи ҳалли сохташуда аз функцияҳои ҳарорат $\varphi(x)$ ва сели гармӣ $\psi(x)$ ва саҳеҳии ҳал нисбат ба маълумоти ибтидоии (4.2) ва ҳалҳои (4.1.2), (4.1.11) ва (4.2.15) баҳо дода шудааст, на нисбати маълумоти ҳақиқии сарҳадии функцияҳои $\varphi(x)$ ва $\psi(x)$ ва шарҳи раванди ҳақиқии физикий (4.1.1).

Дар сурати қимати хурди параметри танзимкунӣ ҳалли (4.2.15) масъала ба ҳалли (4.1.11) ё (4.2.12) мувофиқан оварда мешавад, на ба шарҳи раванди ҳақиқии физикий (4.1.1)-(4.1.2). Дар ҳолати майлқунии хатогии ченкунӣ ба нол он метавонад ба ҳалли масъалаи (4.1.1)-(4.1.2) майл кунад, ки ғайривоқеъӣ аст. Амалан ҳалли $u_{\alpha N}(x, y)$ (4.2.15), ки худ ҳалли танзимшудаи масъала аст, ҳалли таҳлили масъалаи (4.1.1)-(4.1.2) мебошад. Инчунин, ошкор аст, ки бо роҳи тағйирдиҳии ҳолат ва шумораи нуқтаҳои ҳисобҳои операторҳои дифференсиронии $\frac{d^{2k}\varphi(x)}{dx^{2k}}$, $\frac{d^{2k}\psi(x)}{dx^{2k}}$ ($k = 1, 2, \dots, N$) метавон барои масъадаи ҳақиқии физикий (4.1.1)-(4.1.2) ҳалҳои намуди (4.2.15)-ро ба миқдори номаҳдуд сохт.

Ҳамин тариқ, дар мисолҳои муҳокимашуда (дар сурати мавҷуд будани ҳалҳои ягона) ҳалҳои танзимшуда ҳама мушкилоти татбиқи ҳалҳоро бартараф мекунанд, вале муаммои сохтмони ҳалли ҳақиқии физикиро бартараф карда наметавонад ва, дар асл, ба ҳалҳои таҳлилии «нокоррект» аз рӯи Адамар баробарқиматанд.

4.3. Усули табдилоти интегралӣ Фуре ва танзимкунонии он

Муодилаи (3.1.1) чун муодилаи Лаплас дида мебароем [170]. Масъалаи (4.1.1)- (4.1.2) масъали Коши барои муодилаи Лаплас мебошад:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0, \quad (4.3.1)$$

$$u(x, 0) = \varphi(x), \quad \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} = \psi(x). \quad (4.3.2)$$

Дар қори [184] бо истифода аз табдилоти Фурье ҳалли муодилаи (4.3.1) бо шартҳои сарҳадии (4.3.2) ба намуди

$$u(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\Phi_0(s) \operatorname{Ch}(ys) + \Psi_0(s) \frac{\operatorname{Sh}(ys)}{s} \right) \exp(-isx) ds. \quad (4.3.3)$$

оварда шудааст. Агар ин натиҷаро ба (4.2.12) гузошта табдилоти математикиро иҷро кунем, он гоҳ ҳалли масъалаи (4.1.1)- (4.1.2)-ро ба намуди (4.3.3) ҳосил мекунем.

Ин ҳал нисбат ба рафтори функцияҳои ҳарорат $\varphi(x)$ ва сели гармӣ $\psi(x)$ вучуд дорад. Метавон эътимод кард, ки барои шартҳои сарҳадии мувофиқ (ҳарорат, сели гармӣ) ин ҳал бо ҳал дар асоси шартҳои сарҳадии классикӣ тавъам аст.

Агар функцияҳои $\varphi(x)$ ва $\psi(x)$ таҳлилӣ бошанд, пас функцияи $u(x, y)$ -ро ба намуди қатори Тейлор (4.1.11) муайян кардан мумкин аст. Метавон исбот кард, ки қатори (4.1.11) дар атрофи соҳаи $D_0 = \{(x, y) : x \in \mathbb{R}, y = 0\}$ наздикшаванда аст ва ҳалли ягонаи масъалаи Коширо муайян мекунад. Ҳамин тариқ, масъалаи (4.3.1)-(4.3.2) ҳалли таҳлилиро дар атрофи нуқтаи $(x, y = 0) \in D$ дорад.

Ин ҳал дар синфи функсияҳои таҳлилий ягона аст. Ин аст маънии синфи ҳалҳое, ки бо номи теоремаи Коши–Ковалевская маълум аст.

Ҳалли муодилаи (4.1.1) бо шартҳои (4.1.2) на ҳама вақт устувор аст. Барои устуворкунии он бояд меъёри фарқияти байни ҳалҳои мувофиқ ёфта шавад. Бо ҳамин мақсад дар фосилаҳо аз r -и фазоҳои $C(R)$ ва $C(D)$ нормаҳои (меъёрҳои) зеринро дохил мекунем:

$$\|\varphi(x)\| \equiv \sup_{x \in R} |\varphi(x)|, \quad \|\psi(x)\| \equiv \sup_{x \in R} |\psi(x)|, \quad \|u\| \equiv \sup_{x \in R, y \in [0, y_0]} |u(x, y)|.$$

Бигузор $u_1(x, y)$ ҳалли муодила дар масъалаи (4.3.1)-(4.3.2) бошад, ки ба шартҳои

$$u_1(x, 0) = \varphi_1(x) = 0, \quad \left. \frac{\partial u_1}{\partial y} \right|_{y=0} = \psi_1(x),$$

ҷавобгӯ аст, $u_2(x, y)$ бошад ҳалли муодила дар масъалаи (4.3.1)-(4.3.2), ки ба шартҳои

$$u_2(x, 0) = \varphi_2(x) = 0, \quad \left. \frac{\partial u_2}{\partial y} \right|_{y=0} = \psi_2(x) = \psi_1(x) + \frac{1}{\omega} \sin(\omega^2 x), \quad \omega = \text{const} > 0$$

ҷавобгӯ аст.

Он гоҳ $u(x, y) = u_2(x, y) - u_1(x, y)$ ҳамчунин ҳалли муодила дар масъалаи (4.3.1)-(4.3.2) мебошад, ки шартҳои

$$u(x, 0) = \varphi(x) = 0, \quad \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} = \psi(x) = \frac{1}{\omega} \sin(\omega^2 x)$$

қаноат мекунонад.

Аз ин рӯ, ҳалли намуди (4.1.11)-и ба функсияҳои $\varphi(x) = \varphi_1(x) - \varphi_2(x) = 0$ ва $\psi(x) = \psi_1(x) - \psi_2(x) = \frac{1}{\omega} \sin(\omega^2 x)$ мувофиқ намуди зеринро дорад:

$$u(x, y) = \frac{1}{\omega} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{y^{2k+1}}{(2k+1)!} \frac{d^{2k} \sin(\omega^2 x)}{dx^{2k}} =$$

$$= \frac{\sin(\omega^2 x)}{\omega} \left[y + \frac{y^3}{3!} \cdot \omega^4 + \frac{y^5}{5!} \cdot \omega^8 + \frac{y^7}{7!} \cdot \omega^{12} + \dots \right]. \quad (4.3.4)$$

Узвн $\frac{1}{\omega} \sin(\omega^2 x)$ -ро, ки хатогиро тавсиф медиҳад, метавонем аз ҳисоби калон-

кунии ω хурд кунем. Зимнан $\psi_1(x)$ ва $\psi_2(x)$ аз рӯи норми

$$\|\psi(x)\| = \|\psi_2(x) - \psi_1(x)\| \equiv \sup_{x \in R} \left| \frac{1}{\omega} \sin(\omega^2 x) \right| = \frac{1}{\omega}$$

чанде лозим аст наздик мешаванд, ҳалҳои мувофиқ $u_1(x, y)$ ва $u_2(x, y)$ бошанд метавонанд тамоман наздик набошанд.

Фарқи байни $u_1(x, y)$ ва $u_2(x, y)$ бо таносубҳои (4.3.4) ё

$$u(x, y) = \frac{\sin(\omega^2 x) \cdot \text{Sh}(y\omega^2)}{\omega^3}$$

муайян карда мешавад.

Ин таносубро истифода бурда, барои андоза ифодаҳои зеринро ҳосил мекунем:

$$\|u(x, y)\| = \|u_2(x, y) - u_1(x, y)\| \equiv \sup_{x \in R, y \in [0, y_0]} \left| \frac{\sin(\omega^2 x) \cdot \text{Sh}(y\omega^2)}{\omega^3} \right| = \frac{\text{Sh}(y_0 \omega^2)}{\omega^3}.$$

Бо истифода аз ин таносуб барои норма ифодаи зеринро ҳосил мекунем:

$$\|u(x, y)\| = \|u_2(x, y) - u_1(x, y)\| \equiv \sup_{x \in R, y \in [0, y_0]} \left| \frac{\sin(\omega^2 x) \cdot \text{Sh}(y\omega^2)}{\omega^3} \right| = \frac{\text{Sh}(y_0 \omega^2)}{\omega^3}.$$

Бигузор $\omega \rightarrow \infty$. Зимнан $\|\psi(x)\| = \|\psi_2(x) - \psi_1(x)\|$ нисбат ба x мунтазам ба нол майл мекунад, фарқи $\|u(x, y)\| = \|u_2(x, y) - u_1(x, y)\|$ бошад дар ҳолати $y_0 \neq 0$ ба беохир майл мекунад. Дар ҳақиқат, агар, масалан, $y_0 > 0$ бошад, он гоҳ $\exp(-y_0 \omega^2) \rightarrow 0$, дар ҳолати $\omega \rightarrow \infty$ бошад таносуби $\frac{\exp(y_0 \omega^2)}{\omega^3} \rightarrow \infty$, чун

функсияи нишондодӣ аз функсияи (ω^3) тезтар меафзояд. Бинобар ин дар сурати фарқи ихтиёран хурди байни $\varphi_1(x)$, $\varphi_2(x)$, $\psi_1(x)$ ва $\psi_2(x)$ метавон ω -ро чунон интихоб намуд, ки фарқи $u_1(x,y)-u_2(x,y)$ аз рӯи (4.3.4) муайян кардашуда ихтиёрӣ калон шавад. Таҳлилҳо нишон медиҳанд, ки масъалаи (4.3.1)-(4.3.2) дар синфи функсияҳои таҳлилӣ масъалаи ноустувор аст.

Акнун дида мебароем, ки ҳалҳои танзимшуда бо ҳалҳои масъалаи воқеии физикӣ дар кадом таносуб қарор доранд.

Дар кори [170] синфи ҳалҳои устувори масъалаи (4.3.1)-(4.3.2) ба намуди

$$u_{\alpha}(x,y)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}g(s,\alpha)\left(\Phi_0(s)Ch(ys)+\Psi_0(s)\frac{Sh(ys)}{s}\right)\exp(-isx)ds, \quad (4.3.5)$$

сохта шудааст, ки ин ҷо функсияи $g(s,\alpha)$ зариби устуворкунандаест, ки хосиятҳои 1)-7) фасли 4.2 ро дорад.

4.4. Таҷрибаи ҳисобӣ

Барои таҳлили ҳамаҷонибаи натиҷаҳои ҳосилшуда бо истифода аз ифодаҳои (4.3.3) ва (4.3.4) ҳисоби ададии тақсимооти ҳароратро анҷом медиҳем. Барои ин татбиқи барномавии усули номбурдаи ҳалли масъалаи паҳншавии статсионарии гармӣ дар раҳи беохир сохта шуда буд, ки бо функсияҳои гармоникӣ дар системаи MatLab тавсиф дода мешавад. Паҳншавии воқеии гармӣ дар раҳи $\{-\infty < x < \infty, 0 < y < y_0\}$ саҳеҳ бо функсияи $u(x,y)$ намуди (4.3.1)-(4.3.2) тавсиф меёбад.

Мувофиқи [186,187], ба сифати ҳалли саҳеҳи масъалаи (4.3.1)-(4.3.2) функсияи паҳншавии гармӣ ба намуди

$$u(x,y)=\frac{b-y}{(b-y)^2+(a-x)^2}+\frac{b-y}{(b-y)^2+(a+x)^2}. \quad (4.3.6)$$

гирифта шудааст.

Ба сифати функсияи ибтидоии паҳншавии ҳарорат функсияи

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

пахншавии сели гармӣ функсияи

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

ва функсияи сели гармии ангефта

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

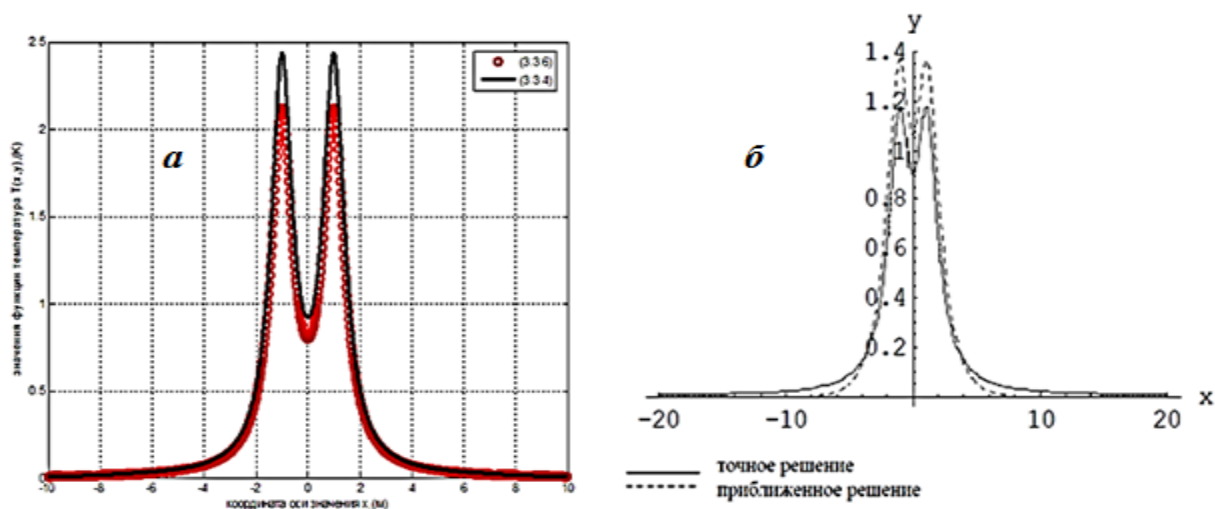
қабул карда шудаанд.

Қиматҳои функсияҳои $u(x,y)$, $\tilde{u}(x,y)$, $u_\alpha(x,y)$ аз рӯи формулаҳои (4.3.3), (4.3.4), (4.3.5) барои қиматҳои зерини параметрҳои доимӣ ҳисоб карда шудаанд:

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

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

Дар расми 4.1 қиматҳои ҳалҳои тахминӣ ва дақиқи муодилаи (4.3.1) бо шартҳои (4.3.2) оварда шудаанд.



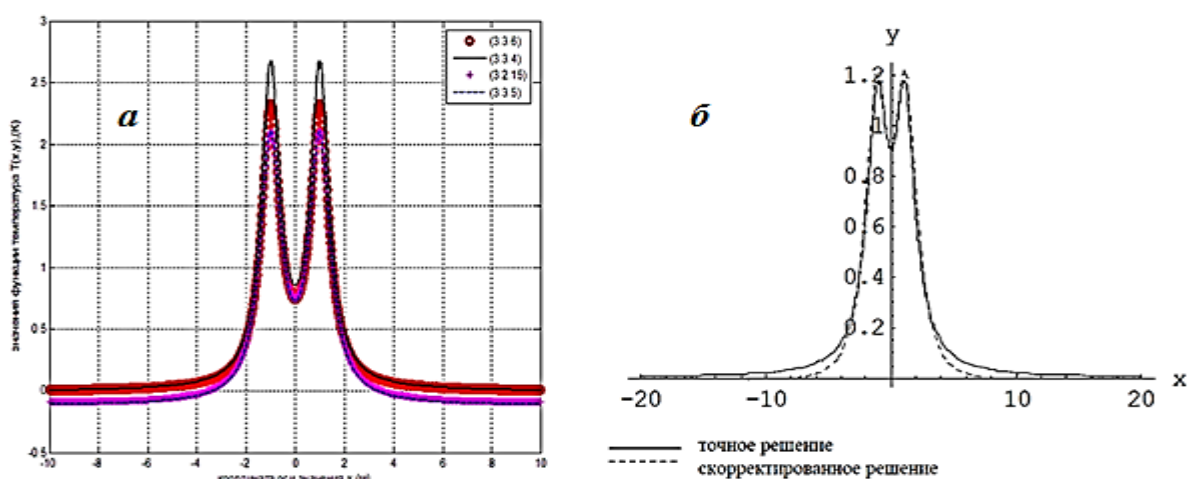
Расми 4.1. Ҳалли дақиқ ва ғалаёнии масъалаҳои (4.3.1)-(4.3.2): a (○○○)-ҳалли дақиқ (4.3.6), a (—) –ҳалли ғалаёний дар намуди функсияи (4.3.4); b - натиҷаи таҳқиқоти [187].

Дар расми 4.2 қиматҳои ҳалҳои дақиқи таҳлилии функсияи гармӣ оварда шудаанд. Бояд кайд намуд, ки ҳалли тахминӣ аз ҳалли дақиқ, чӣ дар масофаҳои наздик, чӣ дар масофаҳои дур, фарқи назаррас дорад. Ҳалли таҳлилии тахминӣ ба ҳалли дақиқ дар масофаҳои наздик (аз ҷойгиршавии нуқтаҳо бо маълумоти

иловагӣ) ва аз ҳалли дақиқ дар масофаҳои дур фарқ мекунад. Ҳамин тариқ, коррексияи ҳал дар масофаҳои ба амал омадааст, ки ба нуқтаҳо бо маълумоти иловагӣ наздиканд, ки аз расми 4.2 низ дида мешавад.

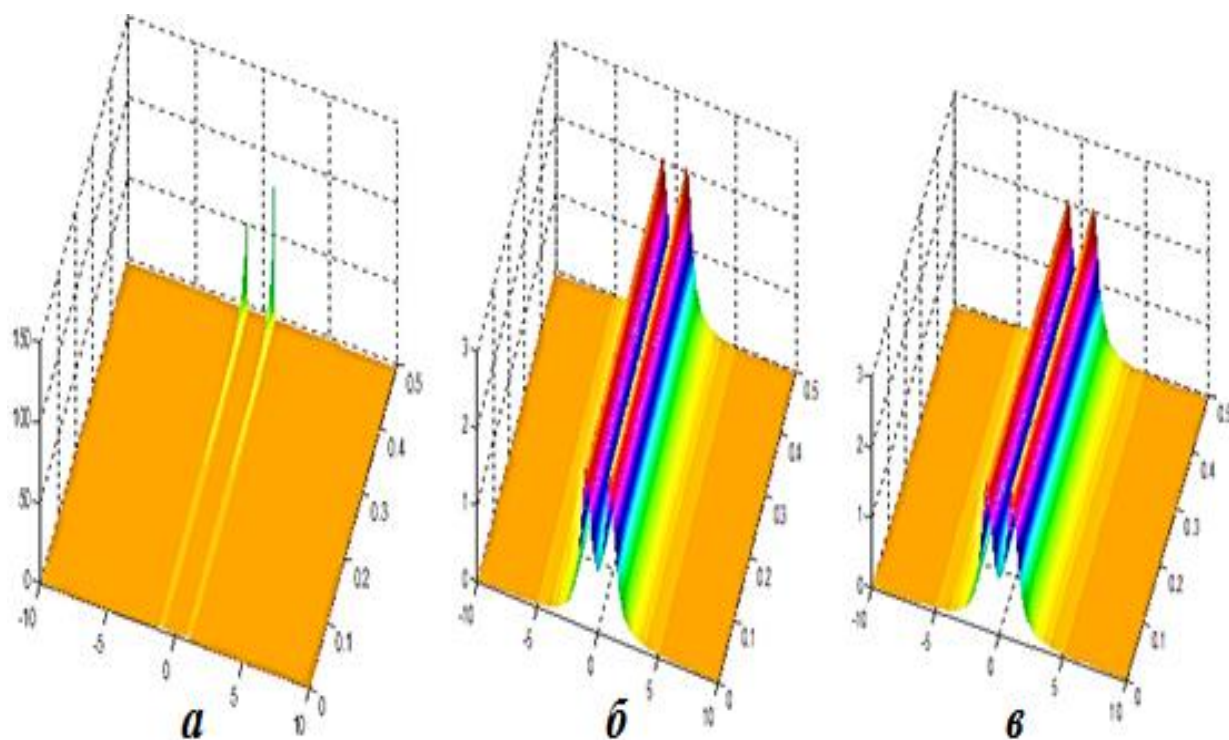
Ҳисобҳо барои қиматҳои гуногуни бари (васеғии) рах y анҷом дода шудаанд (расми 4.1): $y = 0.75$, $y = 0.50$, $y = 0.25$. Дар асоси натиҷаҳои ҳалли масъалаҳои номбурда қонуниятҳои асосии паҳншавии гармиро дар рах ҷудо намудан мумкин аст.

Барои функсияҳои таҳлилӣ маълумоти дақиқ ва анҷехтаи функсияи паҳншавии гармӣ аз функсияҳои ибтидоии паҳншавии ҳарорат ва сели гармӣ бефосила вобастаанд. Дар расми 4.2 *а* ҳисобҳои ададии паҳншавии гармӣ бо усули танзимкунӣ барои масъалаи (4.1.1) – (4.1.2) ва натиҷаи кори [187] оварда шудаанд.



Расми 4.2. Паҳнкунии дастгоҳии гармӣ: *а*- намуди функсияҳо (4.3.6), $\circ\circ\circ\circ$ - ҳалли дақиқ; (4.3.4), — ҳалҳои ғалаёӣ; (4.2.15), $+++$ -танзимкунӣ; (4.3.5), ---- танзимкунӣ тавассути дигаргунии интегралҳои Фуре; *б*- натиҷаи таҳқиқоти [187].

Дар расми 4.3 натиҷаҳои ҳисоби паҳншавии гармӣ дар рах барои масъалаи (4.1.1)-(4.1.2) оварда шудаанд. Мисоли ҳисобии овардашуда аз имконияти истифодаи босамари ҳалҳои таҳлилӣ барои дақиқкунии шарҳи раванди паҳншавии статсионарии гармӣ дар раҳи беохир шаҳодат медиҳад. Аммо саволи дар кадом шароит дақиқкунии ҳал ҷой дорад, то ҳанӯз кушода мемонад [170].



Расми 4.3. Паҳншавии дастгоҳии гармӣ дар сатҳ: *а*- намуди функсияи (4.1.3) қаторҳои махсус; *б*-танзимкунӣ (4.1.9); *в*- танзимкунӣ тавассути дигаргунии интегралӣ Фуре (4.1.15)

Ҳамин тариқ, метавон ҳисоб кард, ки ҳалҳои таҳлилии намуди қаторҳои махсус ва алгоритми ҳалли танзимшуда аз нуқтаи назари физикӣ баробарқувваанд. Зимнан ягон аз онҳо мувофиқат ба ҳалли воқеии физикиро замонат намедихад. Ба ҳар татбиқ ё интерполятсияи маълумоти дискретии ҷенкуниҳои физикӣ ҳалли таҳлилии худ мувофиқ аст ва ба ҳар алгоритми танзимкунӣ ҳалли худ мувофиқ аст. Дар ҳар ду ҳолат мо метавонем маҷмӯи номаҳдуди ҳалҳои гуногунро дошта бошем.

Хулосаи боби чорум

Дар боби мазкур муаммои тақсими бефосилаи гармӣ бо ёрии амсилаи математикии масъалаи статсионарии гармигузаронӣ дар ҳолати маълумоти ибтидоии бозмуайяншуда дида баромада шудааст. Синфи ҳалҳои тахминӣ ба намуди оператори танзимкунанда сохта шудааст, ки дорои хосияти устуворӣ ба майлқуниҳои хурди маълумоти ибтидоӣ мебошад. Зимнан нақши муҳимро

интихоби функсияи ҳамворкунанда ва шароити мувофиқкунии параметри танзимкунӣ бо хатогӣ мебозад.

Ҳалҳои таҳлилии намуди қаторҳои махсус ва алгоритми ҳалли танзимшуда аз нуқтаи назари физикӣ баробарқувваанд. Зимнан ягона аз онҳо мувофиқат ба ҳалли воқеии физикиро замонат намедихад. Ба ҳар татбиқ ё интерполятсияи маълумоти дискретии ченкуниҳои физикӣ ҳалли таҳлилии худ мувофиқ аст ва ба ҳар алгоритми танзимкунӣ ҳалли худ мувофиқ аст. Дар ҳар ду ҳолат мо метавонем маҷмӯи номаҳдуди ҳалҳои гуногунро дошта бошем.

Дар мисолҳои муҳокимашуда (дар сурати мавҷуд будани ҳалҳои ягона) ҳалҳои танзимшуда ҳама мушкилоти татбиқии ҳалҳоро бартараф мекунанд, вале муаммои сохтмони ҳалли ҳақиқии физикиро бартараф карда наметавонанд ва, дар асл, ба ҳалҳои таҳлилии «нокоррект» аз рӯи Адамар баробарқиматанд.

БОБИ V. АМСИЛАСОЗИИ КОМПЮТЕРИИ ТАҚСИМОТИ ҒАЙРИХАТТИИ ҲАРОРАТ ДАР МУҲИТИ КОНДЕНСӢ

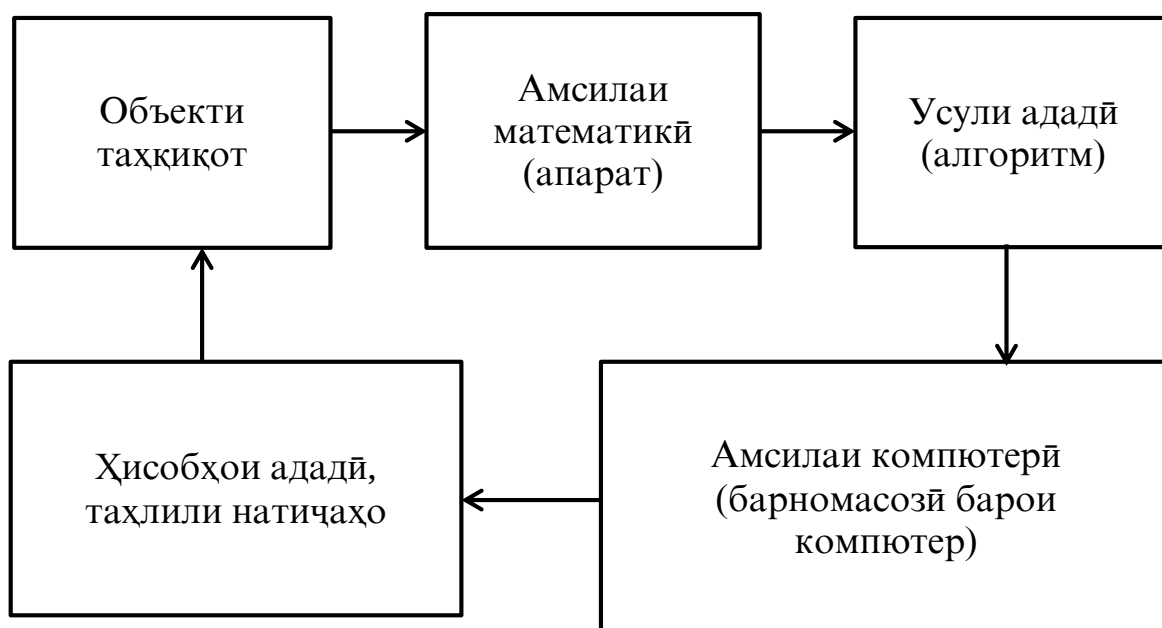
5.1. Нақшаи амсиласозии компютерии тақсимоти ғайрихаттии ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ

Як қатор масоили физикӣ ба намуди масоили амсилавии тақсимоти ғайрихаттии статсионарии ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ тасвир карда мешаванд, ки ҳаллашон ба намудҳои таҳлилӣ ва ададӣ бинобар мушкилиашон ноимкон аст. Алалхусус, дар масъалаҳои сӯзиш дар ҳолати суръатҳои баланд масъалаҳои илҳоқии (иловагии) динамикаи газӣ, гармоинтиқол, гармоҳифзи тарҳҳо дар ҳароратҳои баланд ва ғ. ба миён меоянд [8, 188-190]. Таҳқиқи сирф назариявии чунин масоил ба мушкилоте дучор меояд, ки бо мураккаботи равандҳои физикӣ ва амсилаҳои математикии онҳо алоқаманд аст. Таҳқиқи таҷрибавӣ дар шароити табиӣ низ бо мушкилоти калони техникӣ ва усулӣ дучор меояд. Амсилаҳои физикии дар шароити озмоишгоҳҳо истифодашаванда низ мушкилоти худро доранд, ки асоситаринаш ин тасвияи амсилаи адекватӣ (баробарқимат) ва мавҷудияти таҷҳизоти озмоишии дақиқияташ баланд мебошад. Зимни таҳқиқ ин ду омил дар маҷмӯи истифода бурда мешаванд, бо рушди босуръати технологияҳои иттилоотӣ бошад универсализатсияи усули таҷрибаи ҳисоббарорӣ ё амсилакунонии компютерӣ ба амал омад. Ин усулҳо дар асоси табдили масъалаи ибтидоии амсилавӣ ба нақшаи сода, бозътимод ва дискретии ҳисоббарорӣ тавлиф шудаанд [8].

Зинаҳои асосии таҷрибаи ҳисоббарориро метавон бо таҳқиқи баробарқувваи физикӣ қиёс намуд. Дар зинаҳои ибтидоии таҷрибаи ҳисоббарорӣ мундариҷаи раванди таҳқиқшавандаро амсилаи математикии он ташкил медиҳад., яъне зинаи интиҳоб карда мешавад, ки ба гузориши масъалаҳои устувор ё ноустувори физикӣ, усули параметри хурд, танзимкунӣ ва қаторҳои махсус, таҳлил, баҳо ва интиҳоби нақшаи ҳисобҳо мувофиқ аст. Зинаи баъдӣ ин интиҳоби амсилаи ададӣ, сохтмони алгоритми ҳисобӣ, омӯзиши устуворият ва адекватнокии ҳал мебошанд. Пас аз ин таҷрибаҳои

ҳисоббарорӣ гузаронида мешаванд (дар шароити лабораторӣ ба ин зина барномасозӣ ё истифодаи пакети барномаҳо, гузаронидани силсилаи ҳисобҳои таҷрибавӣ дохил мешаванд). Дар зинаи охирин баҳои натиҷаҳо ва дақиқкунии амсила, усул ва барнома ба амал оварда мешавад. Айнан чунин баҳои натиҷаҳо бо ислоҳоти зарурии сохтори таҷҳизоти таҷрибавӣ ва нақшаи таҳқиқот дар шароити лабораторӣ гузаронида мешаванд.

Моҳитяи усули гузаронидани таҳқиқи масъалаҳои мураккаб дар чунин ҳолат дар сохтмон ва баҳои объекти таҳқиқот дар амсилаи математикии компютерӣ нухуфтааст. Лоиҳаи амсилаҳои компютериро метавон ба чунин намуд тасвир кард [191]:



Расми 5.1. Нақшаи амсилаи компютерӣ

Ҳангоми навъкунонии физикӣ ва, биноан, математикии амсилаҳо бештар зарифҳои ба раванд суст таъсиркунандаро ба назар намегиранд. Амсилаҳои математикӣ ва адабии стандартӣ, ки ба равандҳои физикӣ адекватанд, ба намуди тақсимои ғайрихаттии статсионари ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ тасвир карда мешаванд [1-А, 2-А, 3-А, 4-А]. Амсиласозии

компютерӣ пул миёни таҳқиқоти назариявӣ ва ҳисоббарорӣ аст. Татбиқи он такони назаррасе барои инкишофи амсилаҳои ададӣ мебошад.

Дар зери амсилаи ададӣ чунин шарҳи амсилаи математикӣ фаҳмида мешавад, ки барои иҷро дар МЭХ қобили қабул мебошад- ба ном «амсилаи дискретӣ». Алаҳусус, вақте ки амсилаи математикӣ тақсимои ғайрихаттии статсионарии ҳароратро дар муҳитҳои конденсӣ тавсиф медиҳад, ба сифати баҳоҳои ададӣ метавонанд тариқаҳои тахминантаҳлилӣ бо ҳамроҳии алгоритмҳои ҷустуҷӯи ҳалҳои он хизмат кунанд [1-А, 2-А, 3-А, 4-А].

Барои тартиб додани алгоритм тасвияи барнома барои ҳисобҳои компютерӣ зарур аст. Пасон ҳисоб ва таҳқиқи натиҷаҳо гузаронида мешавад. Хусусиятҳои ошкоршаванда аз нуқтаи назари адекватнокии онҳо ба ҳодисаи мушоҳидашаванда таҳқиқ карда мешаванд ва, дар вақти лозим, амсилаи математикӣ мушаххас карда мешавад ва ҳатогиҳои амсилаи ададӣ ислоҳ карда мешаванд.

Чунин аст нақшаи ниҳоии таҷрибаи ҳисоббарорӣ: мазмуну мундариҷаи он ташаққули сегонаи «амсила-усул (алгоритм)-барнома» [8, 191] аст. Соҳаҳои таъбиқи таҷрибаи компютериро метавон чунин мушаххас кард: тибб, энергетика, техникаи ҳавоюкайҳонӣ, физикаи ҳастай ва ғ.

5.2. Ҳалли адабии тақсимои ғайрихаттии статсионарии ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ

Дар қорҳои [1-А, 2-А, 3-А, 4-А] ҳалҳо барои масъалаҳои канории тақсимои ғайрихаттии статсионарии ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ пешниҳод карда шудаанд. Фасли мазкур ба таҳлили ҳалҳои масъалаи тақсимои ғайрихаттии статсионарии ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ [1-А, 2-А, 14-А] бахшида шудааст:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda} - \eta_1 T, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \eta_2 q, \end{cases} \quad (4.2.1)$$

ки ин ҷо $T = T(x)$ – ҳарорат дар нуқтаи x , (K), $q = q(x)$ – зичии сели гармӣ дар

нуқтаи x $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right)$; $\eta_1 = \frac{\mu - 1}{x + \varepsilon - (\mu - 1)(x + \varepsilon)^\mu}$, $\left(\frac{1}{\text{м}} \right)$, ва

$$\eta_2 = \frac{1 - \mu(\mu - 1)(x + \varepsilon)^{\mu-1}}{x + \varepsilon - (\mu - 1)(x + \varepsilon)^\mu}, \quad \left(\frac{1}{\text{м}} \right),$$

-адади компонентаҳое, ки зарифҳои

муодилаи гармигузарониро тавсиф медиҳанд. Ҳангоми $\eta_1 + \eta_2 = 0$, яъне вақти

$$\mu = 0 \text{ будан, муҳит шакли зарфи ҳамворро дорад, вақте ки } \eta_1 + \eta_2 = \frac{1}{x + \varepsilon} \text{ аст,}$$

яъне вақти $\mu = 1$ будан зарф цилиндри мешавад, ва, ниҳоят, вақте ки

$$\eta_1 + \eta_2 = \frac{2}{x + \varepsilon}, \text{ яъне } \mu = 2 \text{ шавад, зарф шакли куравиро мегирад, } \varepsilon\text{-параметри}$$

хурд ($0 \leq \varepsilon < 1$). Функцияи $\varphi(T)$ гармомубодилаи ғайрихаттии миёни ҷисм ва муҳити атрофро тавсиф медиҳад.

Шартҳои сарҳадро барои ҳарорат ва сели гармӣ метавон ба намуди зерин навишт:

$$\begin{aligned} \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} &= 0 \quad \text{у} \quad q|_{x=0} = 0; \\ -\lambda \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=h} &= \alpha(T_1 - T_2) \quad \text{у} \quad q|_{x=h} = \alpha(T_1 - T_2), \end{aligned} \quad (4.2.2)$$

ки ин ҷо T_1 ва T_2 – мутобиқан, ҳарорат дар ибтидо ва охири намуна, α – зарифи гармидиҳӣ $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \right)$, h – дарозии намуна (м.).

Услуби ҳисобҳо барои тақсимои мазкур шакли вобастагҳои тахминӣ-таҳлилӣ ва ададиро мегиранд [1-А, 2-А, 14-А], биноан бо ҳамин сабаб барои таҳлили устуворияти он танҳо таҳлили тахминии таҳлилӣ ва ададии ҳалли ин муодила зарур аст.

Ҳалҳои ҷамъии ин тақсимои аз ҳалли умумӣ бармеоянд (ниг. ба фаслҳои 2.1. ва 2.2.). Ҳалли умумии масъалаи тақсимои ғайрихаттии статсионарии ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ шакли зеринро дорад [1-А, 2-А]:

$$q = \frac{\lambda(\eta_1 k T + \varphi(T))}{\lambda \eta_2 - k}, \text{ барои } \lambda \eta_2 \neq k. \quad (4.2.3)$$

Бешубҳа, чунин таҳқиқот танҳо дар сурати зарибҳои маълум ва доимии k имконпазиранд. Дар асл муодилаҳои чунин навъ нодирияти масъаларо аз ҳад зиёд тахминӣ тавсиф медиҳанд, чун ҳама компонентаҳои ин гуна муодила, ба ҷуз компонентаи пасив (инерсионӣ), аз координата вобастаанд. Аз ин рӯ ҳангоми ҳалли чунин масъалаи амсилавӣ ба устуворият бояд танҳо аз рӯи «мушоҳидаҳо» аз болои раванди ҳалкунӣ баҳо дода шавад. Зимнан ба муаммои устуворияти ҳалли боэътимод муаммои рафтори ҳалҳои масъала дар сурати қиматҳои гуногуни зарибҳои гармигузаронӣ, гармиғунҷоиш ва дигар параметрҳо илова мешавад.

Соҳаи тағйирёбии тағйирёбандаҳои $(x, T(x), q(x))$ маҷмӯҳои $D = \{0 \leq x \leq h\}$ -барои фазои якченака ва $D = \{0 \leq x \leq h, -a \leq y \leq a\}$ - барои фазои дученака мебошанд. Дар маҷмӯи D тур месозем. Барои ин тақсимои фосилаҳои тағйирёбии аргументҳои $(x, T(x), q(x))$ -ро ба тарзи зерин ба амал меорем. Барои координатаи x турро бо қадамҳои гуногун месозем: $\{x_k = k \cdot \Delta x, k = 0, 1, 2, \dots, N\}$, қиматҳои Δx дар соҳаи мансубияти $\{k = 0, 1, 2, \dots, N\}$. Барои координатаи y турро бо қадамҳои зерин месозем: $\{y_m = m \cdot \Delta y, m = 0, 1, 2, \dots, M\}$, қиматҳои Δy дар соҳаи мансубияти $\{m = 0, 1, 2, \dots, M\}$.

Ҳисоби адабии тақсимои ғайрихаттии статсионарии якпараметраи ҳарорат дар муҳити конденсӣ дар турҳои мунтазам аз рӯи координатаи x - гузаронида шудааст.

Яке аз хусусиятҳои амсилаҳои математикӣ ва компютери татбиқи усули танзимкунонӣ барои таҳлили ҳалҳои тақсимои ғайрихаттии статсионари ҳарорат он аст, ки қиматҳои ибтидоӣ ва сарҳадӣ дар як тарафи сарҳад маълуманд, дар тарафи дигари он бошад аз ҳалли муодилаи асосӣ муайян карда мешаванд. Алгоритми ҳисоббарорӣ истифодаи забони барномавӣ ва амалиёти стандартӣ муҳити «Matlab»-ро дар назар медорад.

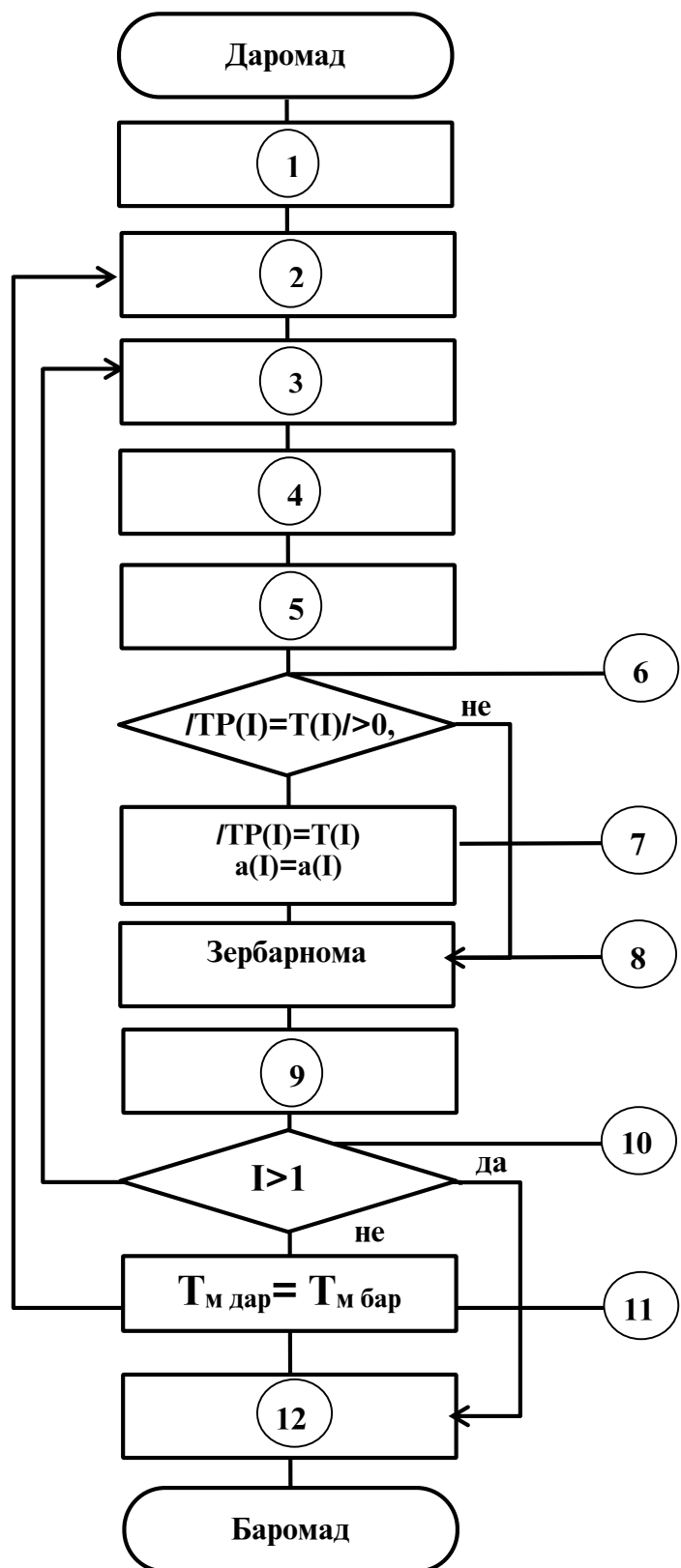
Раванди итератсионӣ дар ҳар қадам ба амал оварда мешавад ва то замоне давом дода мешавад, ки барои тағйирёбандаҳои маҷхул (ҷӯсташаванда) шароити наздикшавии ҳалли тахминӣ ба ҳалли дақиқ иҷро мешаванд.

Меъёри анҷомёбии раванди ҳисоббарорӣ аз рӯи шarti расидани координатаи тағйирёбанда ба қимати додашуда, ки ба давомнокии раванди наздикшавии паҳншавии гармӣ дар муҳит баробар аст, муайян карда мешавад. Истифодаи дигар шартҳо низ имкон дорад.

Алгоритми умумии ҳисоби ададии усули танзимкунонии тақсимои ғайрихаттии статсионари ҳарорат дар муҳити конденсӣ дар расми 5.1 оварда шудааст.

Барои таҳлили ҳалҳои тақсимои ҳарорат ва тесткунонии модулҳои барномавӣ чунин корҳо анҷом дода шудаанд:

- тесткунонии масъалаи тақсимои ғайрихаттии статсионари ҳарорат дар ҳамвориҳои фазавии $(q(t_k), T(t_k))$;
- тесткунонии масъалаи тақсимои ғайрихаттии статсионари ҳарорат барои шароити шакливозшудаи ибтидоӣ ва сарҳадӣ;
- таҷрибаи ҳисоббарории тақсимои асосии ғайрихаттии статсионари ҳарорат барои шароити шакливозшудаи ибтидоӣ ва сарҳадӣ аз рӯи координатаҳо.



Расми 5.2. Алгоритми ҳисоббарорӣ

Ҳамин тариқ, таҳлили иҷрошудаи тақсимои ғайрихаттии статсионари харорат дар муҳити конденсӣ нишон медиҳад, ки алгоритми тасвияшуда ва барномаи дар асоси он сохташуда метавонанд барои таҳқиқи майдонҳои харорат ва сели гармӣ, консентратсия ва дигар масъалаҳо истифода карда шаванд [189-191].

5.3. Ҳалли ададии ҳаммонандии тақсимои ғайрихаттии статсионари харорат дар муҳитҳои конденсӣ

Дар бобҳои 2 ва 3 ба таври ададӣ таҳқиқи ҳалли масъалаи канории тақсимои ғайрихаттии статсионари харорат дар муҳити конденсӣ тавсия карда шудааст, ки ба ҳалли масъала барои муодилаи ноангехта наздик карда шудаанд. Зимнан соҳаи тағйирёбии тағйирёбандаҳои мустақил (x) маҷмӯи $D = \{ a \leq x \leq b \}$ барои фазои якченака мебошад.

Ҳангоми тартиб додани барнома имконияти навгоникунии минбаъдаи алгоритм ва васеъшавии синфи масоили ҳалшаванда дар назар дошта шудааст. Бо ин мақсад ҳангоми навишти барнома аз принципи модуль [56, 192-194] истифода карда шудааст.

Инак, таркиби модулҳои ҳисобиро барои нақшаи фарқии номбаршуда дар мисоли масъалаи шориш дида мебароем.

1. Блоки маълумоти ибтидоӣ. Дар ин блок тақсимои ибтидоии сели гармӣ ва функсияҳои хароратӣ дода мешаванд, сарҳадҳои соҳа муайян карда мешаванд ва параметрҳои ҳисобии зарурӣ ворид карда мешаванд. Бо додашавии параметр системаи координатаҳои интихобшуда қайд карда мешаванд ва қиматҳои зарифҳо ҳисоб карда мешаванд. Ба сифати маълумоти ибтидоӣ дар соҳаи ҳисобии G сели ноангехта дода мешавад, дар ҷисм бошад шартҳои канорӣ; қиматҳои ибтидоии зарифҳои табдилот ва параметри

иттератсионии x_k , ки ба kh $\left(h = \frac{L}{n}\right)$ баробар аст, ҳисоб карда мешаванд, ки ин ҷо k -шумораи гиреҳҳо дар тури фарқӣ аз рӯи x , L бошад-дарозии координатаи x .

2.Блок тур. Аз рӯи тақсимои маълуми сели гармӣ ва функсияҳои ҳарорат аз ҳалли муодилаҳои (2.1.1) дар гиреҳҳо

$$x_k = kh; \quad k = 0, 1, 2, \dots, N; \quad h = \frac{x_{max}}{N},$$

қиматҳои нави координатаҳои T_k ва q_k , ки ба гиреҳҳои тур $((x_k, T_k), (x_k, q_k))$ мувофиқанд, муайян карда мешаванд, инчунин қиматҳои нави зарибҳо ва зарибҳои табдилот η_{1k} , η_{2k} ҳисоб карда мешаванд. Ҳангоми ҳалкунии масъалаҳои (2.1.1) ва (2.1.2) барои муқаккар кардани муодилаҳои (3.1.5) дар ҳар як қадами итератсионӣ чун статсионарӣ ҳал карда мешаванд ва итератсия гузаронида мешавад. Муҳим аст, ки муодилаҳои фарқӣ барои тури (3.1.5) ва системаи муодилаҳои фарқии (3.1.10) дар як вақт наздик шаванд.

Ин ҳолатро метавонад бо роҳи интихоби қадами итератсия барои тур ҳосил кард. Қадами итератсионӣ h барои ҳалли муодилаҳои фарқии (3.5) мунтазам, афзоянда 50-100 қадам пештар аз $x_0 = x_{min}$ то $x_k = x_{max}$ интихоб карда мешуд.

3. Блоки қисмҳои рост. Дар ин блок ҳисоби қиматҳои ҳама компонентаҳои векторҳо дар қабати n -ум дар ҳама нуқтаҳои соҳаи ҳисобӣ, бо замми сарҳадҳо, анҷом дода мешавад.

Ҳангоми апроксиматсияи муодилаҳои (2.1) бо тартиби дуум аз рӯи формулаҳои (3.5) қиматҳои функсияҳои ҷўсташаванда дар нуқтаҳои берунсарҳадӣ ҳисоб карда мешаванд.

4. Блоки оператори устуворкунанда. Ин блок барои дарёфти функсияҳо дар қадамҳои мобайнии h_x хизмат мекунад. Муодилаҳои фарқӣ бо усули итератсионӣ ҳал карда мешаванд, шароити канорӣ ҳисоб карда

мешаванд ва қиматҳои нави функсияҳои ҷўсташавандаи T_{k+1}, q_{k+1} дар қабати $(k+1)$ -ум муайян карда мешаванд.

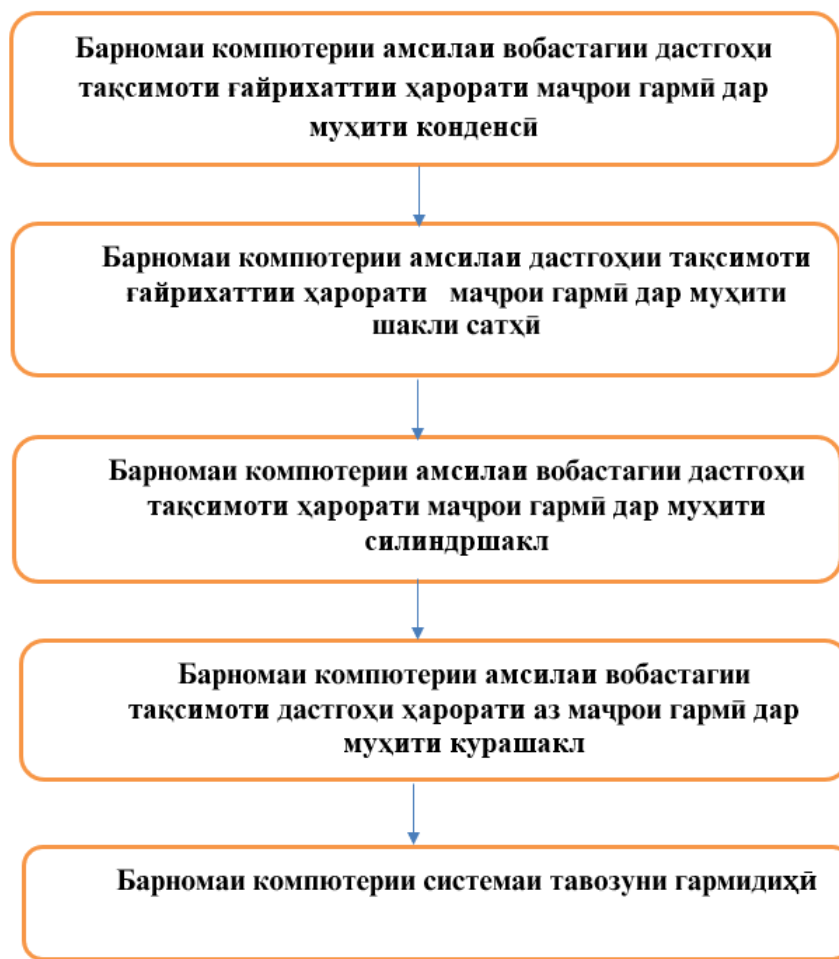
5. Блоки баромад ва коркарди иттилоъ. Дар ин блок дар асоси меъёри муқарраркунии $\varepsilon_2 = M_k \varepsilon_1$ муайян карда мешавад.

Бо мақсади суғуст кардани таъсири шароити сарҳадии тахминӣ дар соҳаи G зерсоҳаҳои турии G_1 ва G_2 бурриши умумӣ доранд. Шартҳои канорӣ дар бурриши x_0 зерсоҳаи G_2 аз ҳалли ададӣ дар зерсоҳаи G_1 барои ҳамон қимати x_0 гирифта мешаванд. Барнома ҳалро дар дилхоҳ алоҳидаи зерсоҳаи G_2 пешбинӣ мекунад. Дар ин ҳолат шароити сарҳадӣ дар бурриши даромадии x_0 бо воридкунии массивҳои маълумоти зарурӣ дода мешаванд. Барои ҳосил кардани маълумоти ибтидоӣ дар зерсоҳаи G_2 қиматҳои функсияҳо дар бурриши x_0 ба тамоми зерсоҳа давом дода мешаванд.

Вобаста ба навъи масъалаҳои ҳалшаванда модулҳои алоҳида метавонанд аз барнома дур карда шаванд. Мурочиат ба блокҳо метавонад якқарата ё баробари шумораи зерсоҳаҳо дар ҳар қадами итератсионӣ бошад. Мурочиат ба блоки 5 дар охири ҳисоб ё аз рӯи ҳисобкунандаи қадамҳо ба амал меояд.

5.4. Сохтори комплекси барномавии раванди гармигузаронӣ дар муҳитҳои конденсӣ

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



Расми 5.3. Сохтори комплекси барномавӣ

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

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

Қадамҳо барои таҳияи барнома дар C++ Builder:

1. Сохтани лоиҳаи нав

C++ Builder-ро кушода лоиҳаи нави Vcl Forms Application месозем.

2. Илова кардани чузъҳо

Чузьҳои заруриро барои тасвири натиҷа илова мекунем, ба монанди TChart барои нишон додани тақсимои ҳарорат.

3. Навистани коди барнома.

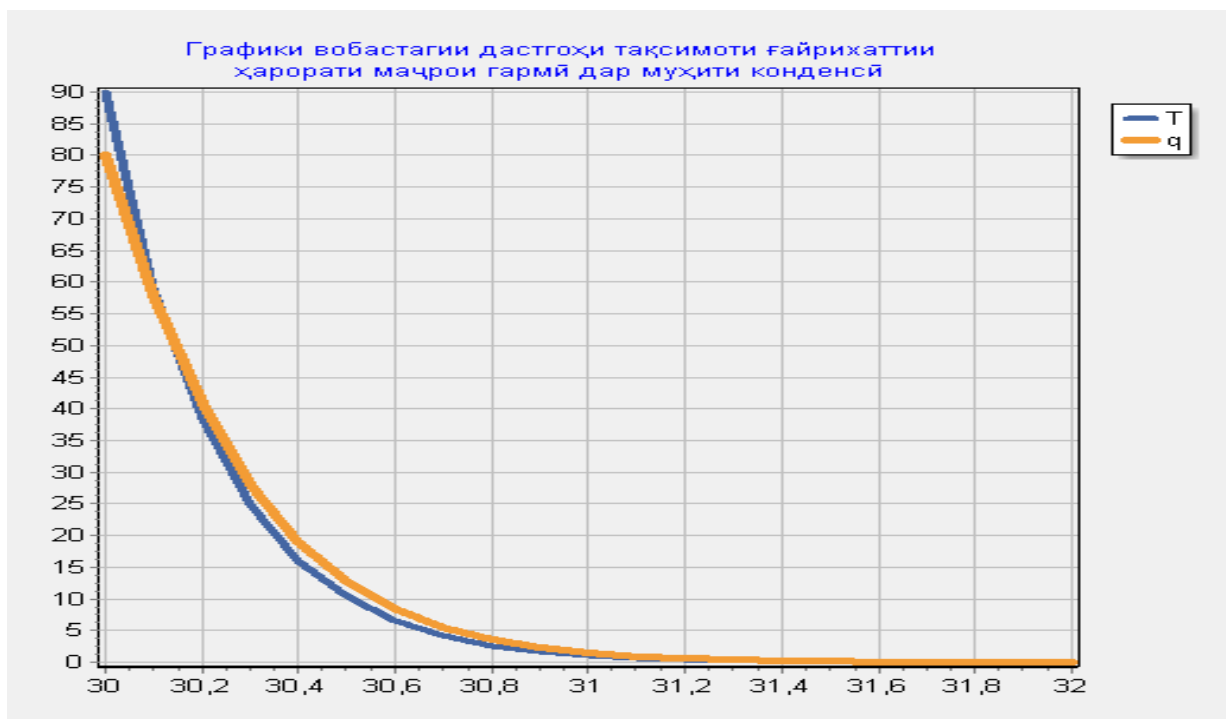
Барномаи компютери дар забони барномасозии C++ Builder барои моделсозии вобастагии дастгоҳ аз тақсимои ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ эҷод мекунем.

Натиҷаи барномаро ҳамчун сценария ба намуди скриншот меорем:

Сценарияи 1.

x	T	q
30	90	80
30,100000	59	58
30,200000	38,40000	40,799999
30,300000	24,840000	28,079999
30,400000	15,984000	19,007999
30,500000	10,238400	12,700799
30,600000	6,531840	8,398079
30,700000	4,152384	5,505407
30,800000	2,631398	3,583180
30,900000	1,662819	2,317870
31,000000	1,048080	1,491499

Расми 5.4. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди ҷадвалӣ



Расми 5.5. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди графикӣ

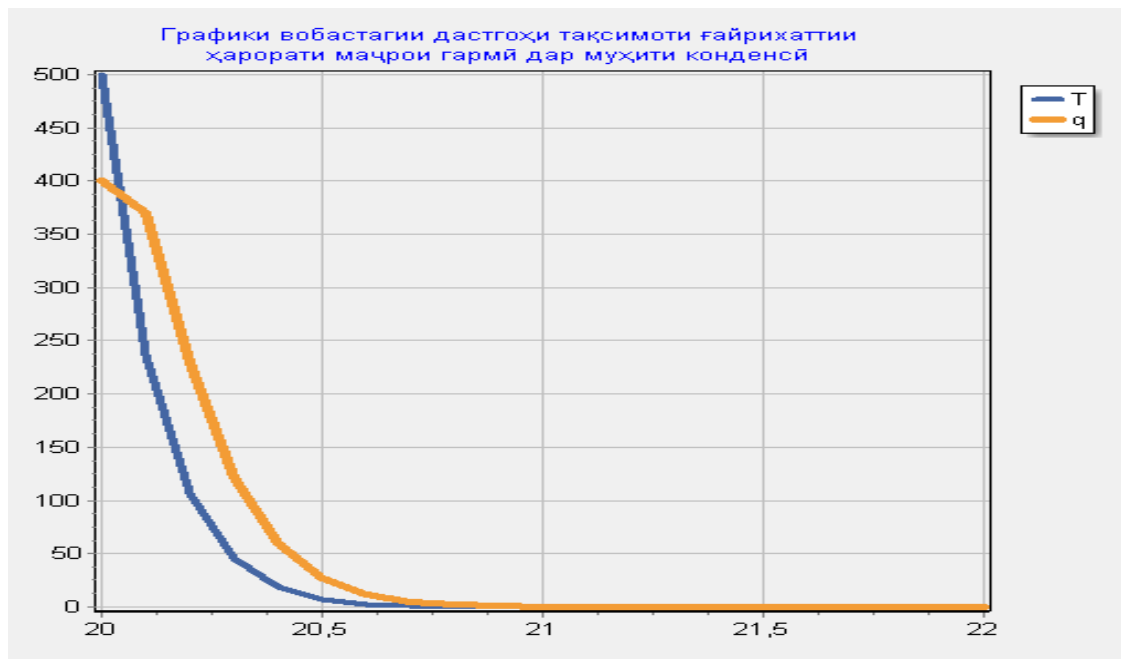
Сериияи 2.

Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихатт...

$T =$	500	x	20	T	500	q	400
$q =$	400	$\lambda =$	3	20,10000	236,6666	370	
$x =$	20	$\eta_1 =$	5	20,20000	105,9999	229,3333	
$\lambda =$	3	$\eta_2 =$	7	20,30000	45,35555	121,7999	
$\eta_1 =$	5	$\phi(T) =$	5	20,40000	18,61777	59,21777	
$\eta_2 =$	7			20,50000	7,334962	27,07422	
$\phi(T) =$	5			20,60000	2,765007	11,78974	
				20,70000	0,989511	4,919427	
				20,80000	0,330775	1,970584	
				20,90000	0,099701	0,756562	
				21,00000	0,024631	0,276819	

Ҳисобкунӣ

Расми 5.6. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди ҷадвалӣ



Расми 5.7. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди графикӣ

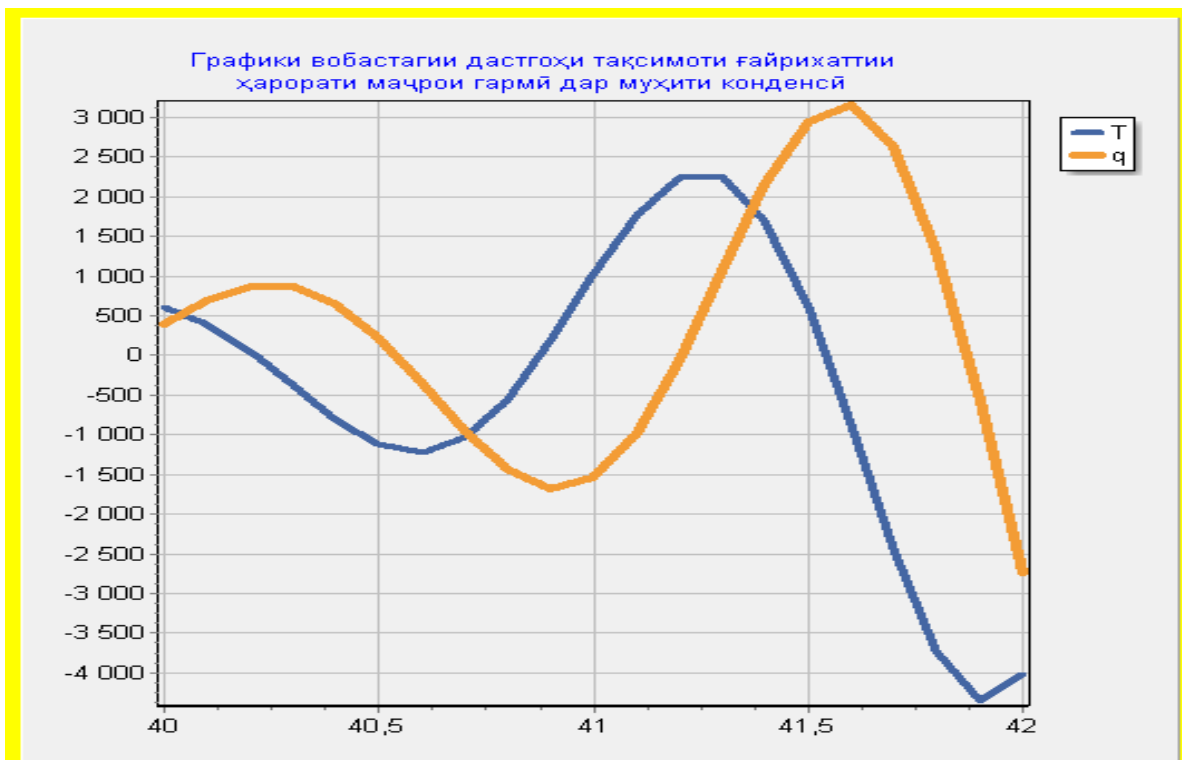
Сераияи 3.

Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\lambda =$
 $\eta_1 =$
 $\eta_2 =$
 $\phi(T) =$

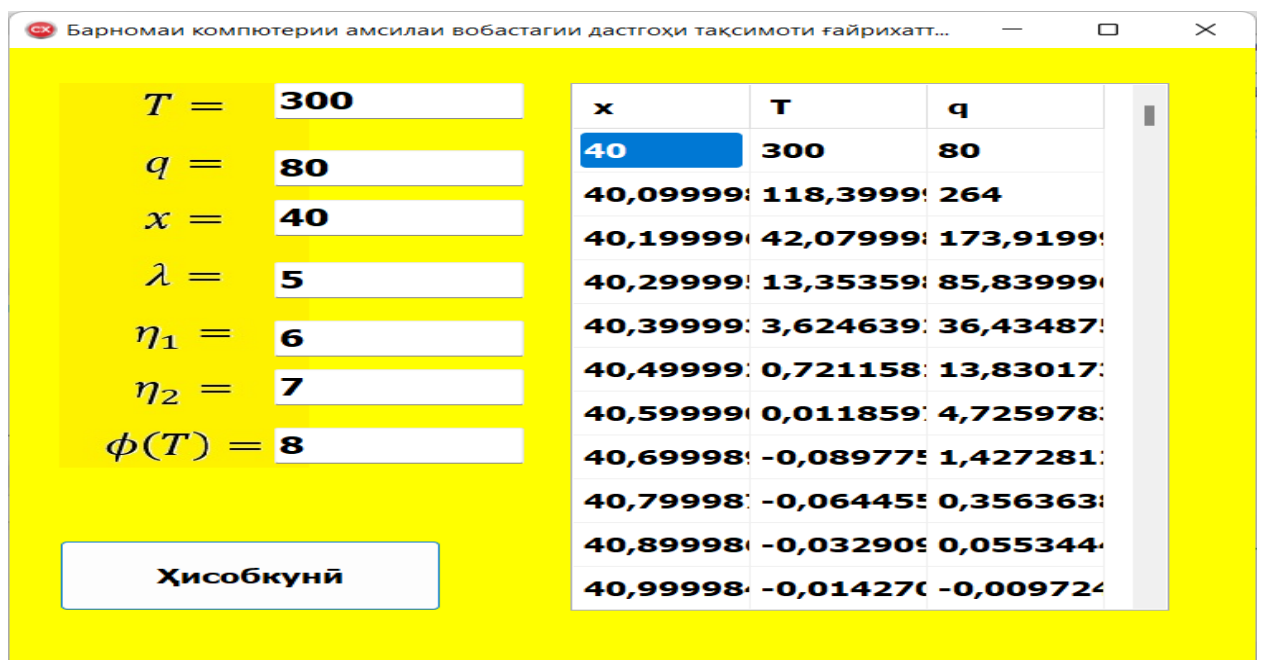
x	T	q
40	600	400
40,09999	394	688
40,19999	46,06000	864,3599
40,29999	-386,5805	861,4591
40,39999	-813,4443	642,3250
40,49999	-1126,472	216,3331
40,59999	-1223,374	-353,3931
40,69998	-1034,444	-954,4785
40,79998	-546,8603	-1443,066
40,89998	180,1413	-1673,204
40,99998	1014,942	-1532,937

Расми 5.8. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди графикӣ

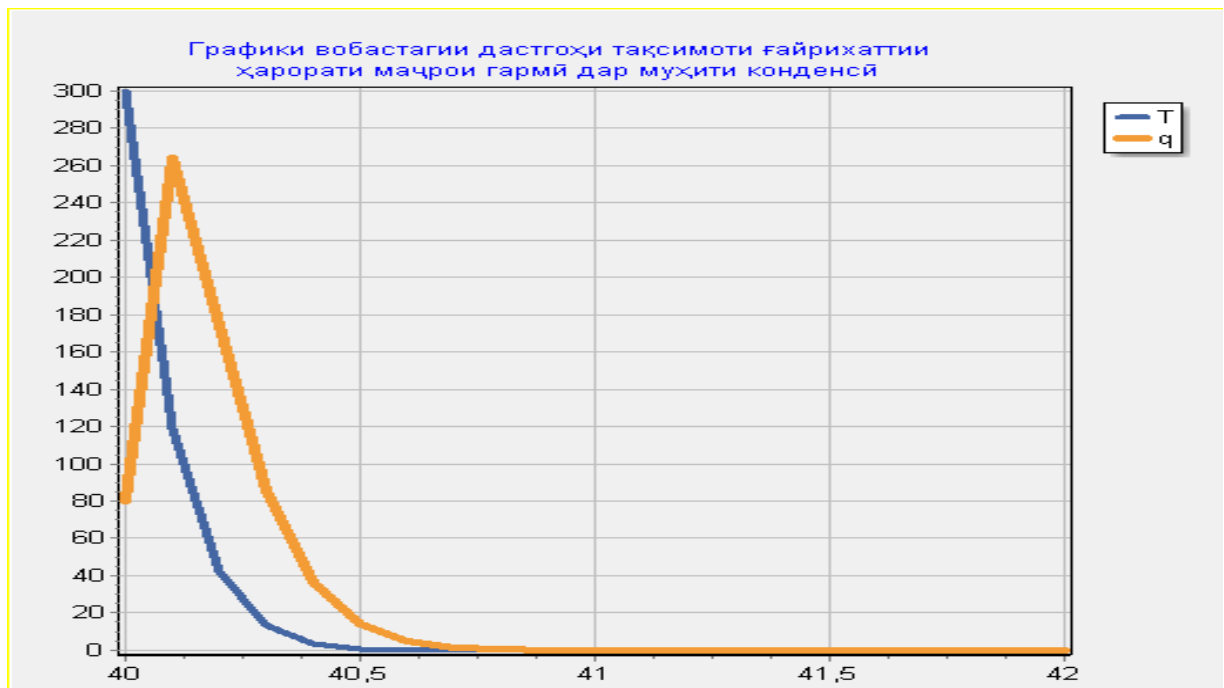


Расми 5.9. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди графикӣ

Сераияи 4.



Расми 5.10. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди ҷадвали



Расми 5.11. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди графикӣ

Сераияи 5.

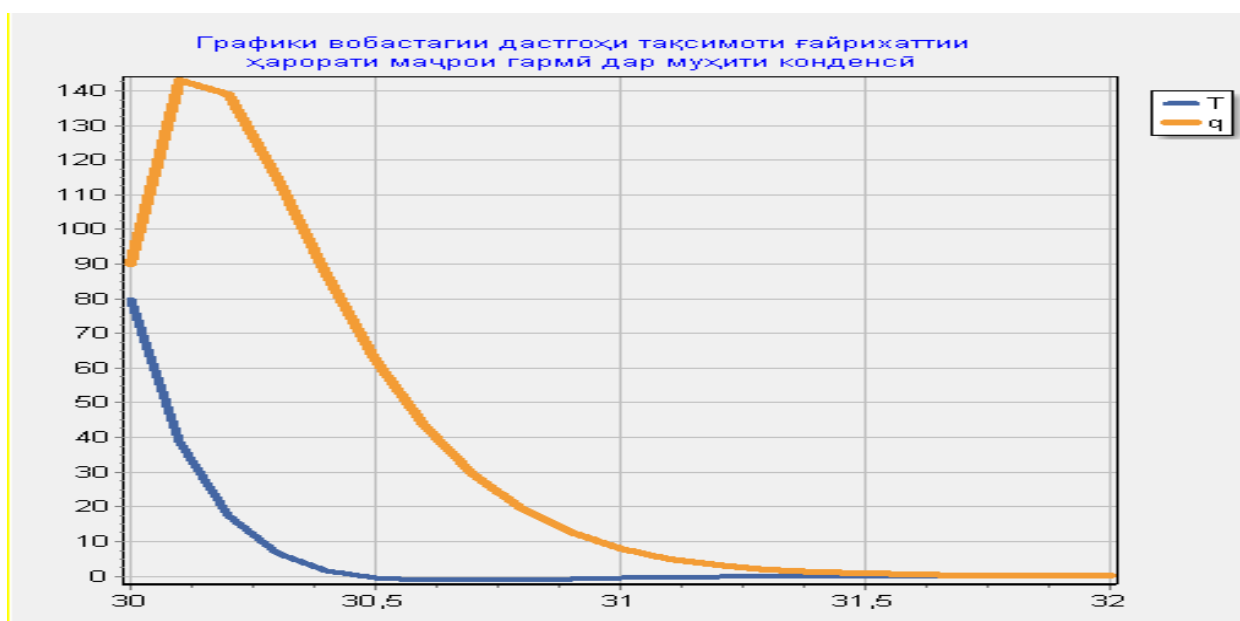
Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\lambda =$
 $\eta_1 =$
 $\eta_2 =$
 $\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

x	T	q
30	80	90
30,10000	38,71428	143
30,20000	17,31428	138,81428
30,30000	6,674081	114,48428
30,40000	1,701550	86,81307
30,50000	-0,389411	62,47070
30,60000	-1,087144	43,34008
30,70000	-1,162716	29,25091
30,80000	-0,999228	19,31292
30,90000	-0,775513	12,51981
31,00000	-0,566611	7,988359

Расми 5.12. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди чадвалӣ



Расми 5.13. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди графикӣ

Сераияи 6.

$T =$

50

$q =$

60

$x =$

40

$\lambda =$

5

$\eta_1 =$

-5

$\eta_2 =$

5

$\phi(T) =$

0,2

x	T	q
40	50	60
40,099998	73,800000	31
40,199998	110,080000	16,975999
40,299998	164,780400	10,689599
40,399998	246,956900	8,640409
40,499998	370,262600	9,259343
40,599998	555,208700	12,034920
40,699998	832,572300	17,121630
40,799998	1248,516000	25,212260
40,899998	1872,269000	37,576450
40,999998	2807,653000	56,233620

Ҳисобкунӣ

Графики вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ

Температура конденсатора (°C)	Температура T (°C)	Тепловой поток q (кВт)
40	0	0
40,5	0	0
41	2000	1000
41,5	22000	2000
42	160000	5000

Сераияи 7.

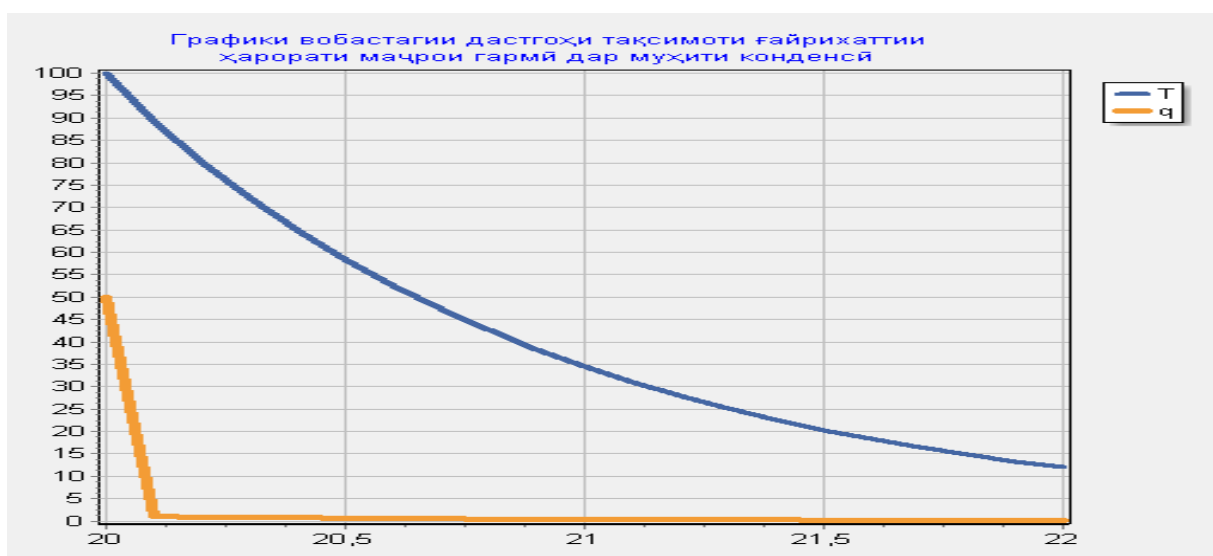
Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимоти ғайрихаттии...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\lambda =$
 $\eta_1 =$
 $\eta_2 =$
 $\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

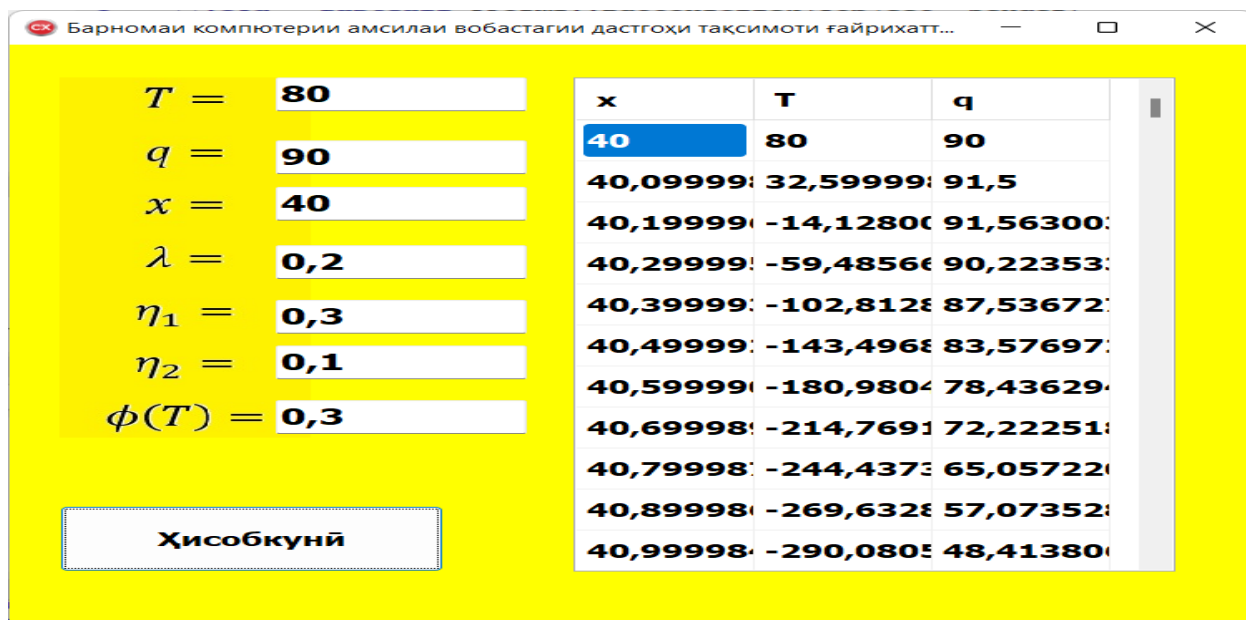
x	T	q
20	100	50
20,10000	89,16666	0,9999999
20,20000	80,23332	0,8916666
20,30000	72,19513	0,8023333
20,40000	64,96224	0,7219511
20,50000	58,45399	0,6496222
20,60000	52,59776	0,5845398
20,70000	47,32824	0,5259770
20,80000	42,58665	0,4732822
20,90000	38,32009	0,4258665
21,00000	34,48099	0,3832010

Расми 5.16. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди чадвалӣ

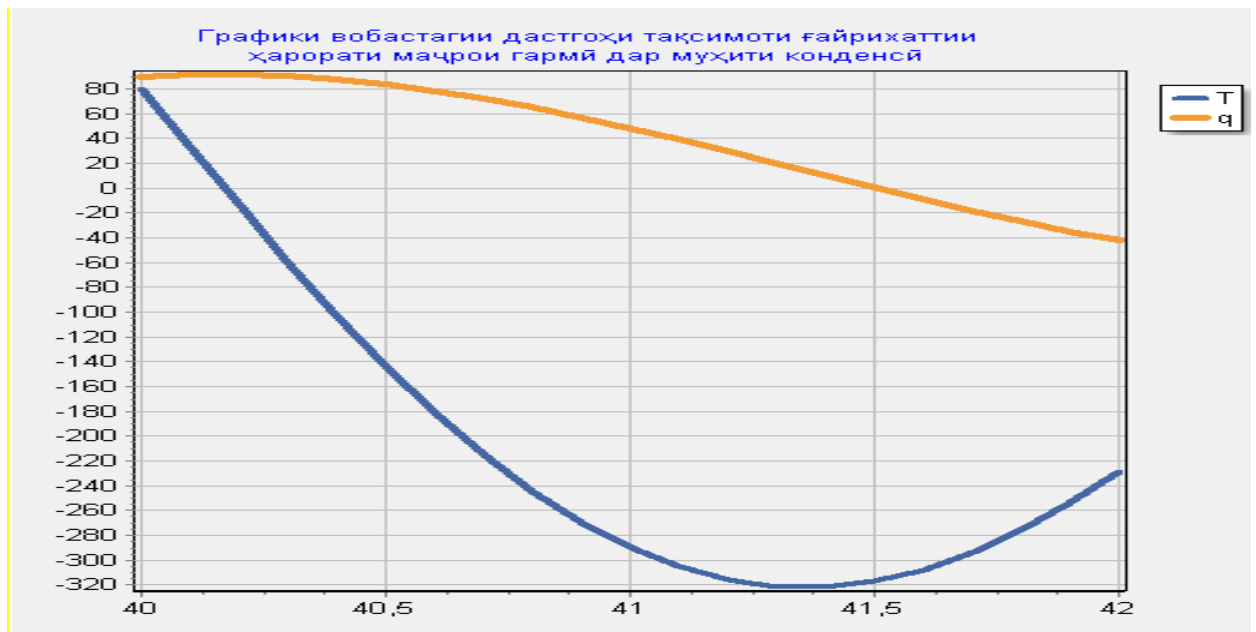


Расми 5.17. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди графикӣ

Сераияи 8.



Расми 5.18. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди чадвалӣ



Расми 5.19. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди графикӣ

Сераи 9.

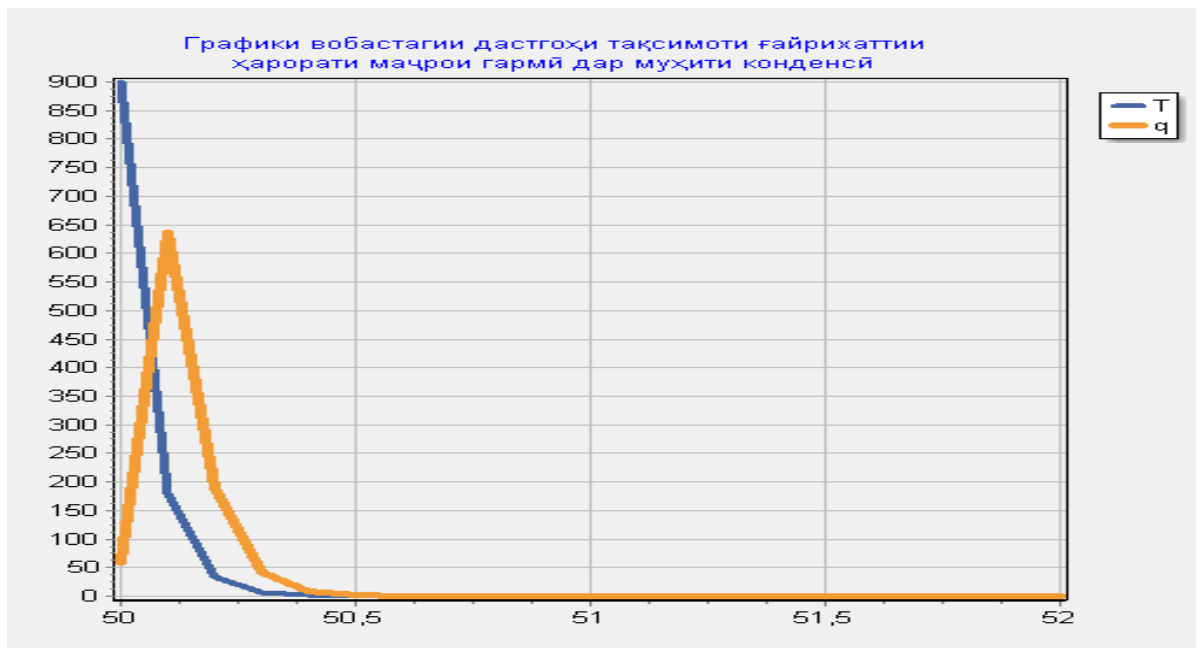
Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихат...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\lambda =$
 $\eta_1 =$
 $\eta_2 =$
 $\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

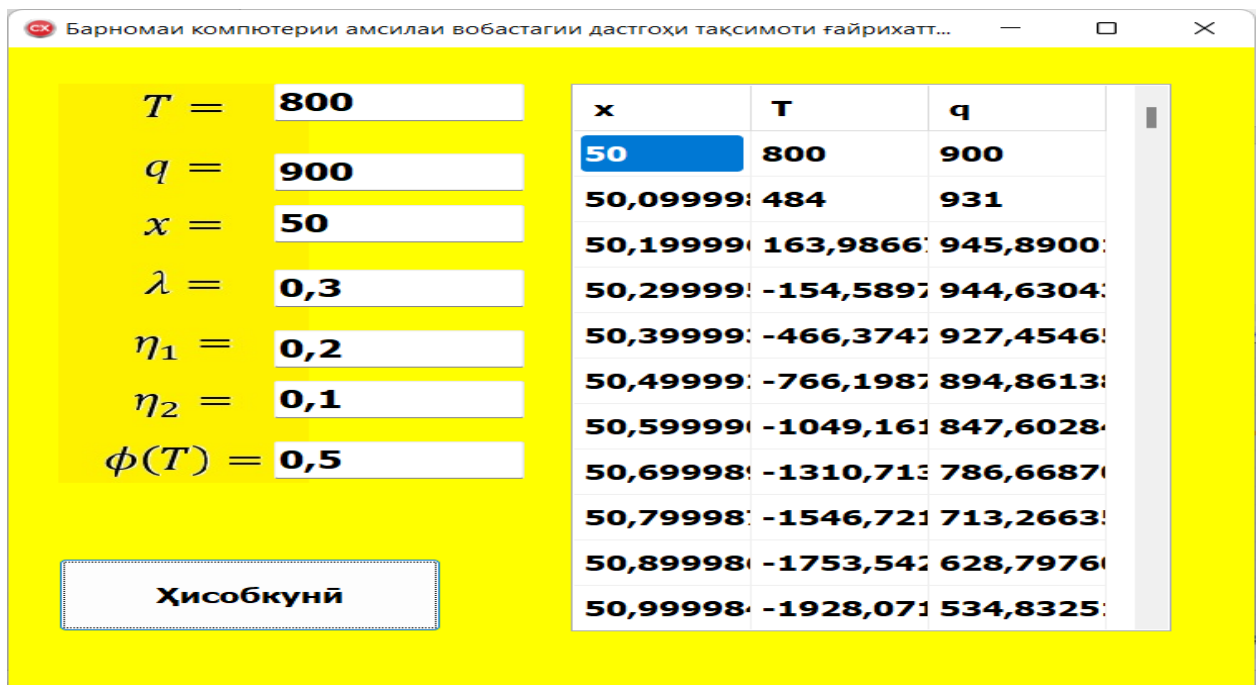
x	T	q
50	900	60
50,099998	179,8499	636
50,199998	34,37999	189,4949
50,299998	6,402261	43,01549
50,399998	1,172913	8,783132
50,499998	0,212624	1,699352
50,599998	0,038276	0,318772
50,699998	0,006858	0,058670
50,799998	0,001224	0,010667
50,899998	0,000218	0,001924
50,999998	3,885526	0,000345

Расми 5.20. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди ҷадвалӣ

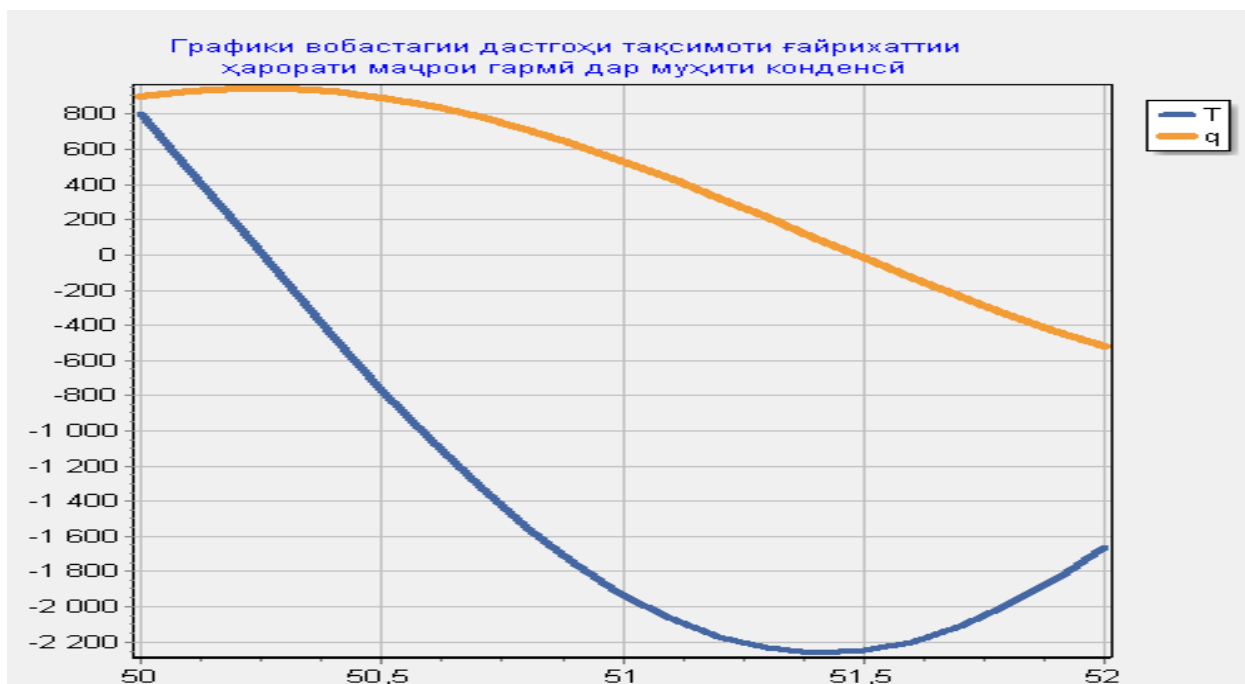


Расми 5.21. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди графикӣ

Сериияи 10.



Расми 5.22. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди чадвалӣ



Расми 5.23. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ ба намуди графикӣ

2. Барномаи компютерии амсилаи дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити шакли сатҳӣ

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

Барнома метавонад бо забонҳои гуногуни барномасозӣ, аз ҷумла Python, MATLAB, C++ ва ғайра амалӣ карда шавад. Ин аст нақшаи умумии қадам барои сохтани чунин барнома:

1. Ташаккули масъала

Муодилаеро муайян мекунем, ки вобастагии ғайрихаттии ҳарорати рӯи заминро аз параметрҳои дастгоҳ ва ҳараёни гармӣ тавсиф мекунанд.

2. Интихоби усули ададӣ

Усули мувофиқи ададиро барои ҳалли муодилаҳо бо назардошти хусусияти масъала интихоб мекунем. Усули фарқҳои охиринок моделсозии равандҳои гармигузаронӣ истифода мешаванд.

3. Татбиқи алгоритм

Рамзи амалисозии усули ададии интихобшударо менависем. Ин дискретатсияи муодилаҳо, ҳалли системаи муодилаҳо ва коркарди натиҷаҳо дар бар мегирад.

4. Визуализатсияи натиҷаҳо

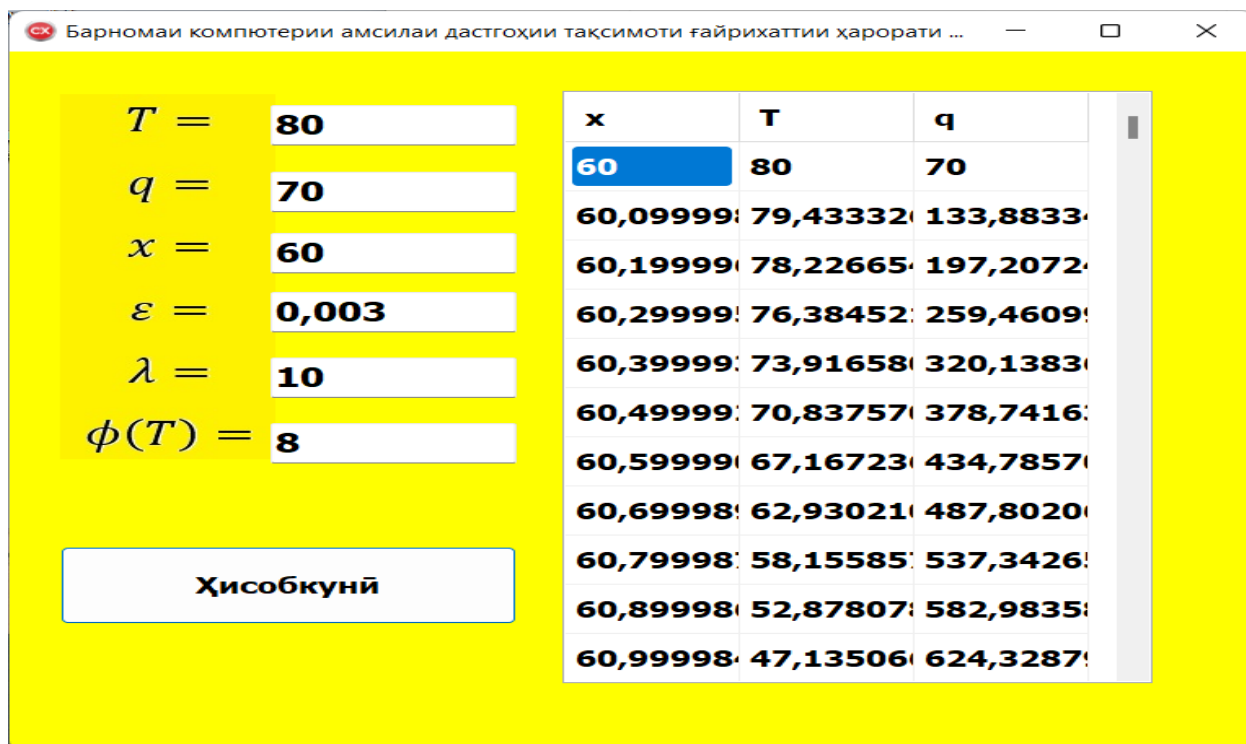
Интерфейси графикӣ эҷод мекунем ё китобхонаҳо барои визуализатсияи натиҷаҳои амсиласозӣ истифода мебарем. Визуализатсия метавонад графикҳои тақсимои ҳарорат, аниматсияи тағирёбии ҳарорат дар вақт ва ғайраро дар бар гирад.

5. Санҷиш ва таҳлил

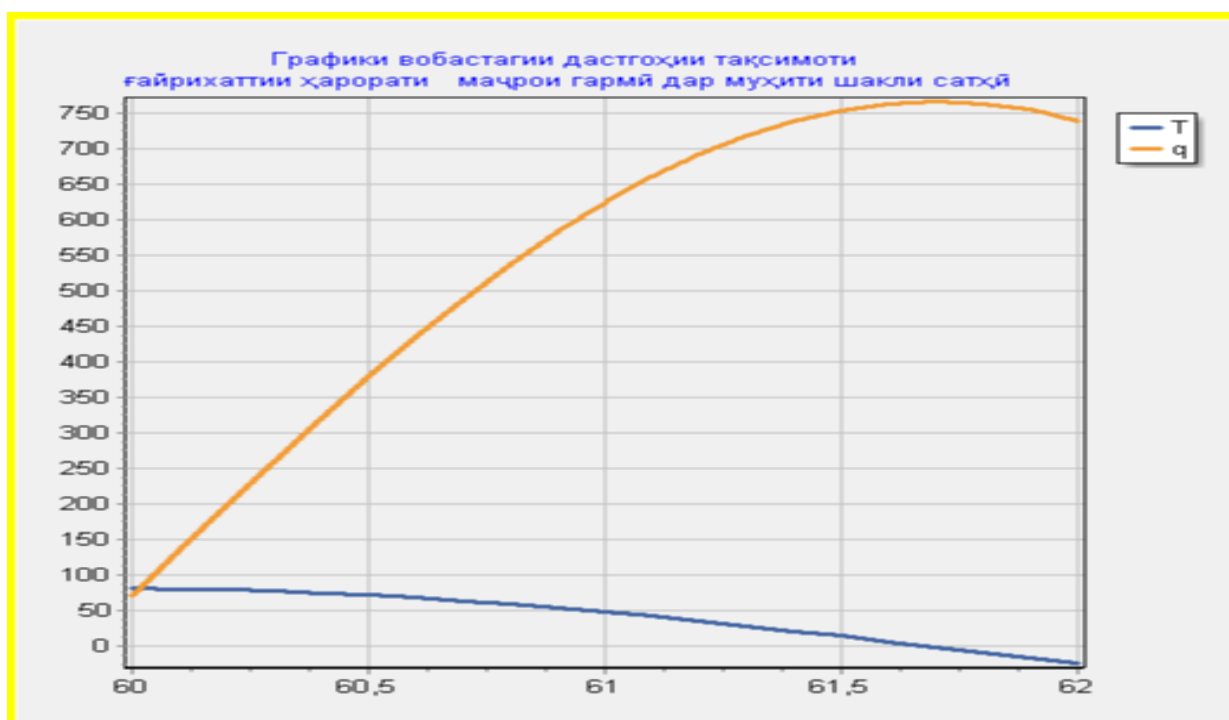
Барномаро дар вурудоти гуногун месанҷем ва натиҷаҳои бадастомадаро таҳлил мекунем. Боварӣ ҳосил мекунем, ки барнома дуруст кор мекунанд ва дар шароити гуногун натиҷаҳои мувофиқ медиҳад.

Натиҷаи барномаро ҳамчун сценария ба намуди скриншотҳо меорем:

Сераияи 1.

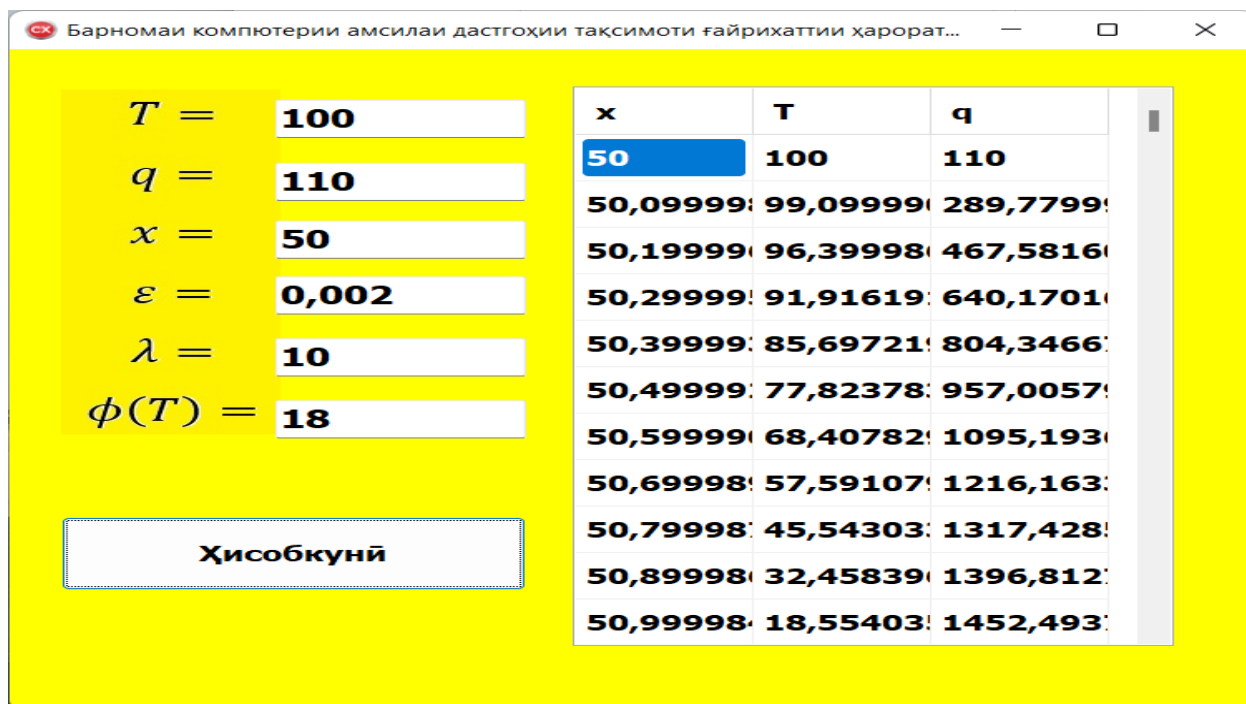


Расми 5.24. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди ҷадвалӣ

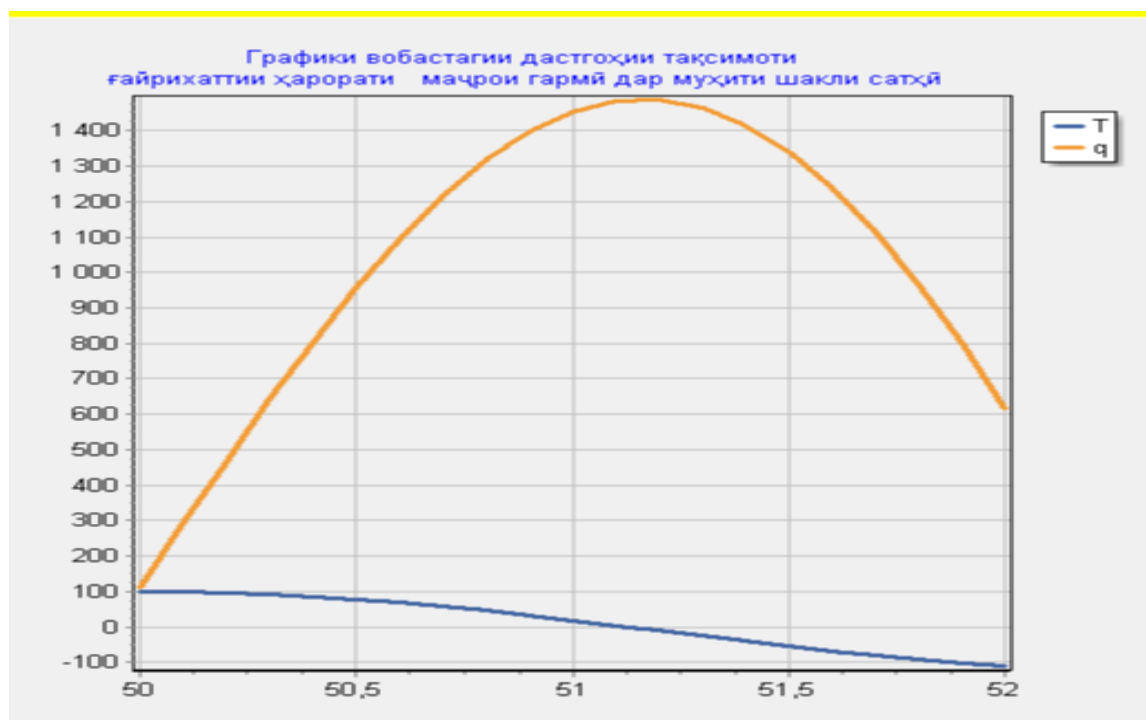


Расми 5.25. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди графикӣ

Сераияи 2.



Расми 5.26. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди ҷадвали



Расми 5.27. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди графикӣ

Сераияи 3.

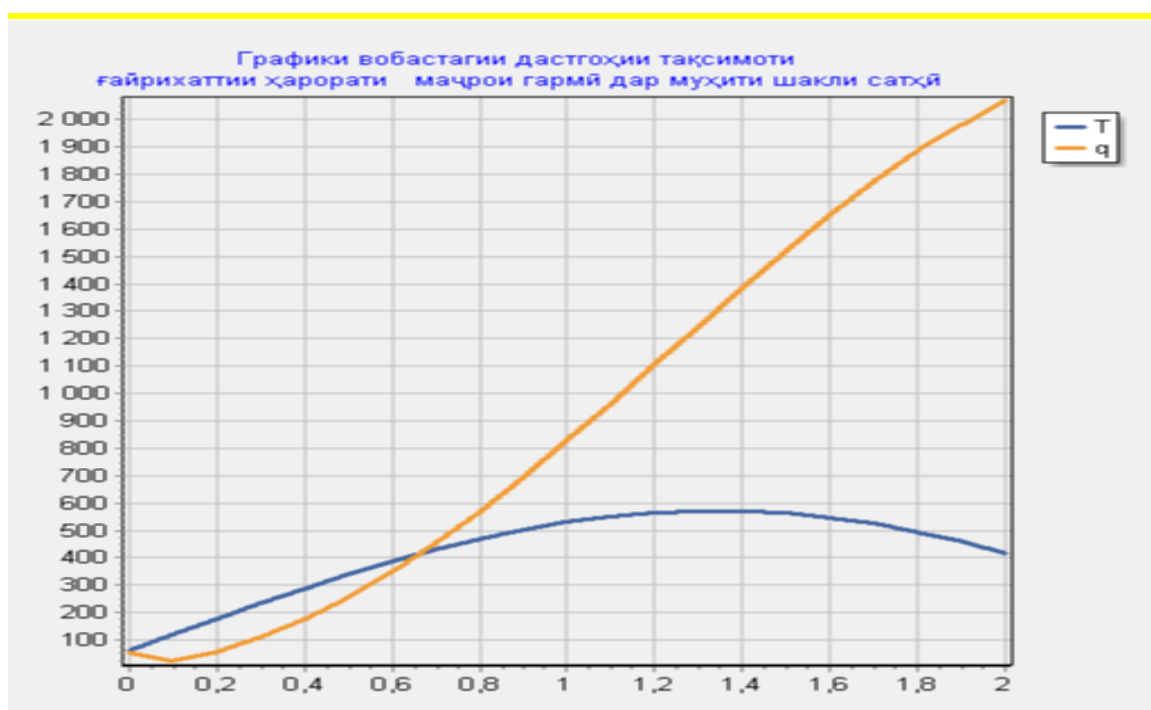
Барномаи компютерии амсилаи дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарорати...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\varepsilon =$
 $\lambda =$
 $\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

x	T	q
0	60	55
0,100000	118,1666	24
0,200000	176,4499	59,26666
0,300000	233,2911	110,0911
0,400000	287,9441	175,8847
0,5	339,6701	255,8854
0,600000	387,7523	349,1059
0,700000	431,5086	454,3346
0,800000	470,3027	570,1463
0,900000	503,5537	694,9178
1,000000	530,7452	826,8475

Расми 5.28. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди ҷадвали



Расми 5.29. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди графикӣ

Сераияи 4.

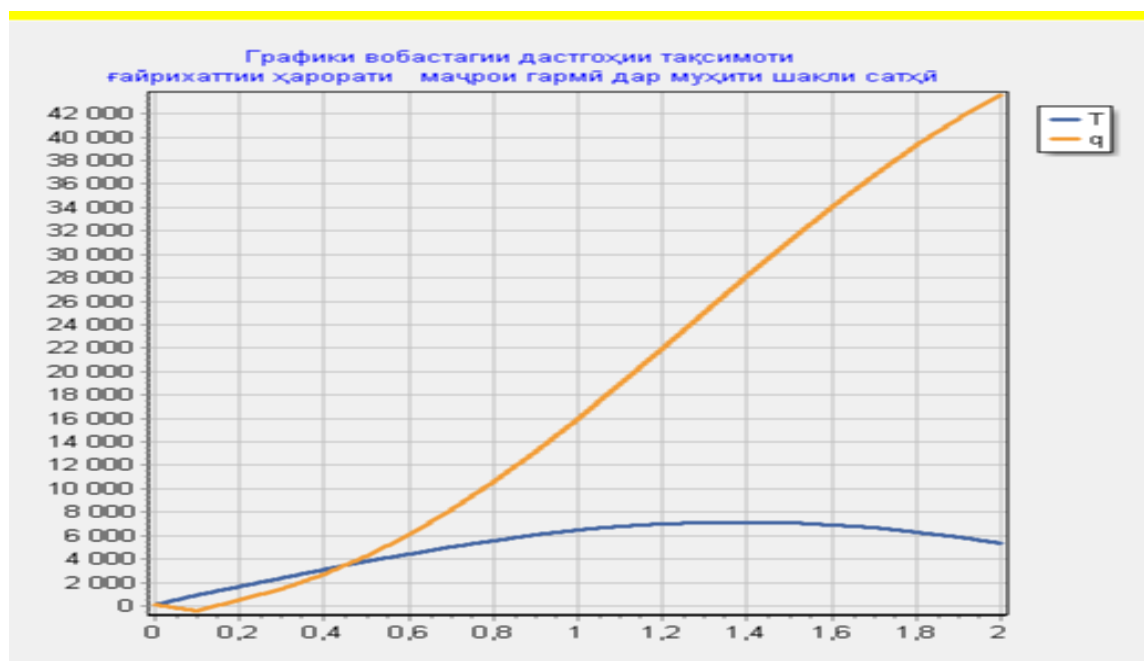
Барномаи компютерии амсилаи дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарора...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\varepsilon =$
 $\lambda =$
 $\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

x	T	q
0	150	130
0,100000	897,4000	-415,0000
0,200000	1653,533	559,0133
0,300000	2393,959	1462,389
0,400000	3112,823	2681,164
0,5	3800,348	4221,768
0,600000	4446,75	6070,134
0,700000	5042,564	8203,805
0,800000	5578,845	10594,18
0,900000	6047,308	13207,40
1,000000	6440,476	16004,93

Расми 5.30. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди ҷадвалӣ



Расми 5.31. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди графикӣ

Сераияи 4.

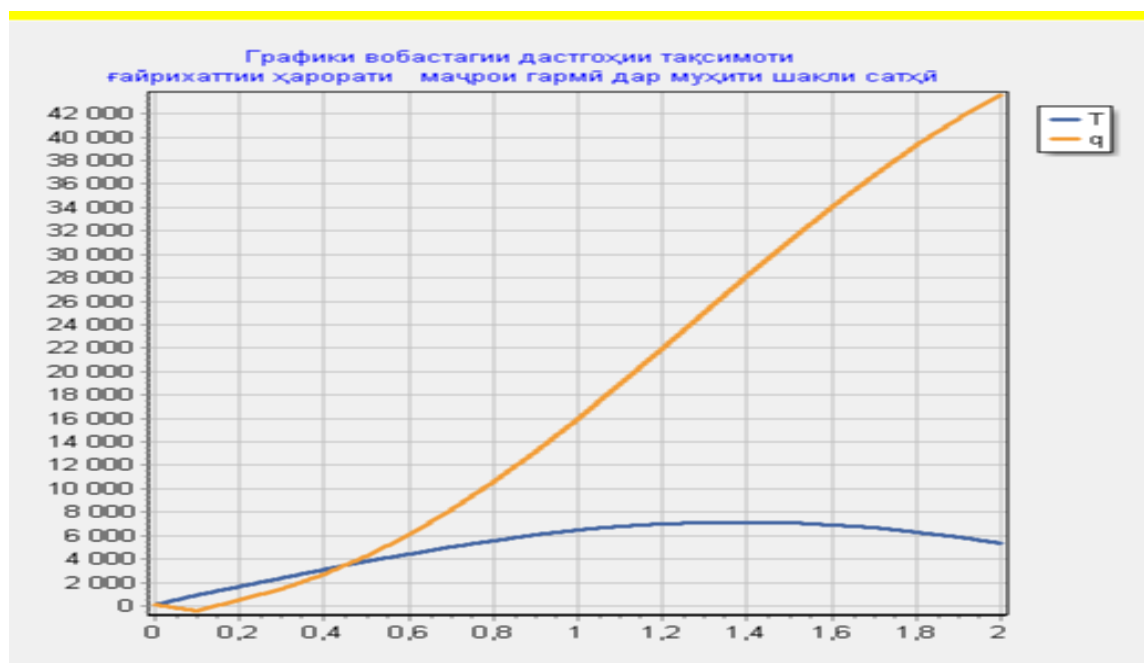
Барномаи компютерии амсилаи дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарора...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\varepsilon =$
 $\lambda =$
 $\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

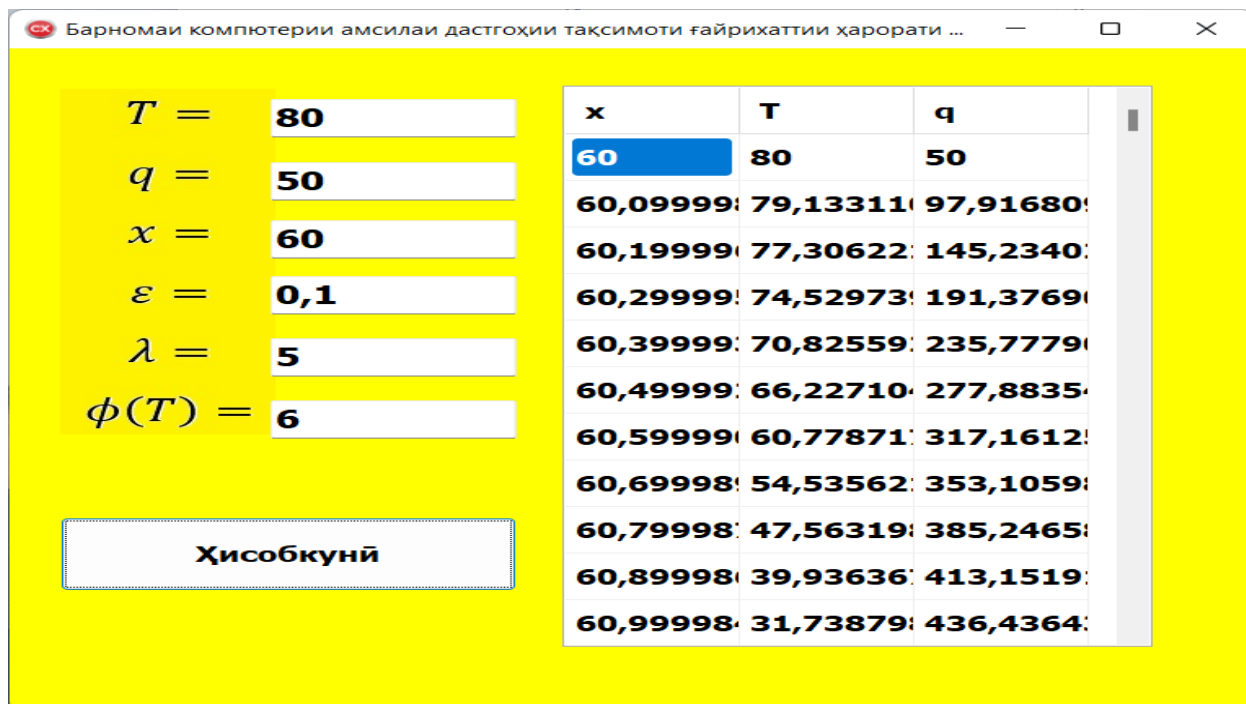
x	T	q
0	150	130
0,100000	897,4000	-415,0000
0,200000	1653,533	559,0133
0,300000	2393,959	1462,389
0,400000	3112,823	2681,164
0,5	3800,348	4221,768
0,600000	4446,75	6070,134
0,700000	5042,564	8203,805
0,800000	5578,845	10594,18
0,900000	6047,308	13207,40
1,000000	6440,476	16004,93

Расми 5.32. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди ҷадвалӣ

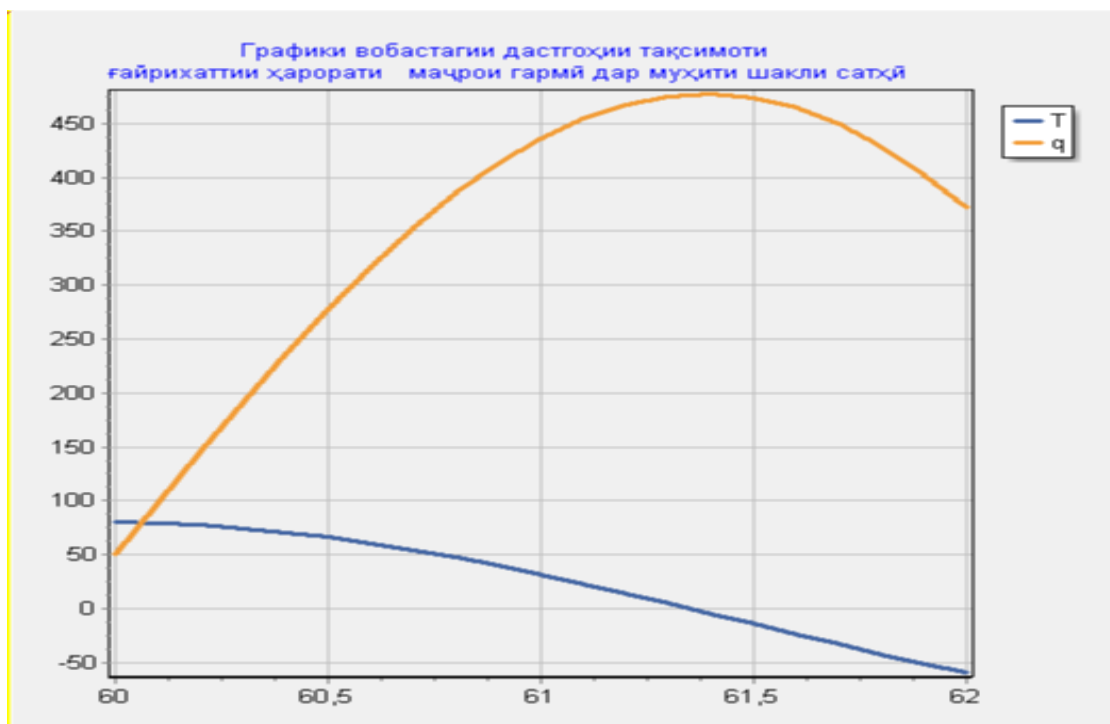


Расми 5.33. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди графикӣ

Сераияи 5.



Расми 5.34. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди ҷадвалӣ



Расми 5.35. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди графикӣ

Серияи 6.

Барномаи компютери амсилаи дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарорат...

$T =$

170

$q =$

160

$x =$

50

$\varepsilon =$

0,1

$\lambda =$

20

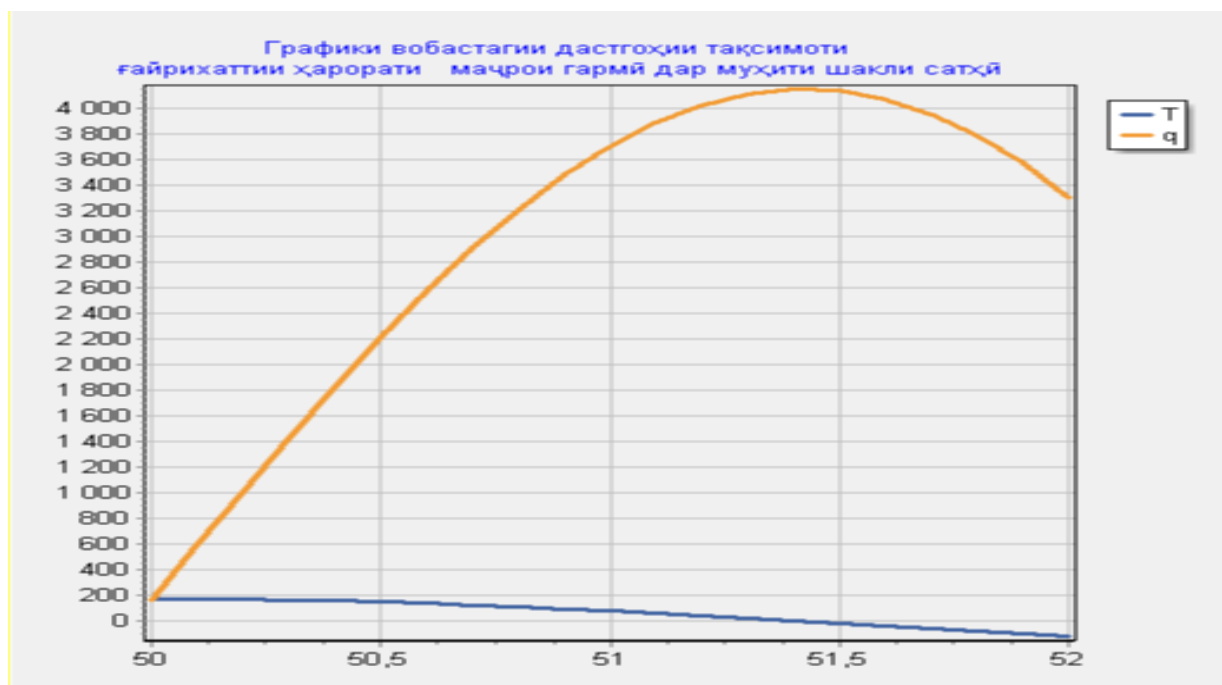
$\phi(T) =$

25

Ҳисобкунӣ

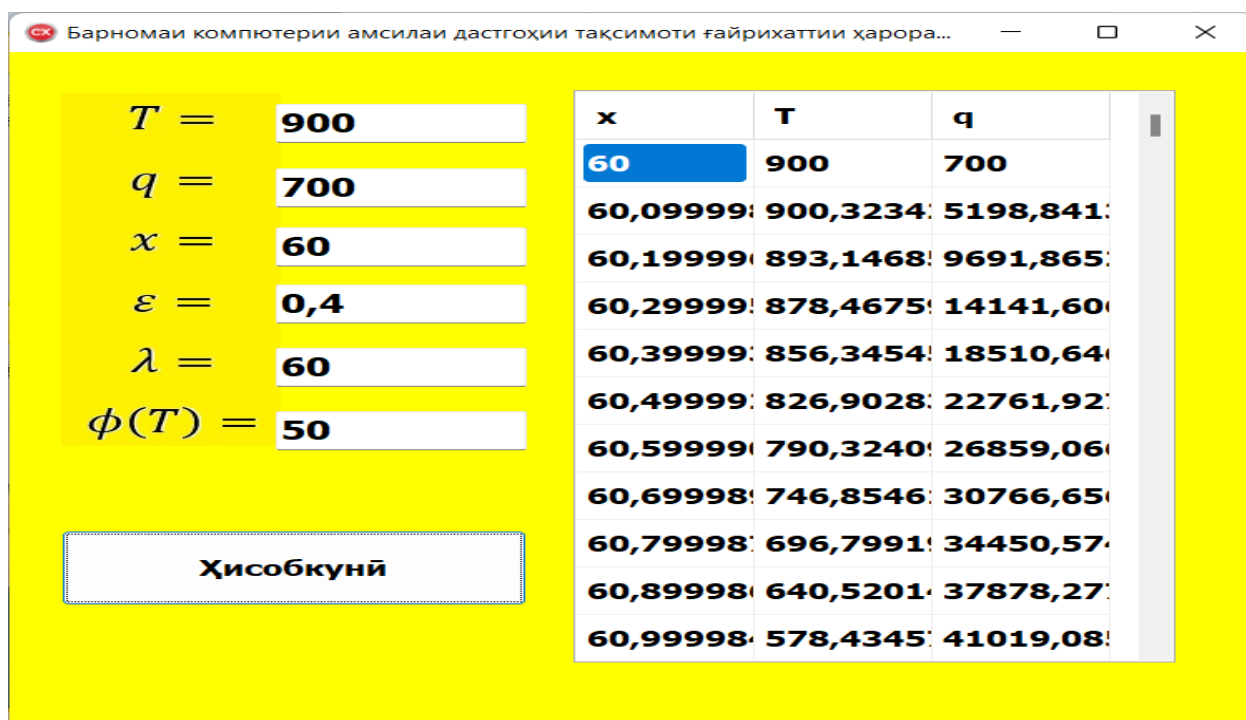
x	T	q
50	170	160
50,09999	169,5393	584,6806
50,19999	166,9536	1007,364
50,29999	162,2487	1422,745
50,39999	155,4569	1825,544
50,49999	146,6370	2210,572
50,59999	135,8739	2572,795
50,69998	123,2779	2907,406
50,79998	108,9836	3209,877
50,89998	93,14836	3476,030
50,99998	75,95085	3702,085

Расми 5.36. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуи чадвалӣ

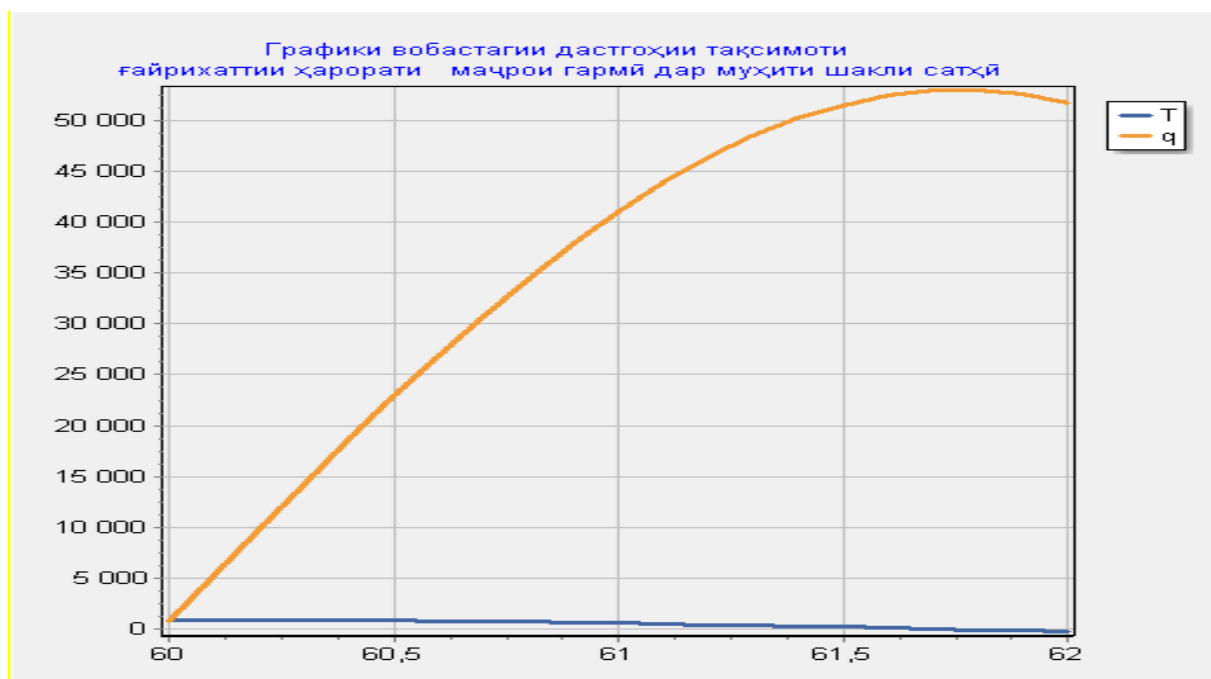


Расми 5.37. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намууди графикӣ

Сераияи 7.



Расми 5.38. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди ҷадвали



Расми 5.39. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди графикӣ

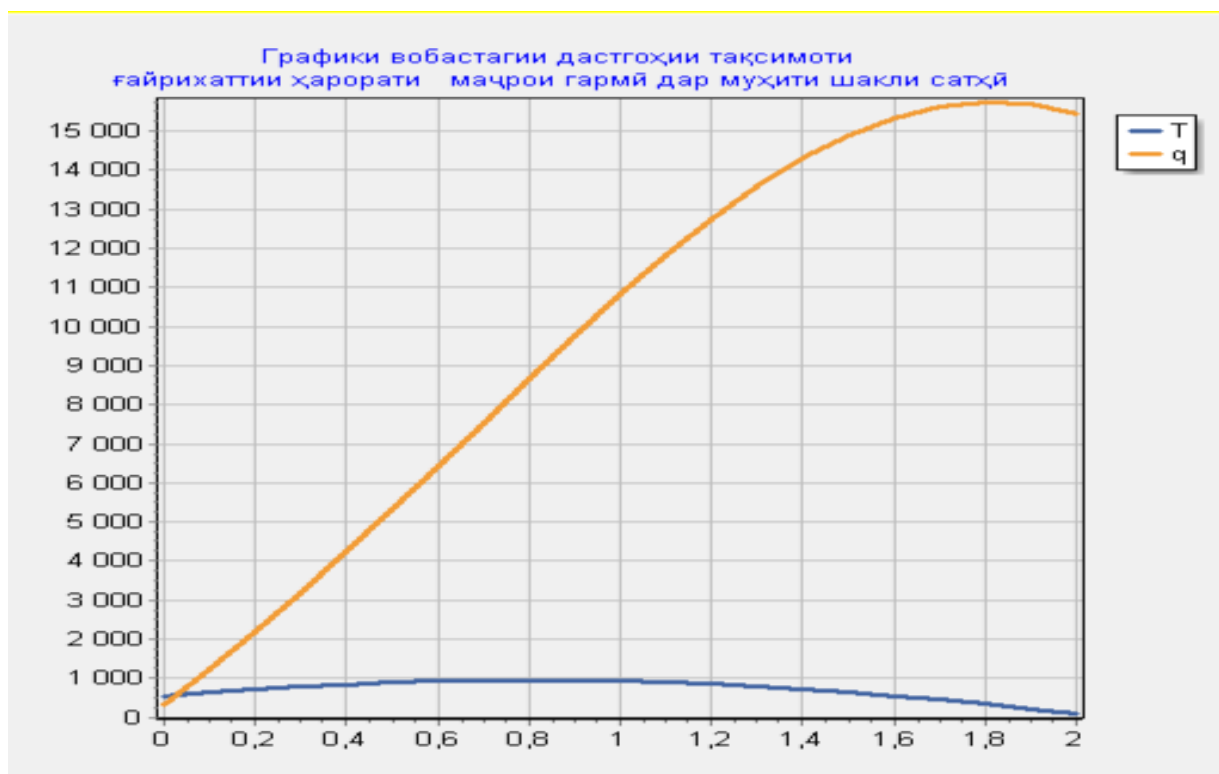
Сераияи 8.

Барномаи компютерии амсилаи дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарора...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\varepsilon =$
 $\lambda =$
 $\phi(T) =$

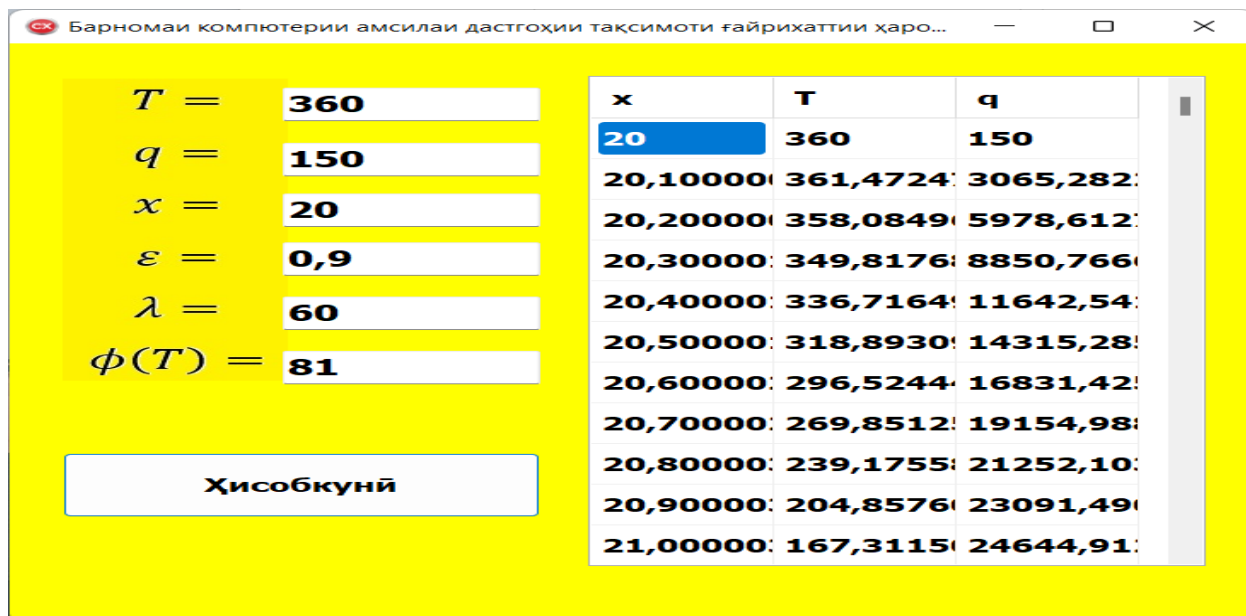
x	T	q
0	540	320
0,100000	627,3333	1238,666
0,200000	706,6301	2190,914
0,300000	776,7012	3188,984
0,400000	836,4265	4232,715
0,5	884,7966	5315,011
0,600000	920,9409	6424,462
0,700000	944,1488	7546,784
0,800000	953,8857	8665,730
0,900000	949,8060	9763,744
1,000000	931,7619	10822,47

Расми 5.40. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди ҷадвали

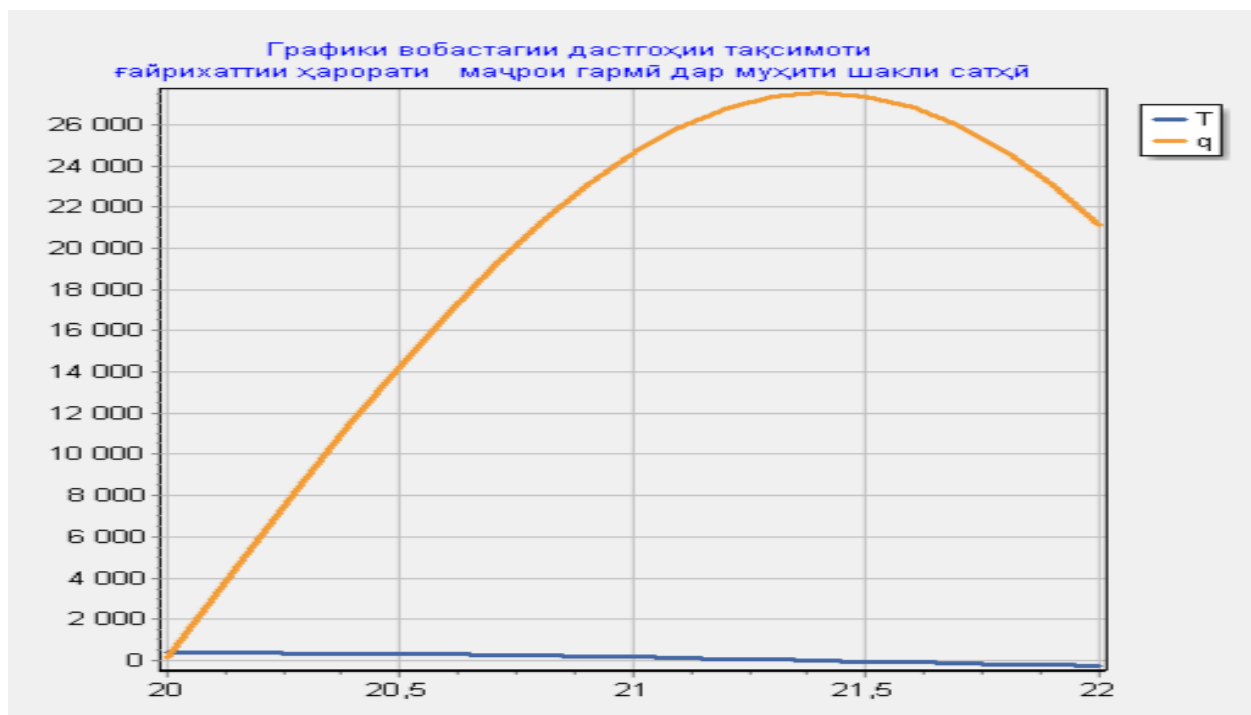


Расми 5.41. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди графикӣ

Сераияи 9.



Расми 5.42. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди ҷадвалӣ

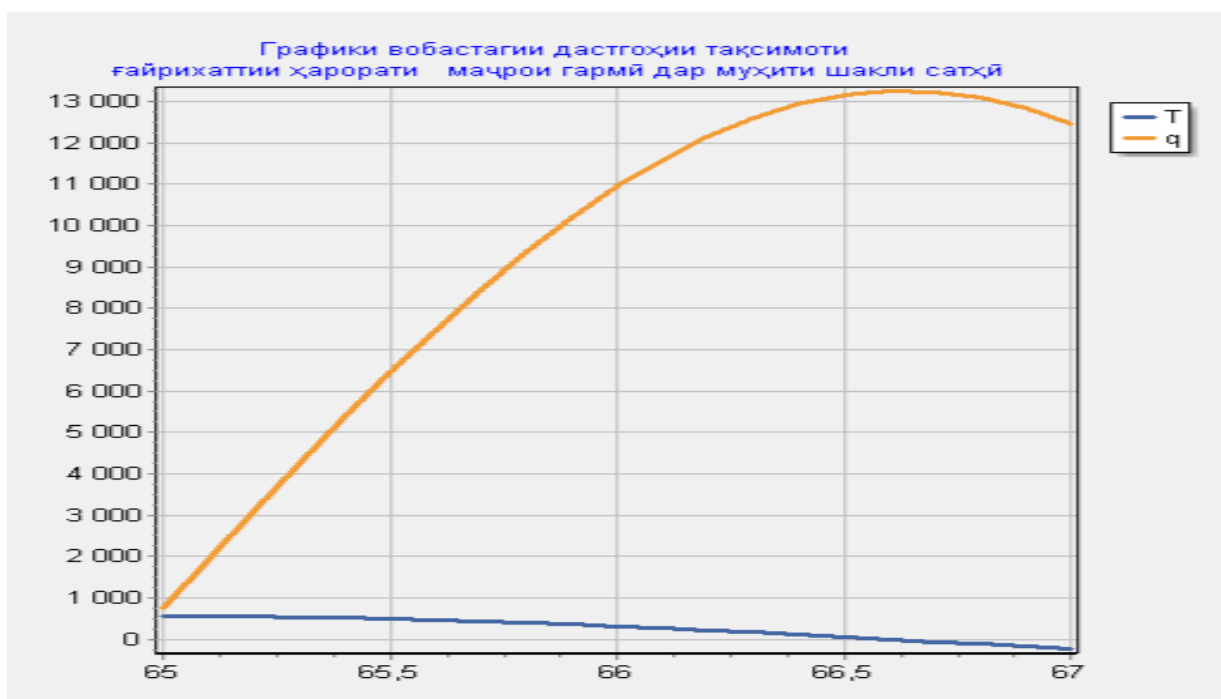


Расми 5.43. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди графикӣ

Сераияи 10.



Расми 5.44. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити сатҳӣ ба намуди чадвалӣ



**Расми 5.45. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии
дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити
сатҳӣ ба намуди графикӣ**

Ин барнома қолаби асосиро барои моделсозии тақсимои ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити дучониба бо истифода аз усули фарқҳои охиноқ 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. Имкониятҳои барномаро бо илова кардани шартҳои канорӣ, беҳтар кардани усулҳои ададӣ ва васеъ кардани функсияҳои интерфейси корбар истифода кардан мумкин аст.

**3. Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои
ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити силиндршакл**

Сохтани барномаи компютерӣ барои моделсозии вобастагии дастгоҳи тақсимои ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити силиндрӣ дар забони барномасозии C++ Builder ба назар гирифтани хусусиятҳои геометрии силиндрро талаб мекунад. Дар ин ҳолат муодилаи статсионарии гармидиҳиро дар системаи координатаҳои силиндрӣ дида мебароем. Дар зер намунаи барномае оварда шудааст, ки принципҳои асосии чунин амсиларо нишон медиҳад.

Қадамҳои асосӣ:

1. Гузориши масъала:

- Тақсимои ҳароратро дар муҳити силиндрӣ амсиласозӣ мекунем.
- Муодилаи статсионарии гармидиҳиро дар координатаҳои силиндрӣ истифода мебарем.

2. Татбиқи усули ададӣ:

- Барои интиҳоби муодилаҳо усули фарқҳои охиноқро истифода мебарем.

3. Сохтани интерфейси корбар:

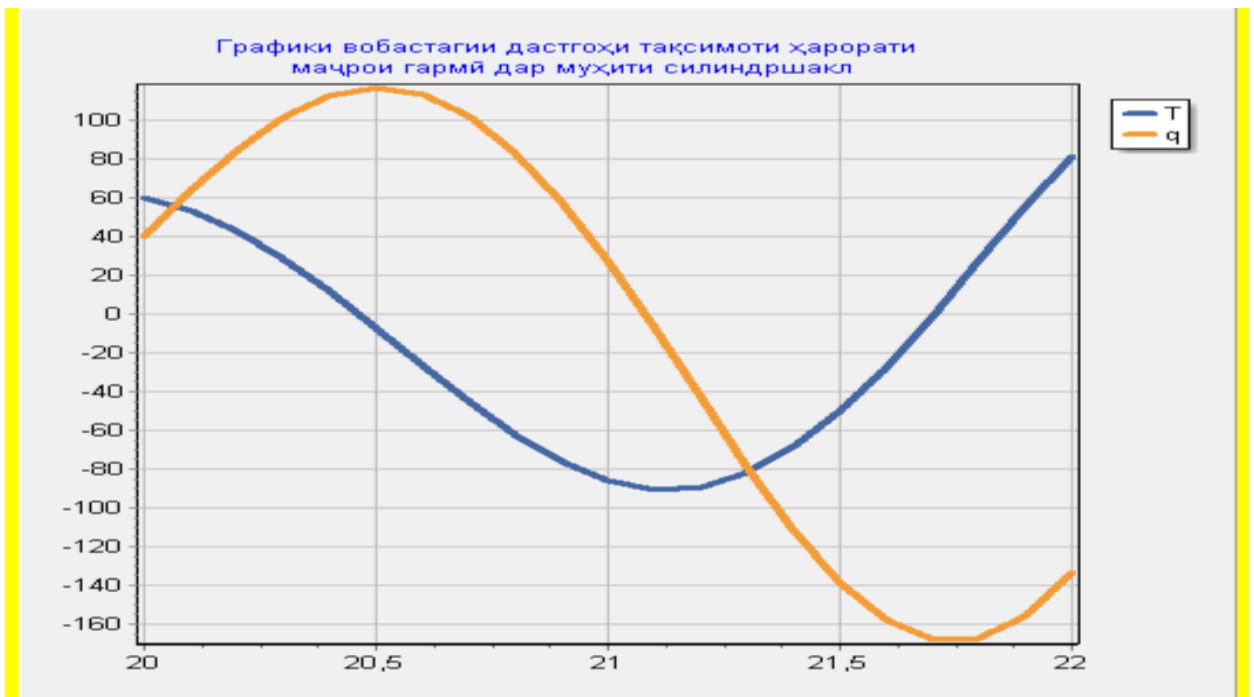
- Ҷузъҳои C++ Builder-ро барои ворид кардани параметрҳои амсила истифода мебарем.
- Натиҷаҳои амсиласозиро ба даст меорем.

Натиҷаи барномааро ба намуди скриншот дида мебароем:

Сенарияи 1.

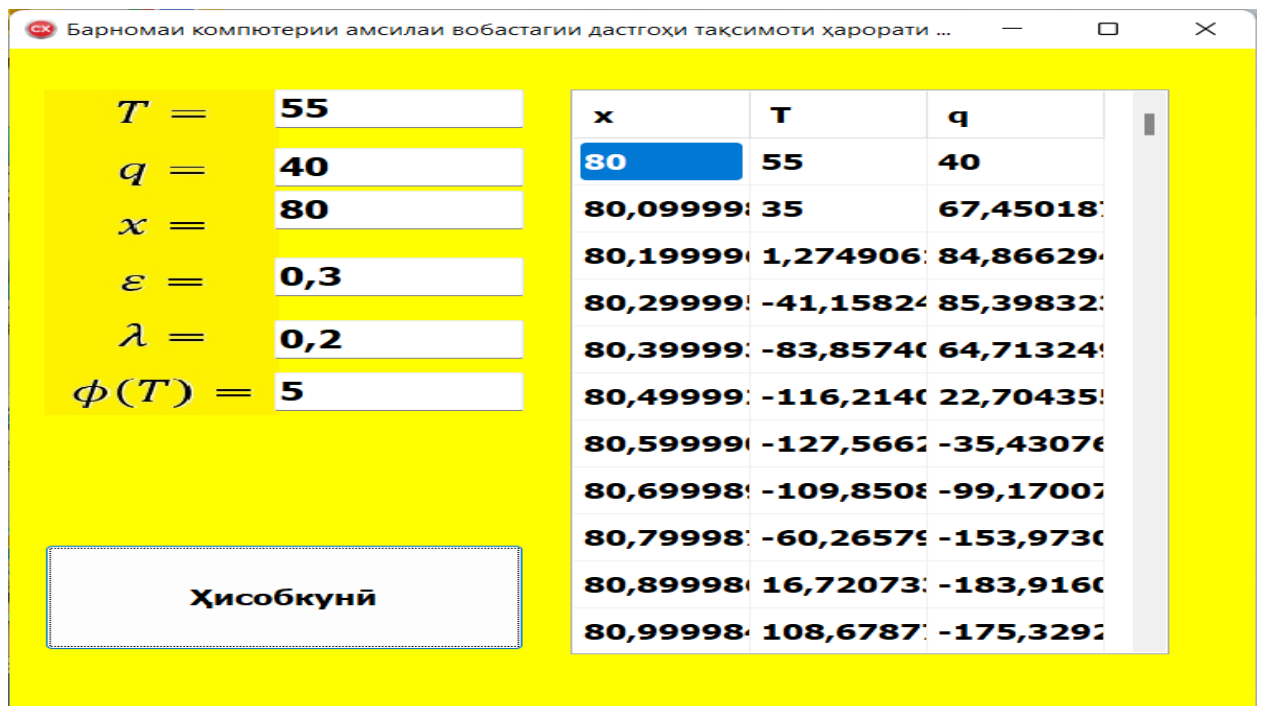
x	T	q
20	60	40
20,10000	53,33333	63,80099
20,20000	42,69983	84,81848
20,30000	28,56341	101,4805
20,40000	11,64998	112,4085
20,50000	-7,08476	116,5201
20,60000	-26,50479	113,1206
20,70000	-45,35823	101,9722
20,80000	-62,35360	83,33869
20,90000	-76,24338	57,99850
21,00000	-85,90980	27,22496

Расми 5.46. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсироти ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди ҷадвалӣ

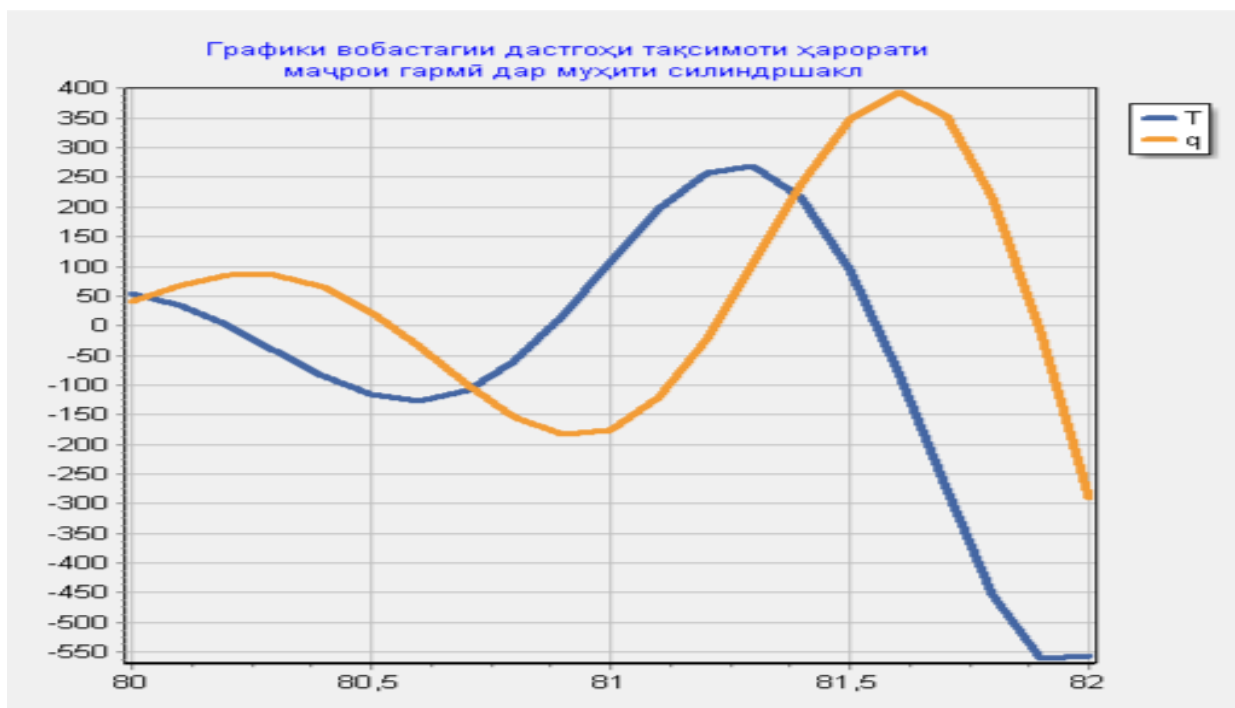


Расми 5.47. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 2.

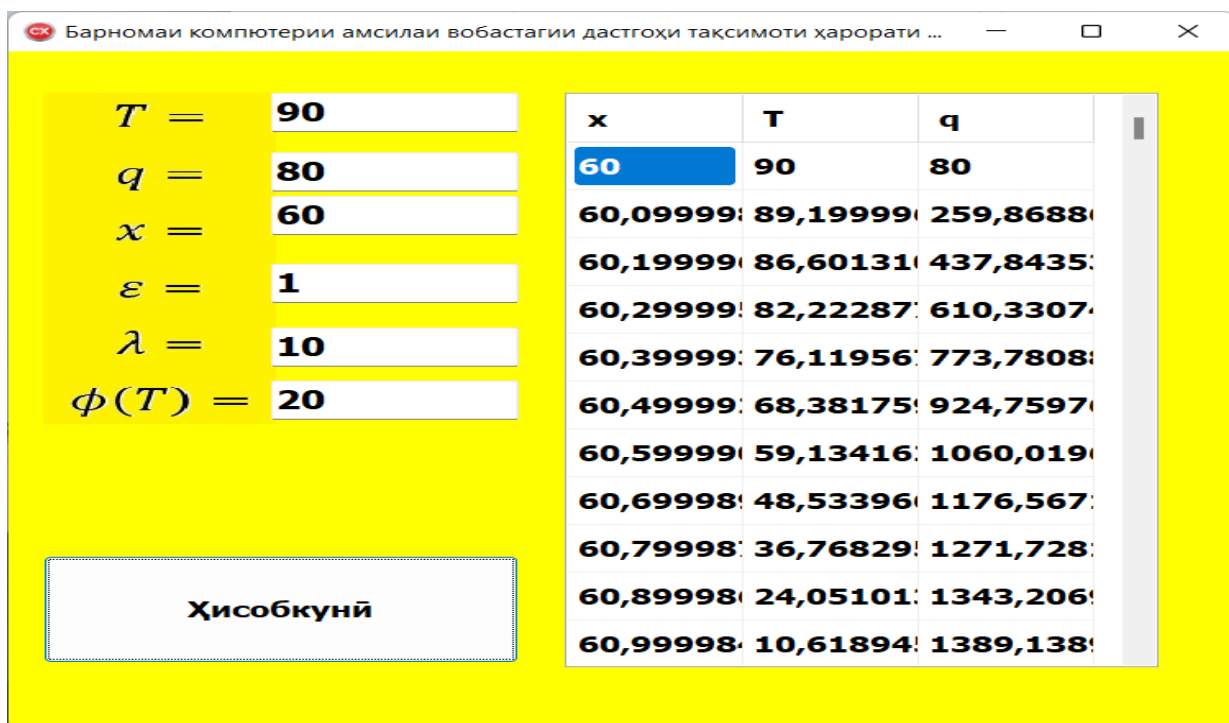


Расми 5.48. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди ҷадвалӣ

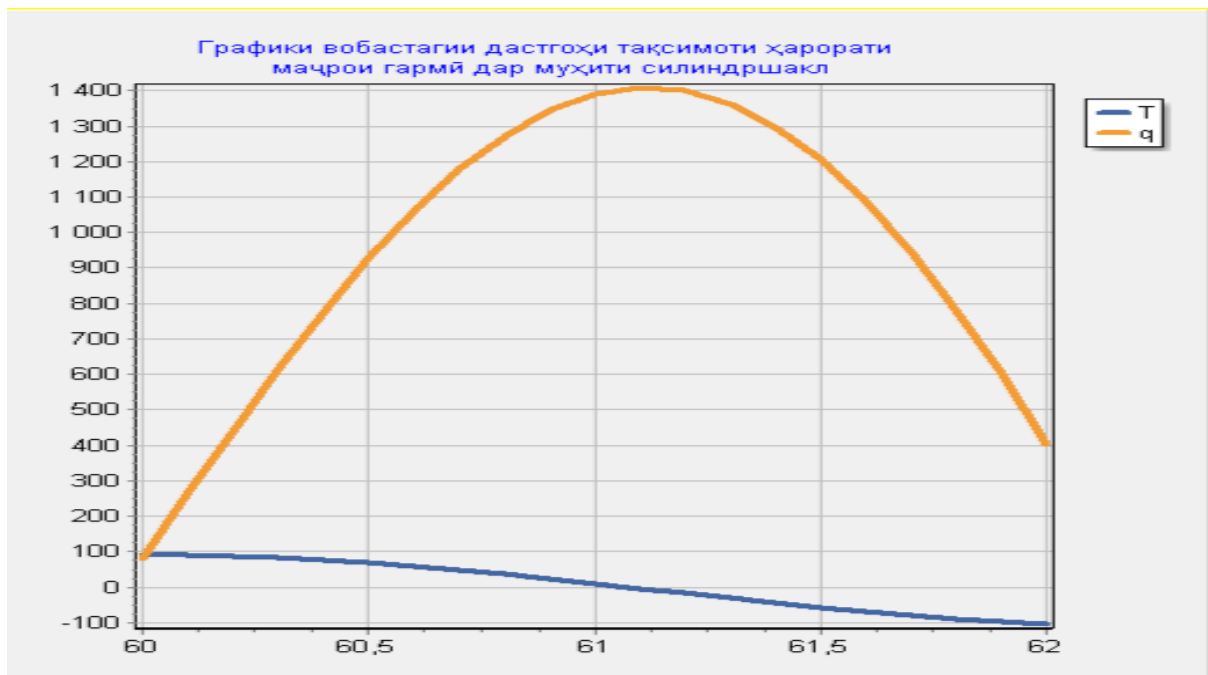


Расми 5.49. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 3.

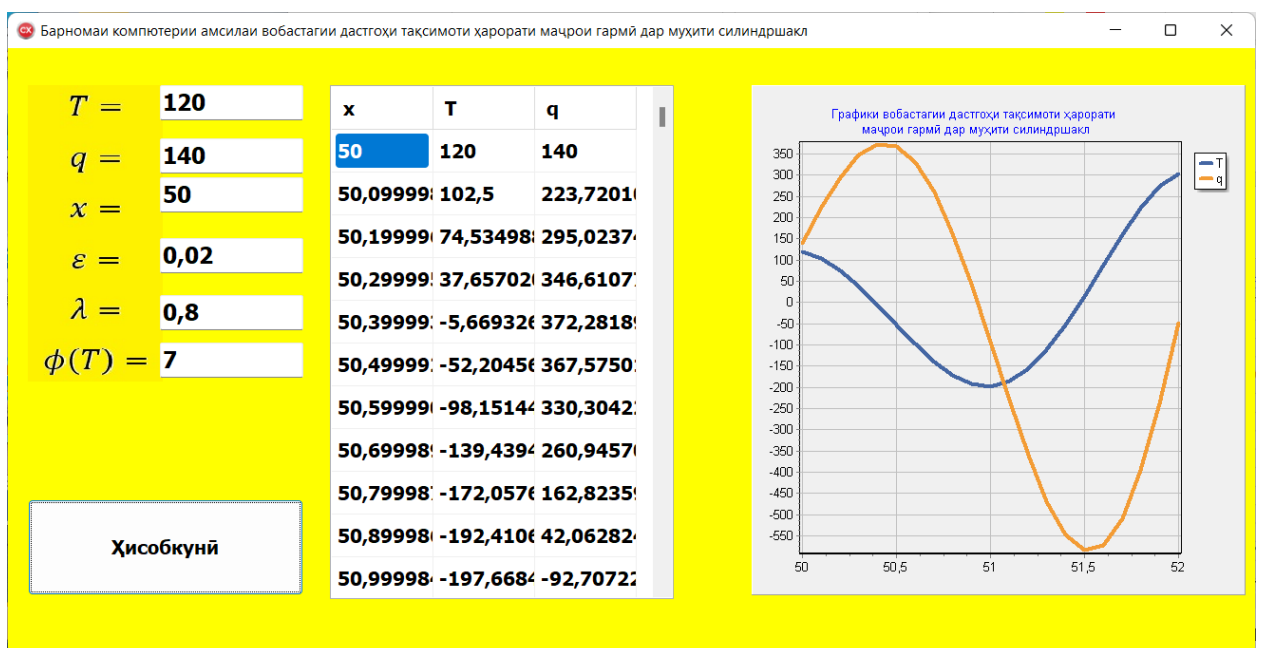


Расми 5.50. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди ҷадвали

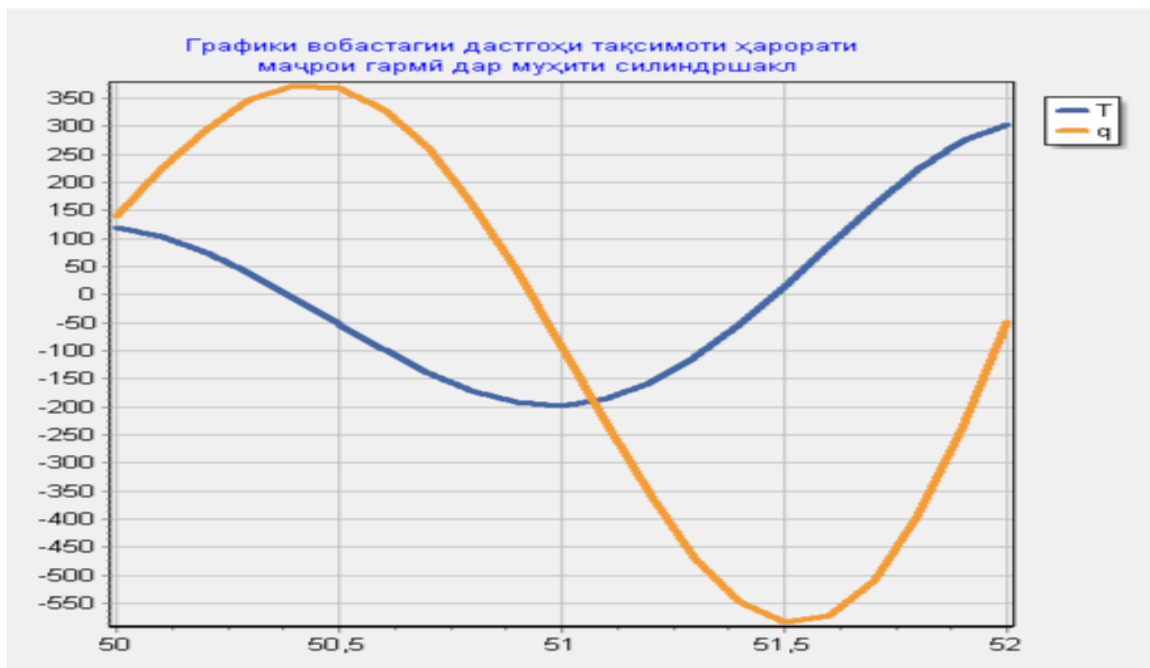


Расми 5.51. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 4.



Расми 5.52. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди ҷадвали



Расми 5.53. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 5.

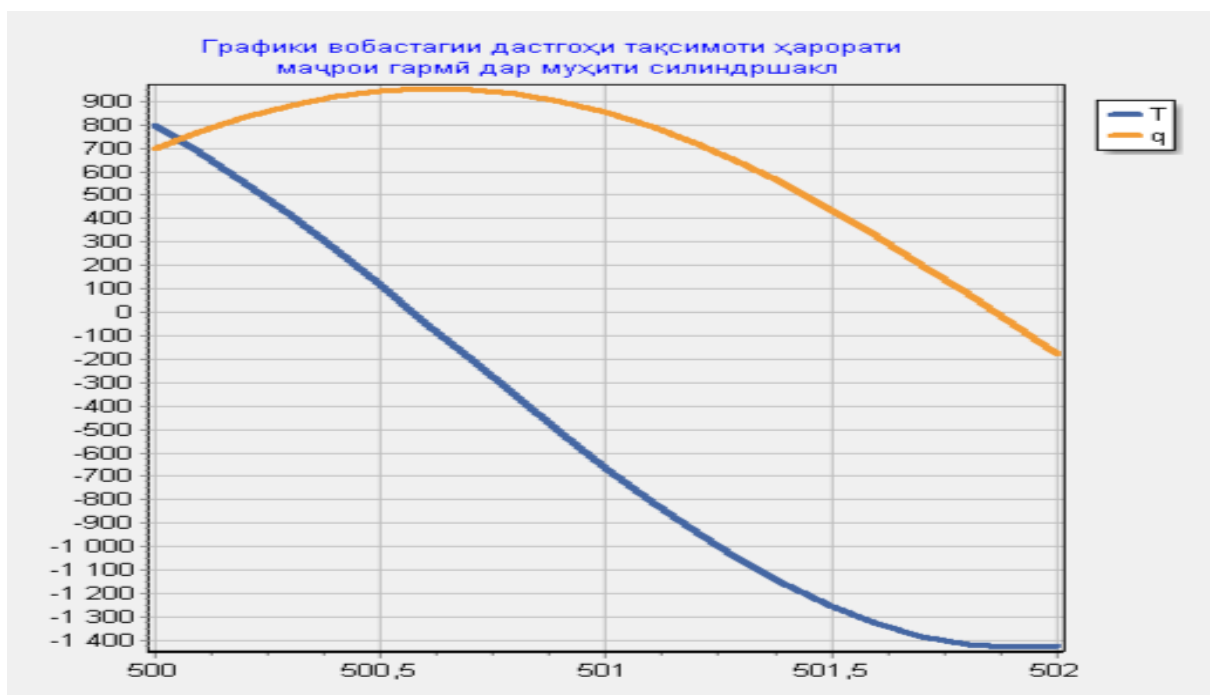
Барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ҳарорати ...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\varepsilon =$
 $\lambda =$
 $\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

x	T	q
500	800	700
500,1000	683,3333	771,8600
500,2000	554,6900	833,2057
500,3000	415,8223	882,9613
500,4000	268,6621	920,2088
500,5000	115,2940	944,2045
500,6000	-42,0733	954,3924
500,7000	-201,1388	950,4152
500,8000	-359,5413	932,1229
500,9000	-514,8951	899,5781
501,0000	-664,8248	853,0579

Расми 5.54. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди ҷадвалӣ



Расми 5.55. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 6.

Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ҳарорати ...

$T =$

550

$q =$

450

$x =$

60

$\varepsilon =$

0,6

$\lambda =$

0,3

$\phi(T) =$

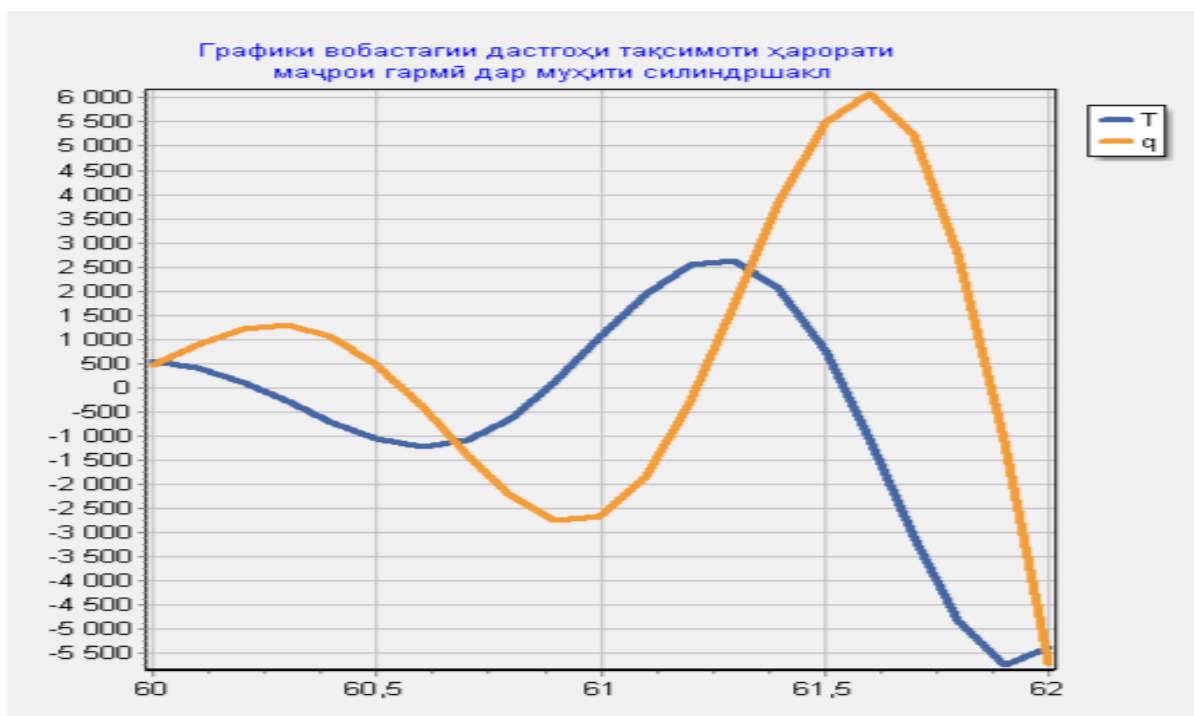
8

Ҳисобкунӣ

x	T	q
60	550	450
60,09999	400	889,2574
60,19999	103,5808	1207,792
60,29999	-299,0166	1288,670
60,39999	-728,5734	1047,341
60,49999	-1077,687	462,7655
60,59999	-1231,942	-400,1416
60,69998	-1098,561	-1385,041
60,79998	-636,8813	-2261,631
60,89998	116,9959	-2767,453
60,99998	1039,480	-2669,356

172

Расми 5.56. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди ҷадвалӣ



Расми 5.57. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 7.

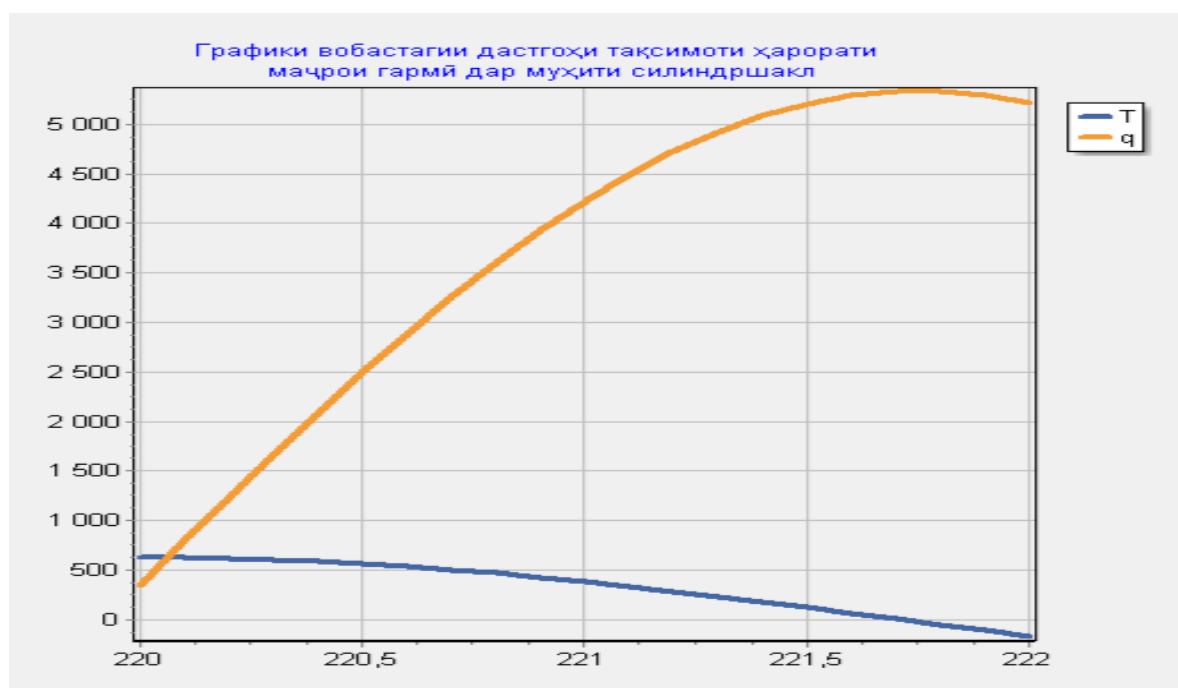
Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ҳарорати м...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\varepsilon =$
 $\lambda =$
 $\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

x	T	q
220	630	350
220,1000	626,1110	790,8411
220,2000	617,3239	1228,760
220,3000	603,6710	1660,330
220,4000	585,2229	2082,147
220,5000	562,0880	2490,860
220,6000	534,4118	2883,194
220,7000	502,3763	3255,978
220,8000	466,1987	3606,169
220,9000	426,1302	3930,878
221,0000	382,4537	4227,393

Расми 5.58. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди ҷадвалӣ



Расми 5.59. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 8.

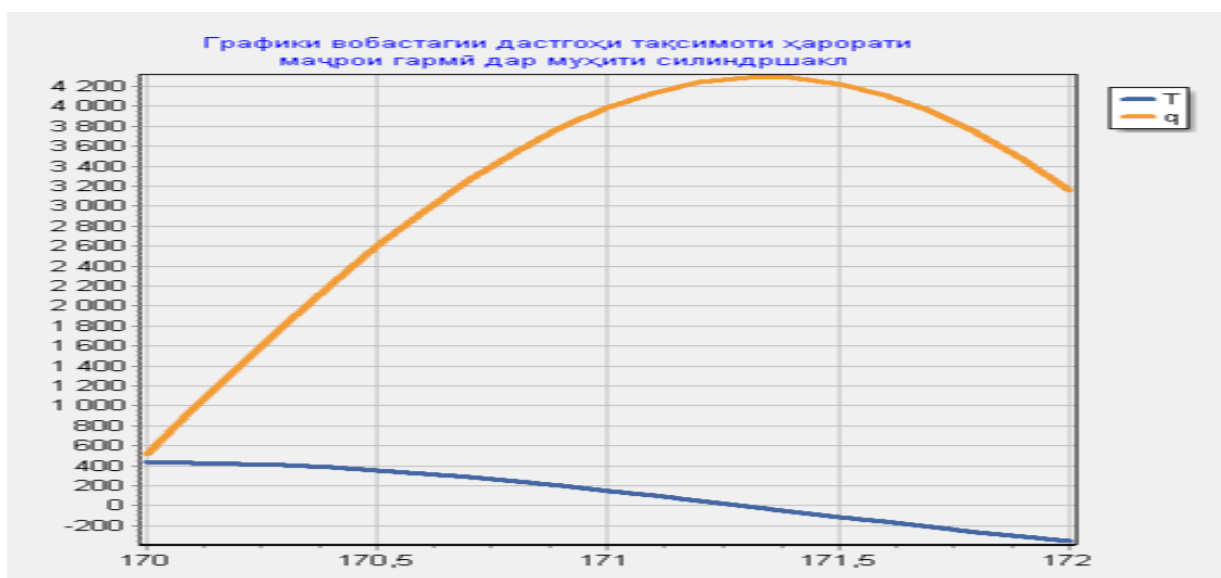
Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ҳарорати...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\varepsilon =$
 $\lambda =$
 $\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

x	T	q
170	440	520
170,1000	433,5	959,6944
170,2000	421,5038	1392,6300
170,3000	404,0959	1813,3170
170,4000	381,4294	2216,3490
170,5000	353,7250	2596,4800
170,6000	321,2690	2948,6840
170,7000	284,4105	3268,2270
170,8000	243,5576	3550,7250
170,9000	199,1736	3792,2060
171,0000	151,7710	3989,1630

Расми 5.60. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуи ҷадвалӣ



Расми 5.61. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуи графикӣ

Сенарияи 9.

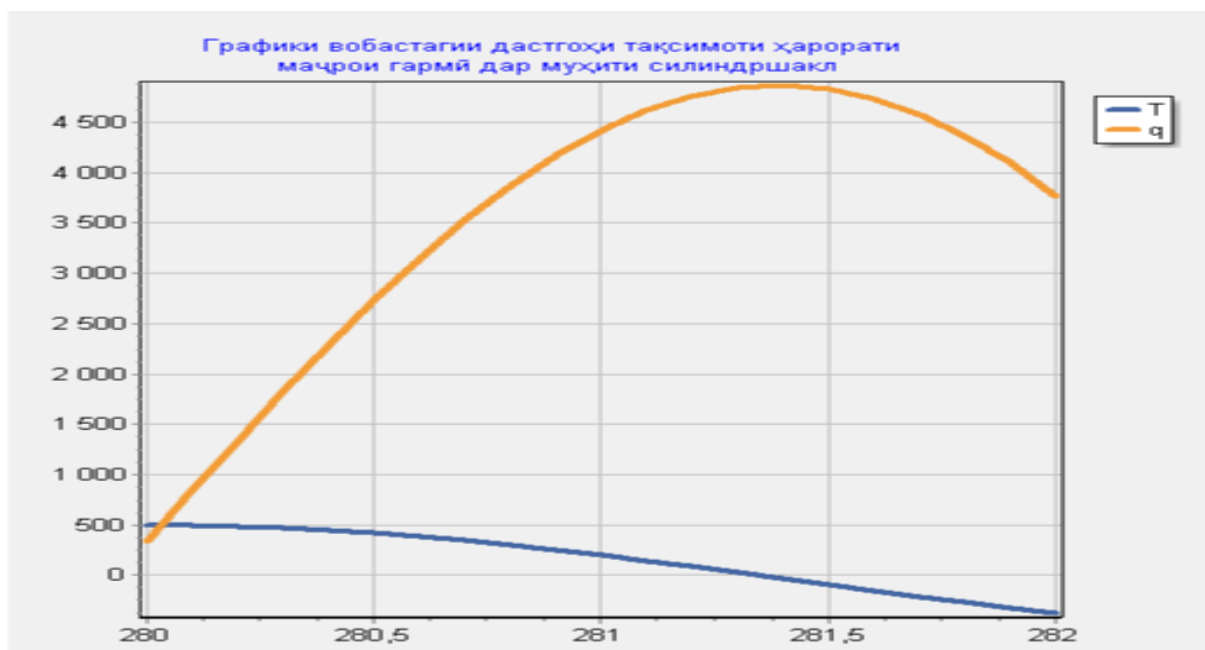
Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ҳарорат...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\varepsilon =$
 $\lambda =$
 $\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

x	T	q
280	500	340
280,1000	495,75	839,8789
280,2000	485,2515	1335,3300
280,3000	468,5599	1820,1061
280,4000	445,8085	2288,0191
280,5000	417,2083	2733,0141
280,6000	383,0456	3149,2511
280,7000	343,6799	3531,1781
280,8000	299,5402	3873,6041
280,9000	251,1201	4171,7691
281,0000	198,9730	4421,4091

Расми 5.62. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди ҷадвали



Расми 5.63. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 10.

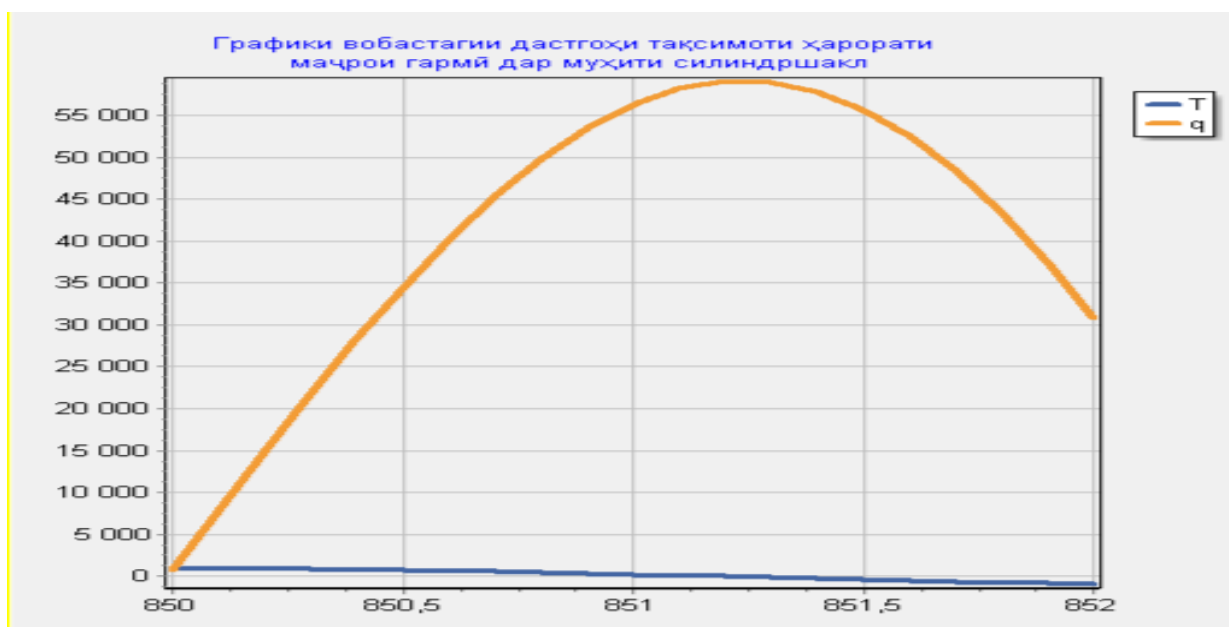
Барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ҳарора...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\varepsilon =$
 $\lambda =$
 $\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

x	T	q
850	900	780
850,0999	898,2666	7799,908
850,1999	880,9335	14805,47
850,2999	848,0324	21675,01
850,3999	799,8657	28287,11
850,4998	737,0054	34522,75
850,5998	660,2882	40267,33
850,6998	570,8052	45412,85
850,7998	469,8878	49859,80
850,8997	359,0882	53519,07
850,9997	240,1570	56313,67

Расми 5.64. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди ҷадвалӣ



Расми 5.65. Натиҷаи барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндршакл ба намуди графикӣ

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

Дар маҷмӯъ, барнома як воситаи муфид барои муҳандисон, муҳаққиқон ва донишҷӯёне мебошад, ки дар соҳаи интиқоли гармӣ, физикаи гармӣ, техникаи гармӣ ва соҳаҳои марбута кор мекунанд ва метавонанд барои ҳалли вазифаҳои гуногун ва гузаронидани тадқиқот самаранок истифода шаванд.

Барномаи амсиласозии тақсимои ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити силиндрӣ як воситаи муҳим барои таҳқиқот ва амалияи муҳандисӣ мебошад, ки метавонад барои ҳалли мушкилоти гуногун, омӯзиш ва таҳқиқоти минбаъда дар соҳаи интиқоли гармӣ истифода шавад.

4. Барномаи компютерии амсилаи вобастагии тақсимои дастгоҳи ҳарорати аз маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл

Сохтани барномаи компютерӣ барои моделсозии вобастагии тақсимои ҳарорати дастгоҳ аз ҷараёни гармӣ дар муҳити курашакл ба назар гирифтани хусусиятҳои геометрии кура ва ҳалли муодилаи гармидиҳиро дар координатаҳои курашакл талаб мекунад. Дар зер нақшаи намунавии таҳияи чунин барнома оварда шудааст:

1. Гузориши масъала

- Муайян кардани параметрҳои модел: интиқоли гармии мавод, ҷараёни гармӣ.
- Ташаккули муодилаи гармидиҳӣ барои координатаҳои куравӣ.

2. Татбиқи усули ададӣ

- Истифодаи усули мувофиқи ададӣ барои ҳалли муодилаи гармидиҳӣ дар координатаҳои курашакл.
- Усулҳои имконпазир: усули фарқҳои охирик.

3. Сохтани интерфейси корбар

- Истифодаи барномаи C++ Builder барои сохтани интерфейси графикӣ.
- Илова кардани системаи идоракунии барои ворид кардани имконоти амсила ва нишон додани натиҷаҳо.

4. Татбиқи визуализатсияи натиҷаҳо

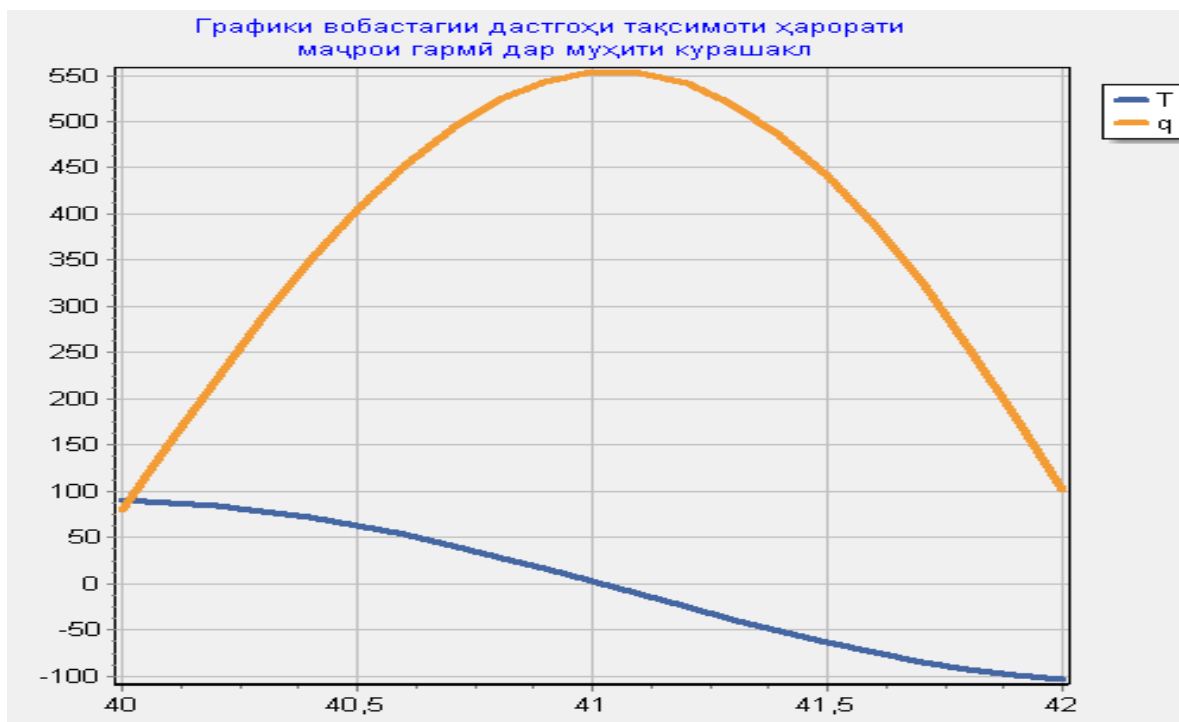
- Намоиши тақсимои ҳарорат дар диаграмма ё график.

Натиҷаи барномаро ба намуди ҷадвалӣ ва графикӣ ҳамчун скриншот меорем:

Сенарияи 1.

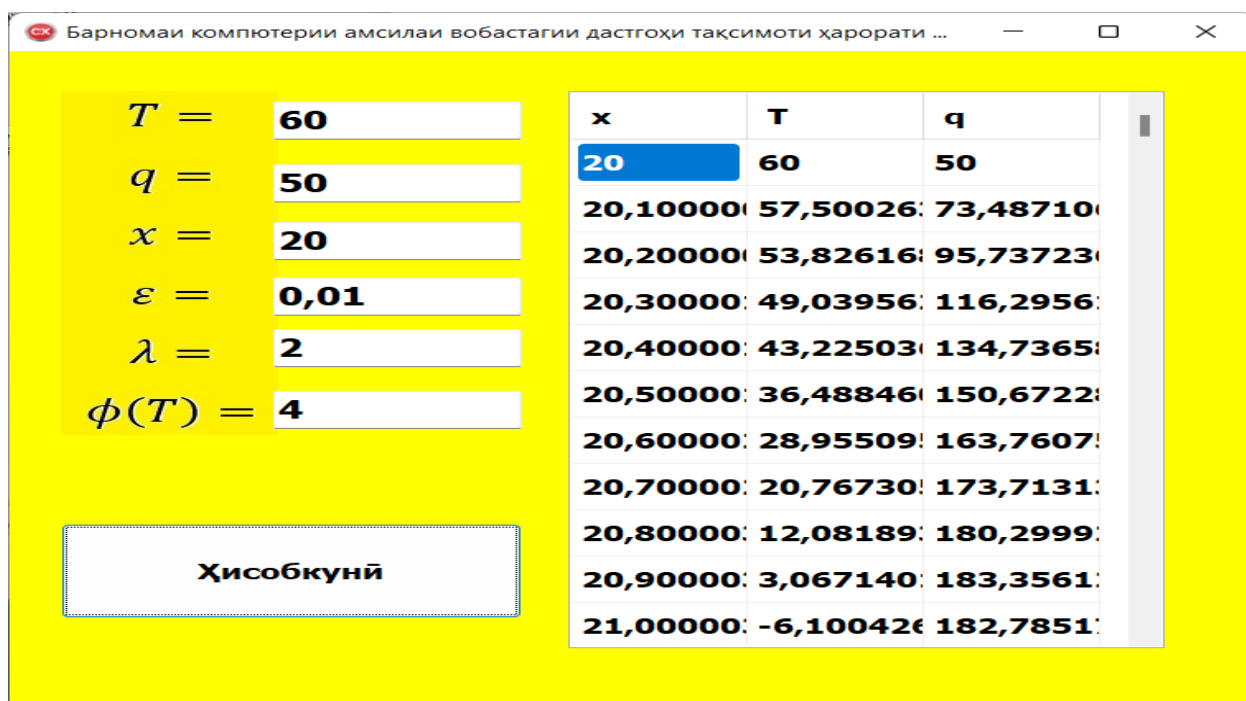
x	T	q
40	90	80
40,09999	88,00006	151,5979
40,19999	84,21017	221,2379
40,29999	78,67929	287,4997
40,39999	71,49185	349,0090
40,49999	62,76669	404,4659
40,59999	52,65510	452,6716
40,69998	41,33837	492,5544
40,79998	29,02457	523,1924
40,89998	15,94482	543,8344
40,99998	2,349023	553,9174

Расми 5.66. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди ҷадвалӣ

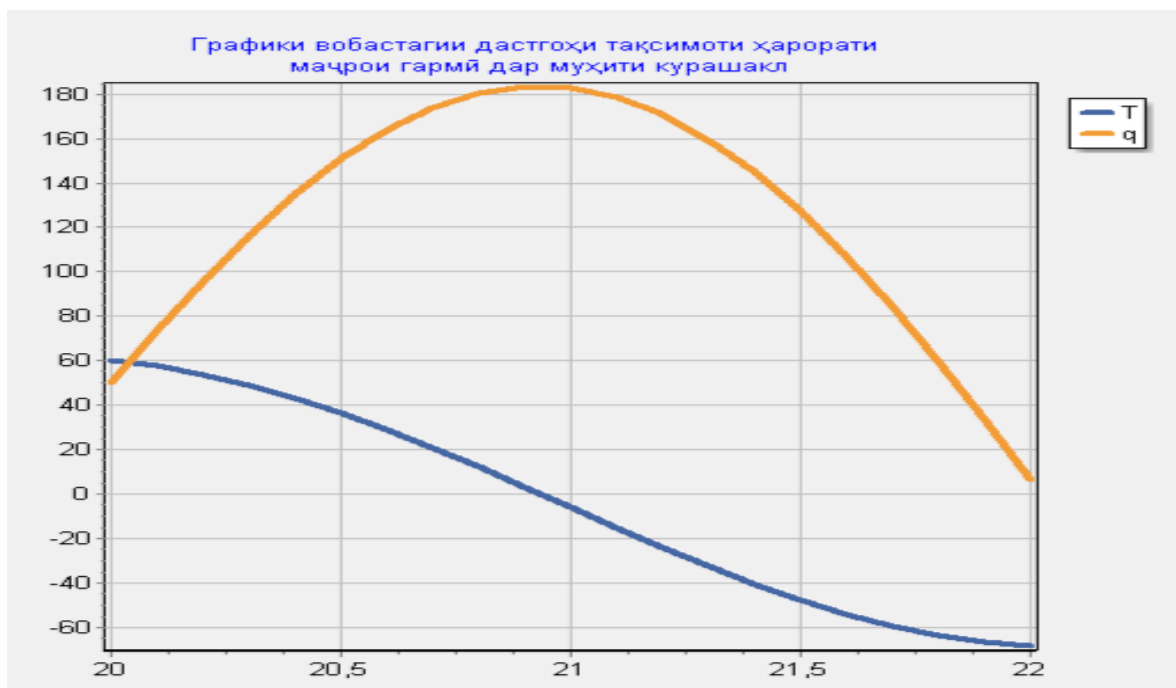


Расми 5.67. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 2.

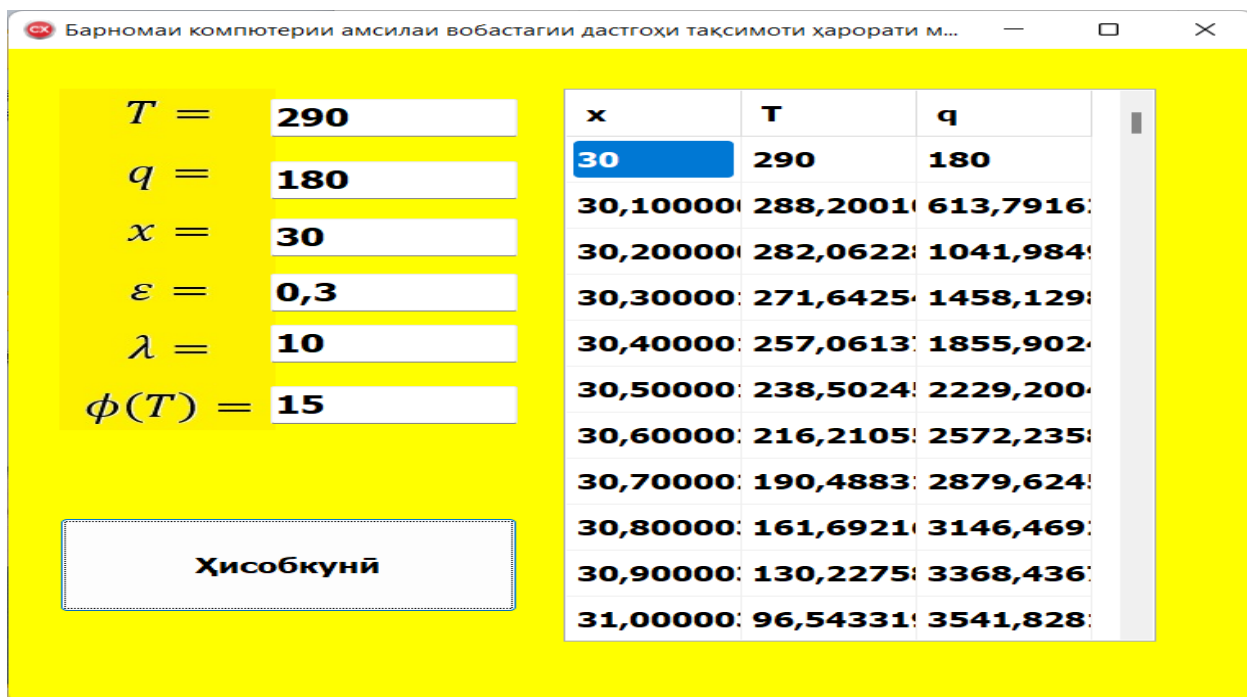


Расми 5.68. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди ҷадвали

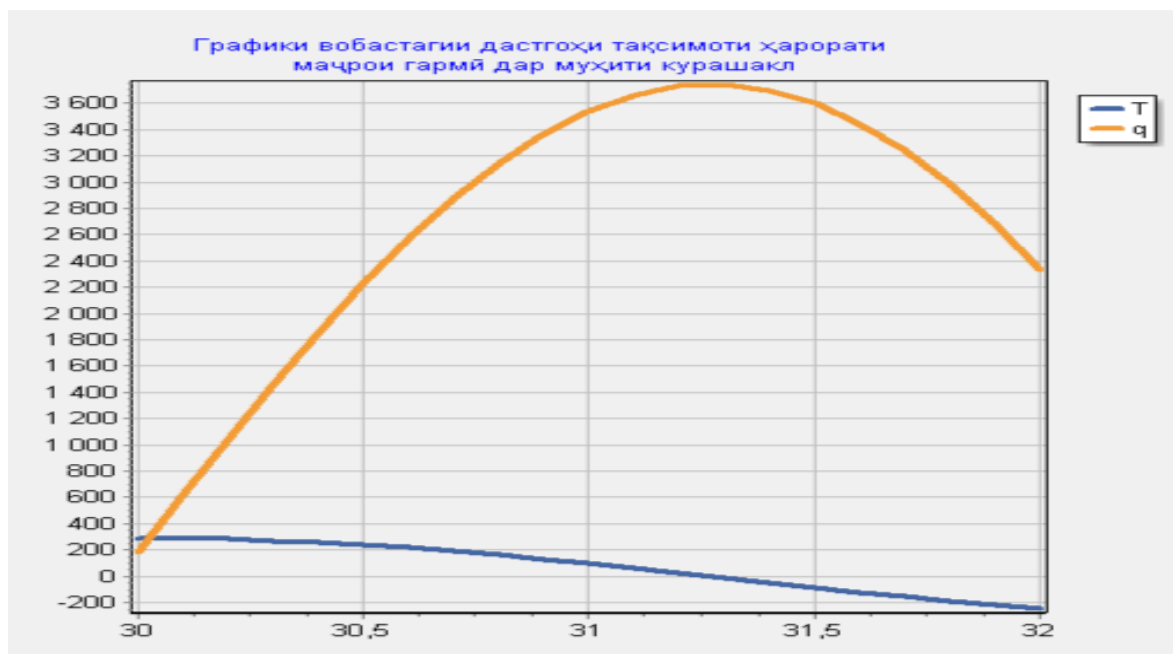


Расми 5.69. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 3.



Расми 5.70. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди ҷадвали

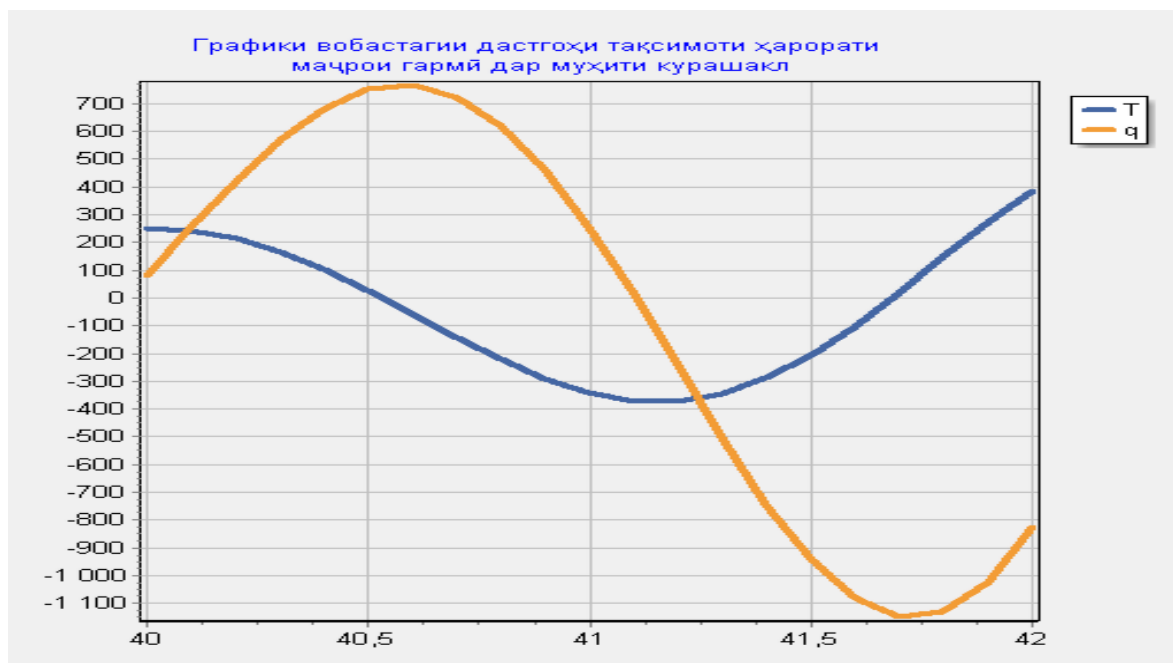


Расми 5.71. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 4.



Расми 5.72. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди ҷадвали



Расми 5.73. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди графикӣ

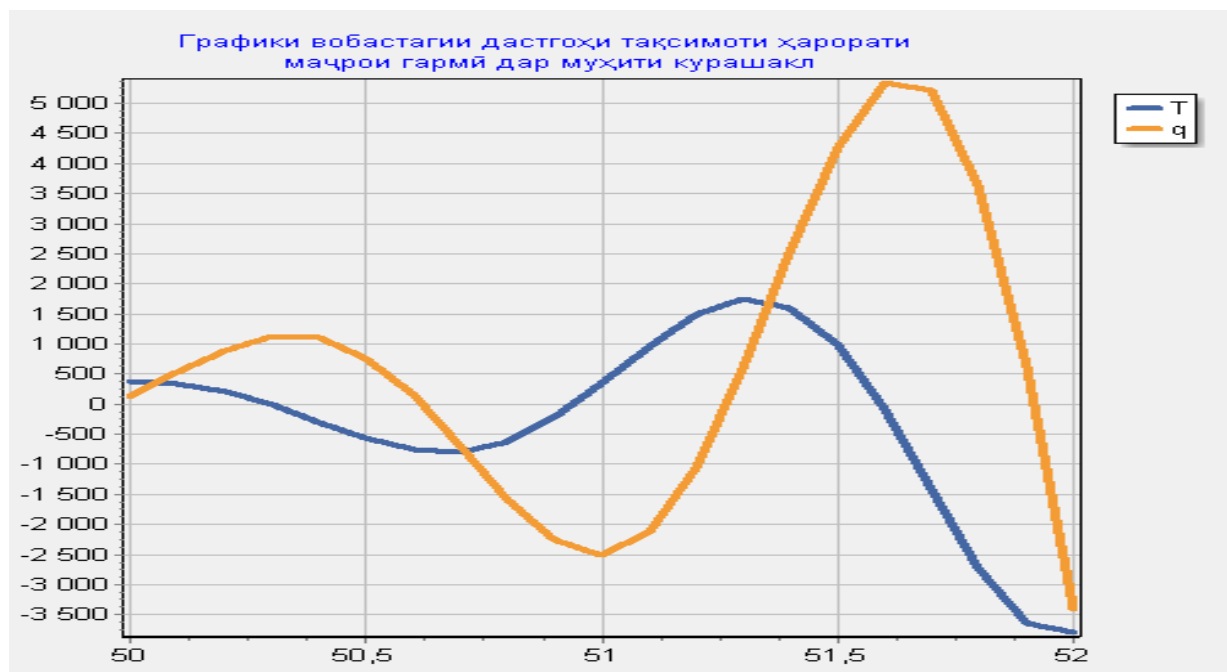
Сенарияи 5.

Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ҳарорати ма...

$T =$
 $q =$
 $x =$
 $\varepsilon =$
 $\lambda =$
 $\phi(T) =$

x	T	q
50	370	120
50,09999	340,0000	526,5228
50,19999	208,3693	898,4332
50,29999	-16,23891	1124,0810
50,39999	-297,2591	1101,7740
50,49999	-572,7027	770,4430
50,59999	-765,3134	137,4364
50,69998	-799,6725	-704,9484
50,79998	-623,4354	-1581,823
50,89998	-227,9795	-2261,410
50,99998	337,3732	-2503,353

Расми 5.74. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди ҷадвалӣ



Расми 5.75. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуи графикӣ

Сенарияи 6.

Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ҳарорати...

$T =$

$q =$

$x =$

$\varepsilon =$

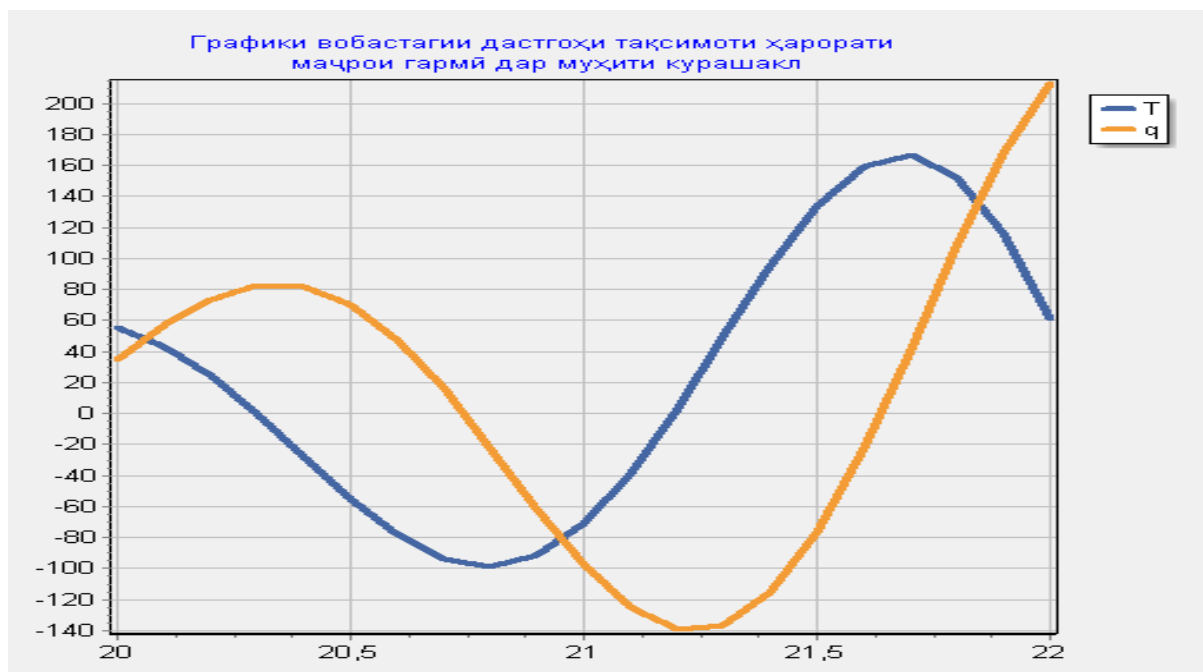
$\lambda =$

$\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

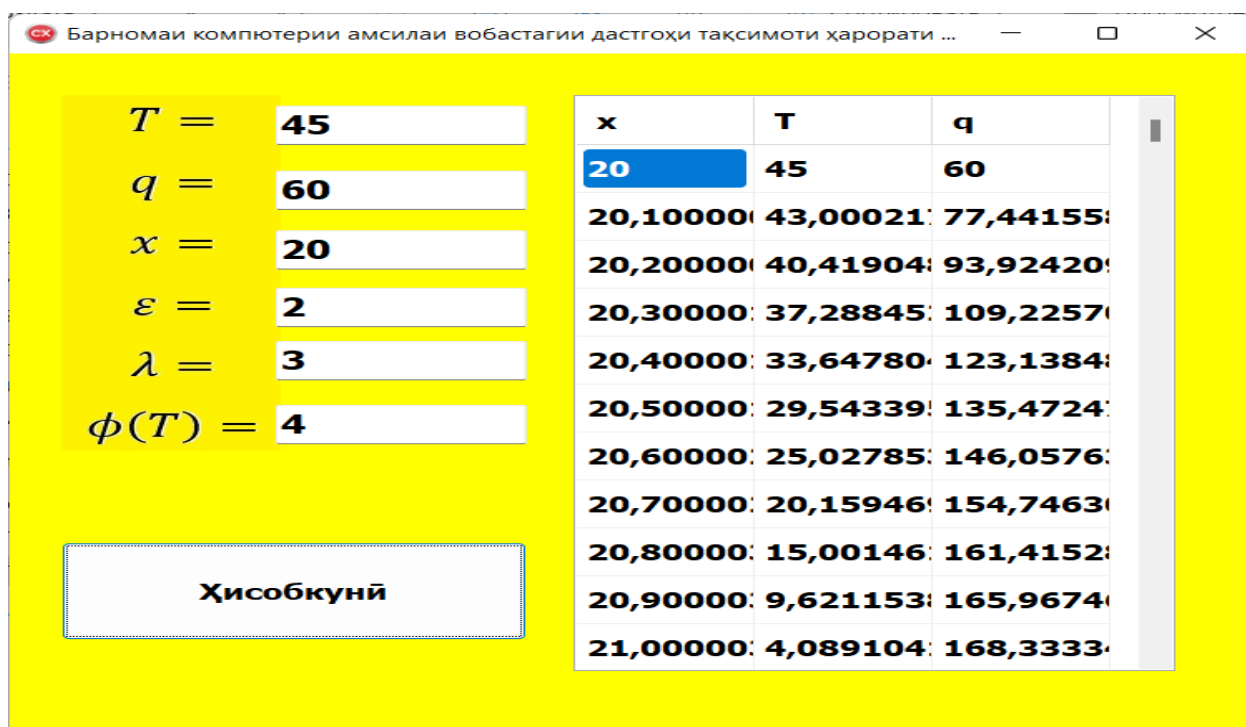
x	T	q
20	55	35
20,100000	43,33359	56,64443
20,200000	24,45236	73,40534
20,300000	-0,015826	82,44808
20,400000	-27,49827	81,61675
20,500000	-54,70360	69,80483
20,600000	-77,97163	47,23183
20,700000	-93,71533	15,57755
20,800000	-98,90760	-22,06138
20,900000	-91,55357	-61,40907
21,000000	-71,08364	-97,43394

Расми 5.76. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуи ҷадвали

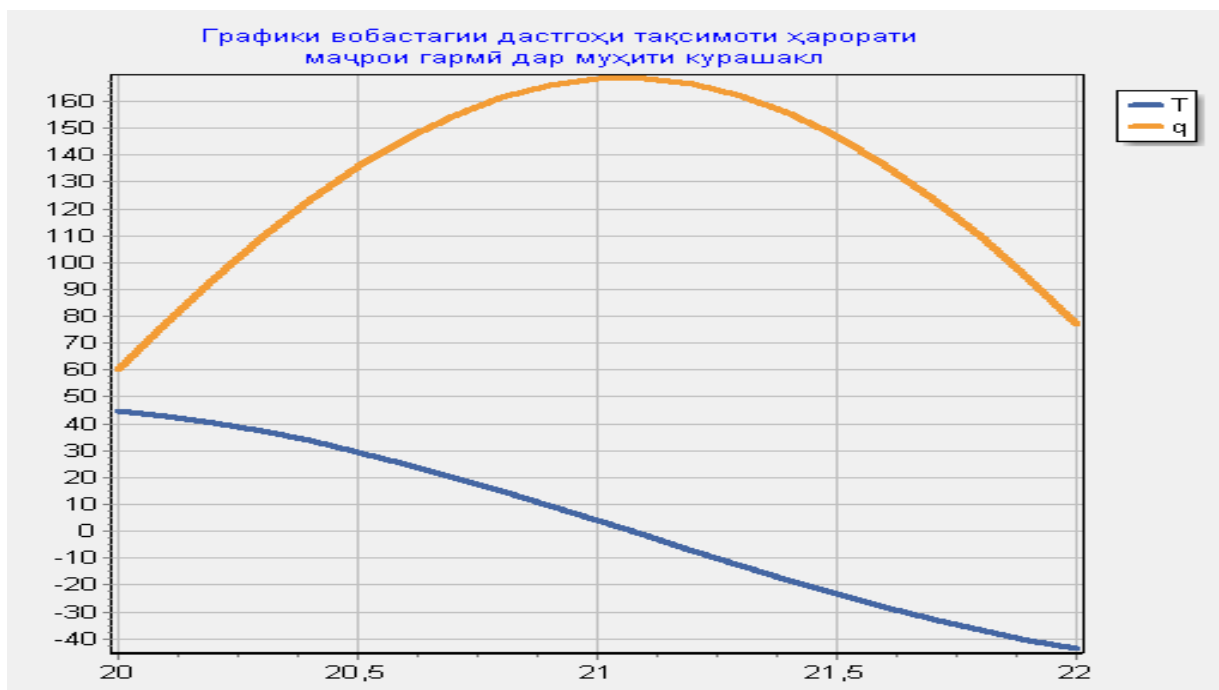


Расми 5.77. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 7.



Расми 5.78. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди ҷадвалӣ

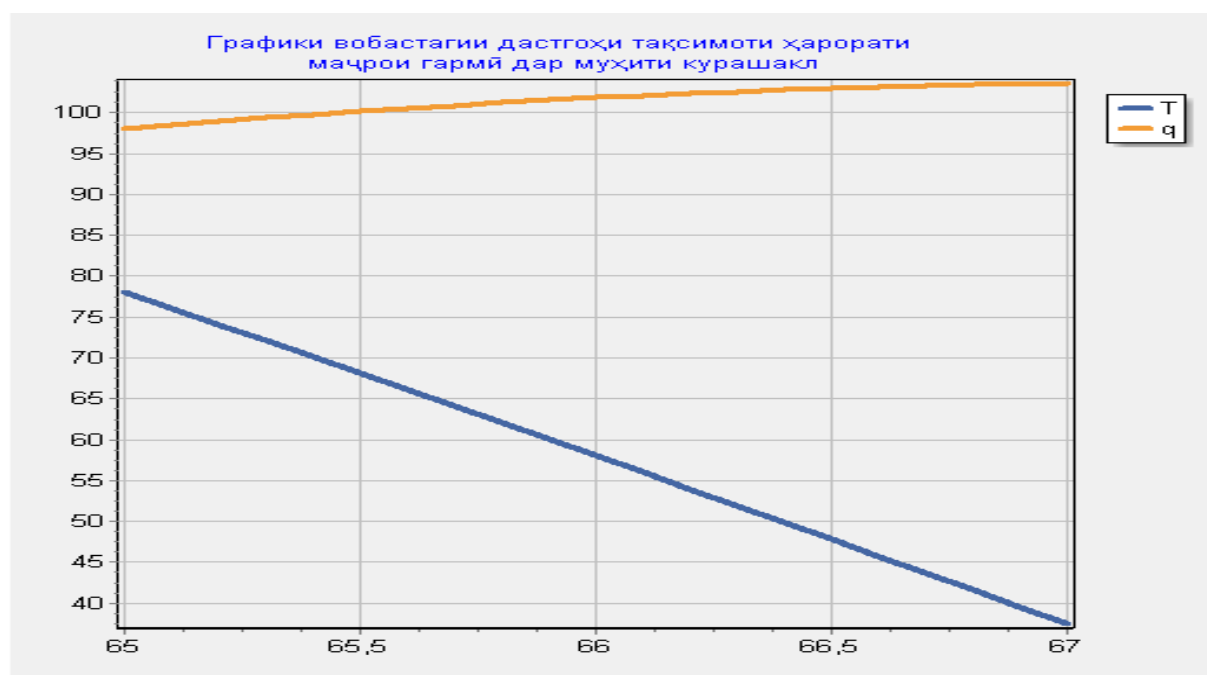


Расми 5.79. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 8.



Расми 5.80. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди ҷадвали



Расми 5.81. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 9.

Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ҳарорати м...

$T =$

$q =$

$x =$

$\varepsilon =$

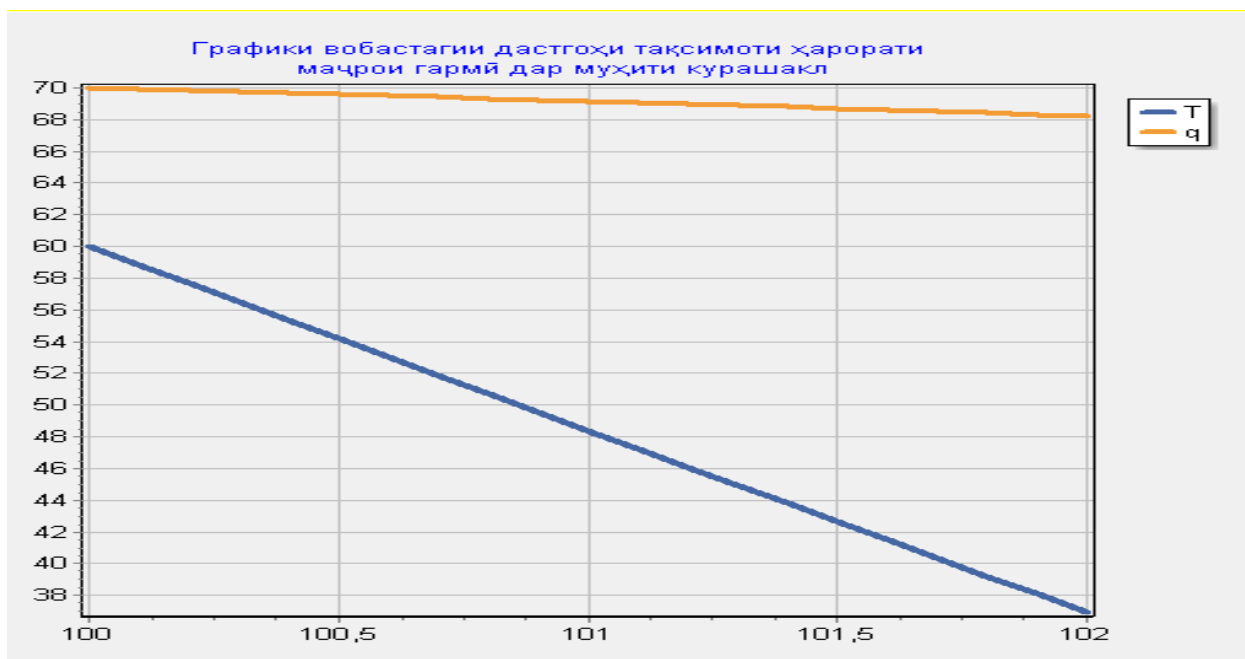
$\lambda =$

$\phi(T) =$

Ҳисобкунӣ

x	T	q
100	60	70
100,0999	58,83334	69,91999
100,1999	57,66801	69,83912
100,2999	56,50404	69,75739
100,3999	55,34143	69,67479
100,4999	54,18019	69,59133
100,5999	53,02034	69,50702
100,6999	51,86190	69,42185
100,7999	50,70488	69,33583
100,8999	49,54930	69,24897
100,9999	48,39516	69,16125

Расми 5.82. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди ҷадвали



Расми 5.83. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди графикӣ

Сенарияи 10.

Барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ҳарорати ...

$T =$

$q =$

$x =$

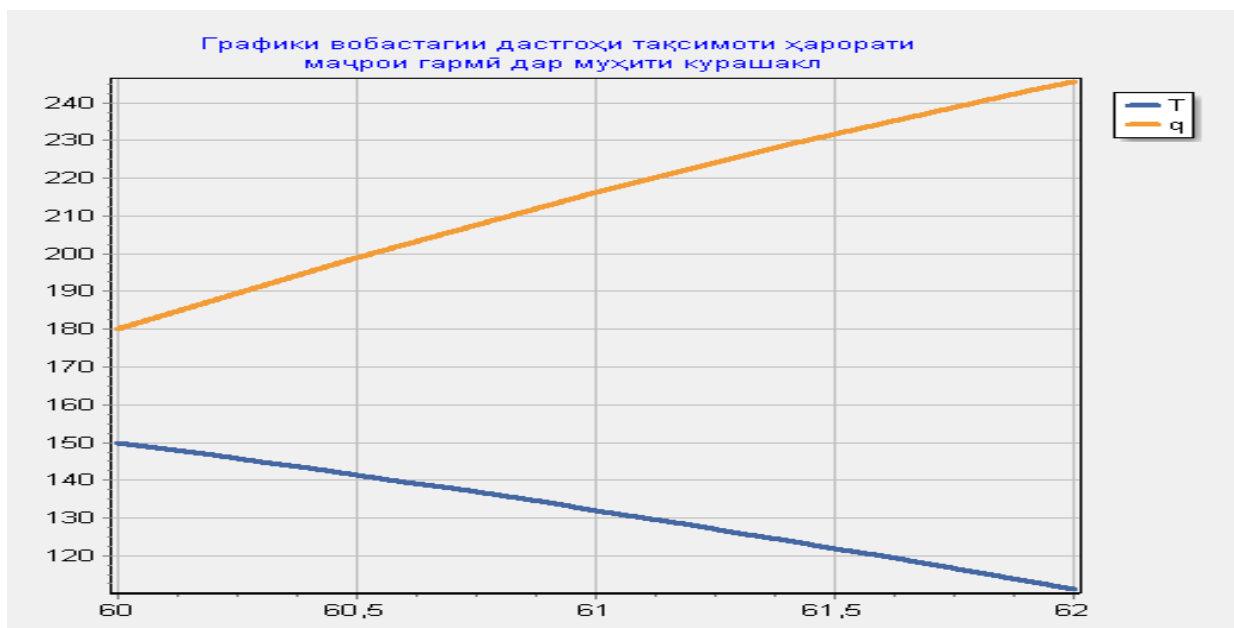
$\varepsilon =$

$\lambda =$

$\phi(T) =$

x	T	q
60	150	180
60,09999	148,3636	183,8979
60,19999	146,6918	187,7348
60,29999	144,9852	191,5097
60,39999	143,2442	195,2219
60,49999	141,4695	198,8706
60,59999	139,6616	202,4550
60,69998	137,8211	205,9745
60,79998	135,9487	209,4282
60,89998	134,0448	212,8154
60,99998	132,1101	216,1355

Расми 5.84. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди ҷадвали



Расми 5.85. Натиҷаи барномаи компютерии амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл ба намуди графикӣ

Барномаи амсилавии тақсими ҳарорати дастгоҳ аз ҷараёни гармӣ дар муҳити куравӣ вазифаи мураккабест, ки ба назар гирифтани хусусиятҳои геометрии кура ва ҳалли муодилаи гармидиҳиро дар координатаҳои куравӣ талаб мекунад. Барномаи дар боло овардашуда дар қадамҳои асосиро барои таҳияи чунин барнома нишон медиҳад ва метавонад барои ҳалли вазифаҳо ва талаботҳои мушаххас васеъ ва такмил дода шавад.

Барномаи компютерии модели вобастагии дастгоҳи тақсими ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ дар C++ Builder, барои модели намунаи гармидиҳӣ дар муҳити конденсӣ бо назардошти вобастагии ғайрихаттии гармидиҳӣ аз ҳарорат таҳия карда мешавад.

Дар маҷмӯъ, барномаи модели вобастагии дастгоҳи тақсими 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.

Хулоса, барномаҳои компютерӣ, ки барои амсиласозии вобастагии дастгоҳ аз тақсимои ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ таҳия шудаанд, дар таҳқиқоти илмӣ ва муҳандисӣ нақши муҳим доранд. Онҳо ба мо имкон медиҳанд, ки равандҳои гармиро дар системаҳои гуногун, аз қабيلي электроника, энергетика, саноат ва системаҳои иқлимӣ таҳлил ва пешгӯӣ кунем.

2. Барномаи компютерии 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.

Ин код барои ҳалли адабии муодилаи тавозуни гармии системаи гармидиҳӣ бо истифода аз усулҳои гуногуни ҳисобкунӣ замина фароҳам меорад.

Сенарияи 1.

Натиҷаи барнома барои қиматҳои

$Prad = 1000;$

$U = 0.1;$

$A = 20;$

$C = 100000;$

$T_{out} = 0;$

$T_{in} = 20;$

```
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                     20
100           20.096              20.096
200           20.192              20.192
300           20.2879             20.2879
400           20.3839             20.3839
500           20.4798             20.4798
600           20.5757             20.5757
700           20.6716             20.6716
800           20.7675             20.7675
900           20.8633             20.8633
1000          20.9591             20.9591
1100          21.0549             21.0549
1200          21.1507             21.1507
1300          21.2465             21.2465
```

Расми 5.86. Натиҷаи барномаи ҳисобкунӣ бо усули Эйлер ва Рунге-Кутта

Сенарияи 2.

Натиҷаи барнома барои қиматҳои

$Prad = 2000;$

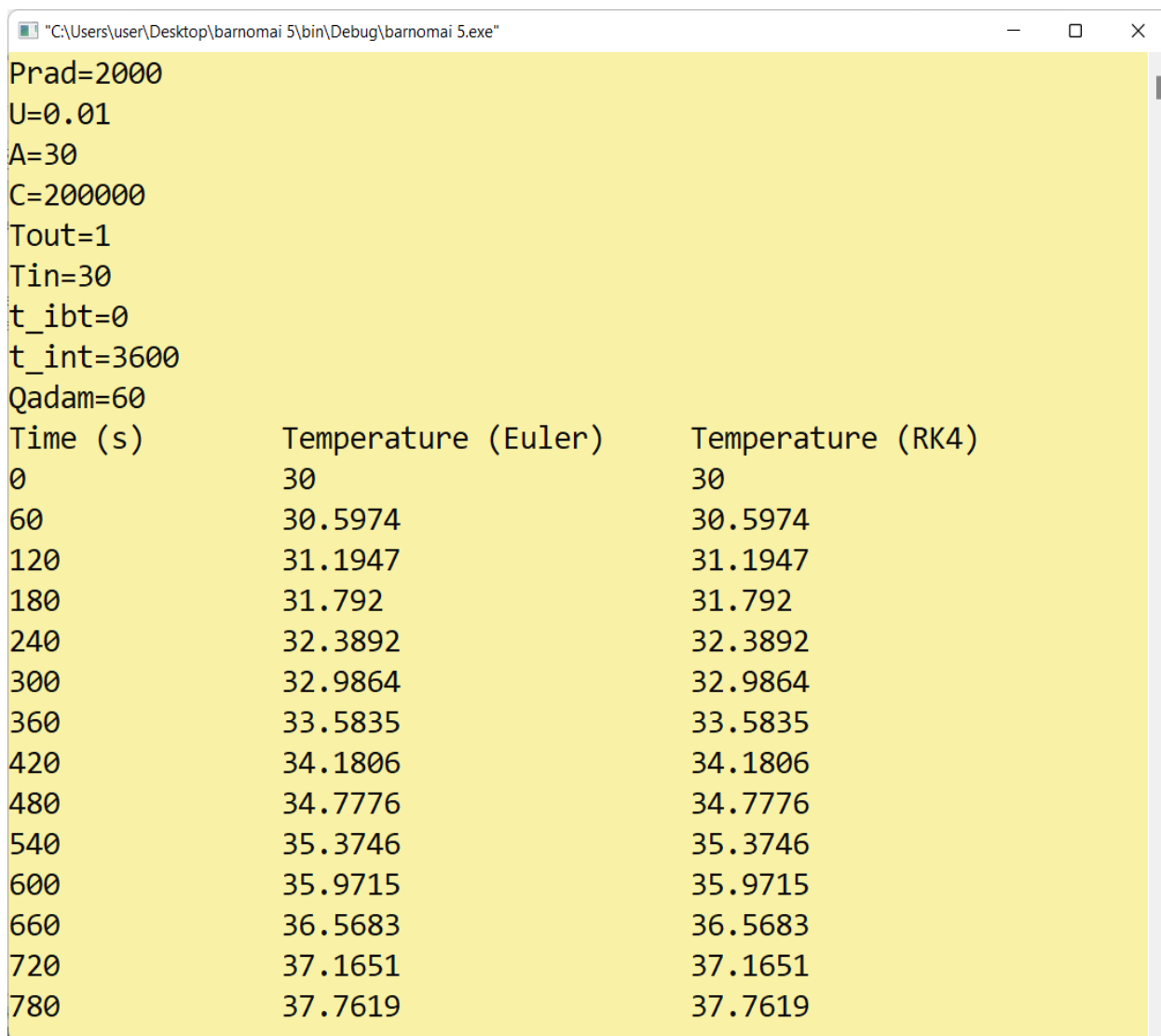
$U = 0.01;$

$A = 30;$

$C = 200000;$

$Tout = 1;$

$Tin = 30;$



Расми 5.87. Натиҷаи барномаи ҳисобкунӣ бо усули Эйлер ва Рунге-Кутта

Сенарияи 3.

Натиҷаи барнома барои қиматҳои

$Prad = 5000;$

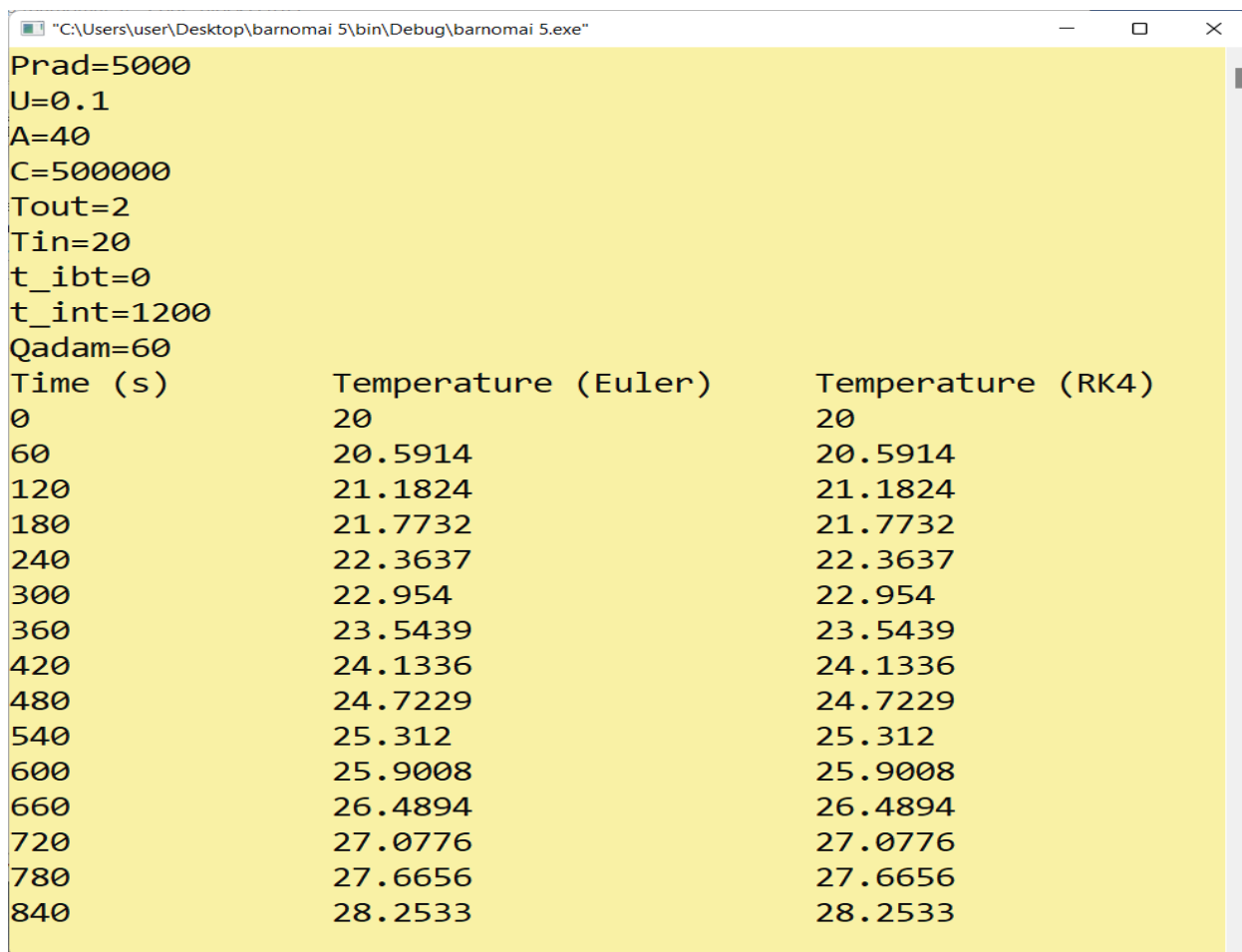
$U = 0.1;$

$A = 40;$

$C = 500000;$

$Tout = 2;$

$Tin = 20;$



Расми 5.88. Натиҷаи барномаи ҳисобкунӣ бо усули Эйлер ва Рунге-Кутта

Сенарияи 4.

Натиҷаи барнома барои қиматҳои

Prad = 30;

U = 0.02;

A = 50;

C = 100000;

Tout = 20;

Tin = 30;

C:\Users\user\Desktop\11\bin\Debug\11.exe

```

Prad=30
U=0.02
A=50
C=10000
Tout=20
Tin=30
t_ibt=0
t_int=2400
Qadam=50

```

Time (s)	Temperature (Euler)	Temperature (RK4)
0	30	30
50	30.1	30.1
100	30.1995	30.1995
150	30.2985	30.2985
200	30.397	30.397
250	30.495	30.495
300	30.5925	30.5925
350	30.6896	30.6896
400	30.7861	30.7861
450	30.8822	30.8822
500	30.9778	30.9778
550	31.0729	31.0729
600	31.1675	31.1675

Расми 5.89. Натиҷаи барномаи ҳисобкунӣ бо усули Эйлер ва Рунге-Кутта

Сенарияи 5.

Натиҷаи барнома барои қиматҳои

$Prad = 60;$

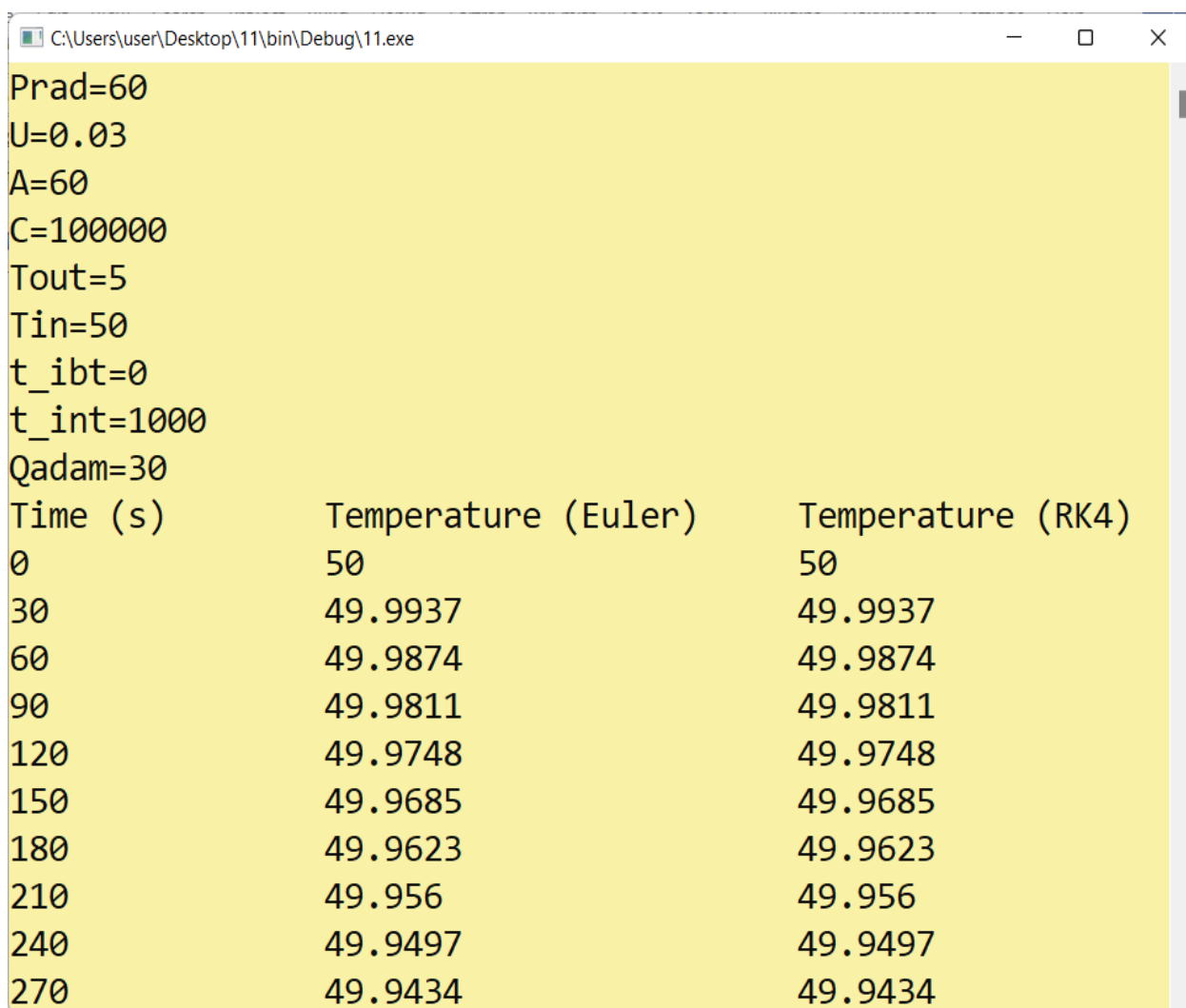
$U = 0.03;$

$A = 60;$

$C = 100000;$

$Tout = 5;$

$Tin = 50;$



Расми 5.90. Натиҷаи барномаи ҳисобкунӣ бо усули Эйлер ва Рунге-Кутта

Сенарияи 6.

Натиҷаи барнома барои қиматҳои

$Prad = 80;$

$U = 0.005;$

$A = 50;$

$C = 100000;$

$Tout = 6;$

$Tin = 40;$

```

C:\Users\user\Desktop\11\bin\Debug\11.exe
Prad=80
U=0.005
A=50
C=100000
Tout=6
Tin=40
t_ibt=0
t_int=50
Qadam=5
Time (s)      Temperature (Euler)      Temperature (RK4)
0             40                      40
5             40.0036                40.0036
10            40.0071                40.0071
15            40.0107                40.0107
20            40.0143                40.0143
25            40.0179                40.0179
30            40.0214                40.0214
35            40.025                40.025
40            40.0286                40.0286
45            40.0322                40.0322

```

Расми 5.91. Натиҷаи барномаи ҳисобкунӣ бо усули Эйлер ва Рунге-Кутта

Санҷиш ва таҳлили натиҷаҳо. Пас аз иҷрои барнома барои ҳалли ададии муодилаи тавозуни гармии системаи гармидихӣ бо истифода аз Усули Эйлер ва усули Рунге-Кутта, санҷиш ва таҳлили натиҷаҳоро гузаронидан мумкин аст.

Боварӣ ҳосил намудан лозим аст, ки натиҷаҳои моделсозӣ мантиқӣ ба назар мерасанд. Масалан, ҳарорати хона бояд баланд шавад, агар радиатор тавассути деворҳо ва тирезаҳо талафоти гармиро зиёд кунад.

Санҷидан лозим аст, ки ҳарорат аз арзишҳои воқеии ҷисмонӣ зиёд нест.

Муқоисаи натиҷаҳои усулҳо. Натиҷаҳои бо усули Эйлер ва Усули Рунге-Кутта ба даст овардашударо муқоиса намудан лозим аст.

Баҳо диҳед, ки онҳо дар марҳилаҳои гуногуни моделсозӣ то чӣ андоза фарқ мекунанд.

Таҳлили устуворӣ ва дақиқӣ. Устуворӣ ва дақиқии ҳар як усулро арзебӣ намудан лозим. Усули Рунге-Кутта одатан нисбат ба усули Эйлер дақиқтар ва устувортар аст.

Фаҳмидан лозим аст, ки чӣ гуна дақиқӣ ҳангоми тағйир додани қадам аз рӯи вақт тағйир меёбад (Δt). Одатан, қадами хурдтари вақт ба натиҷаҳои дақиқтар оварда мерасонад, аммо сарбории ҳисоббарориро зиёд мекунад.

Таҳлили вақти иҷро. Вақти иҷрои ҳарду усулро муқоиса лозим аст. Усули Рунге-Кутта аксар вақт барои ҳисобкунӣ вақти бештарро талаб мекунад, аммо метавонад натиҷаҳои дақиқтарро таъмин кунад.

Таъсири параметрҳои система. Бифаҳмед, ки чӣ гуна тағйир додани параметрҳои система (масалан, қувваи радиатор, коэффициентҳои гармидиҳии деворҳо ва тирезаҳо) ба ҳарорати ҳона таъсир мерасонад.

Арзебӣ кунед, ки чӣ гуна тағйирёбии ҳарорати ибтидоӣ ё ҳарорати берунӣ ба динамикаи тағйирёбии ҳарорати дарунӣ таъсир мерасонад.

Тасдиқи натиҷаҳо. Натиҷаҳои моделсозиро бо маълумоти таҷрибавӣ ё дигар моделҳо муқоиса кунед, агар онҳо дастрас бошанд. Тасдиқ ба дурустии моделҳои таҳияшуда ва усулҳои ҳалли ададӣ кӯмак мекунад.

Таҳлили натиҷаҳои моделсозӣ ба мо имкон медиҳад, ки самаранокӣ ва эътимоднокии моделҳои таҳияшударо арзебӣ кунем ва инчунин усули мувофиқтаринро барои вазифаҳои мушаххас интихоб кунем.

Аз таҳлили натиҷаҳо ва санҷиши онҳо бармеояд, ки фарқияти ин ду усул дар модели таҳқиқшаванда ба 0,0003 баробар аст.

Оптимизатсия ва такмил. Барои оптимизатсия ва такмил додани барномаи ҳалли ададии муодилаи тавозуни гармии системаи гармидиҳӣ ҷанбаҳои зеринро баррасӣ кардан мумкин аст:

Истифодаи усулҳои дақиқтари ҳамгироии ададӣ. Ғайр аз усули Рунге-Кутта, усулҳои сатҳи баландтарро, ба монанди усулҳои Адамс ё усулҳои қадамҳои тағйирёбандаро низ баррасӣ кардан мумкин аст. Ин усулҳо метавонанд натиҷаҳои дақиқтарро бо ҳамон ё ҳатто камтар ҳисобҳо таъмин кунанд.

Интихоби қадами мутобиқшавӣ аз рӯи вақт. 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 кофӣ натиҷахоро таъмин кунанд.

Баҳисобгирии равандҳои иловагии физикӣ. Тавсеаи модел барои баҳисобгирии равандҳои иловагии физикӣ, ба монанди талафоти гармӣ тавассути фаршҳо ё ҷараёнҳои ҳаво, метавонад дақиқӣ ва воқеияти моделро беҳтар кунад.

Иҷрои мувозӣ ва оптимизатсияи ҳисоббарорӣ. Истифодаи иҷрои параллелии ҳисобҳо ё оптимизатсияи алгоритмҳо ва сохторҳои маълумот метавонад иҷрои барномаҳо ба таври назаррас суръат бахшад, алахусус бо миқдори зиёди маълумот ё моделҳои мураккаб.

Визуализатсияи натиҷаҳо ва интерактивӣ. Илова кардани қобилияти визуализатсияи натиҷаҳои моделсозӣ ба барнома, масалан тавассути графикҳо, диаграммаҳо ё аниматсияҳо, метавонад барои беҳтар фаҳмидани динамикаи система ва натиҷаҳои моделсозӣ кӯмак кунад.

Оптимизатсияи параметрҳои модел. Гузаронидани тадқиқот ва оптимизатсияи параметрҳои модел (масалан, коэффитсиентҳои гармидиҳӣ ё иқтидори гармӣ) метавонад ба натиҷаҳои дақиқтар ва воқеӣ оварда расонад.

Васеъ кардани функсияҳои барнома. Илова кардани қобилияти кор бо намудҳои гуногуни моделҳо ё сценарияҳо, ба монанди идоракунии режими ҳарорат ё мутобиқ шудан ба тағирёбии шароити беруна, метавонад барномаҳо ҳамаҷониба ва муфидтар кунад.

Санҷиш ва тасдиқ. Санҷиши мунтазами барнома ва муқоисаи натиҷаҳо бо маълумоти воқеӣ ё дигар моделҳо барои муайян кардани хатогиҳо ва беҳтар кардани сифати моделсозӣ кӯмак мекунад.

Такмил ва оптимизатсияи барнома муносибати муназзам, санҷиши усулҳо ва параметрҳои гуногун ва таҳлили дақиқии натиҷахоро талаб мекунад.

Дар ҷараёни ин кор барномаи дар забони C++ таҳия карда шуд, ки барои ҳалли 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 натиҷаҳои зеринро пешниҳод менамояд:

- Татбиқи усулҳои ададӣ: функцияҳо барои усули Эйлер ва усули Рунге Кутта таҳия карда шуданд, ки ба мо имкон медиҳанд, ки муодилаи тавозуни гармиро ба таври ададӣ ҳисоб кунем.
- Санҷиш ва таҳлили натиҷаҳо: санҷиши 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, интиҳоби қадами мутобиқшавӣ аз рӯи вақт ва васеъ кардани функцияҳо барои баҳисобгирии сценарияҳои гуногун баррасӣ карда мешаванд.

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

Хулосаи боби панҷум

Барои сохтани алгоритм сохтани барномаи ҳисоббарории компютерӣ зарур аст. Пас ҳисобҳо гузаронида мешаванд ва натиҷаҳо таҳқиқ карда мешаванд. Ҳодисаҳои ҳосилшуда аз нуқтаи назари мувофиқати онҳо ба ҳодисаи мушоҳидашаванда таҳқиқ карда мешаванд ва, дар сурати зарурат,

амсилаи математикӣ дақиқтар карда мешавад, ҳатогихои амсилаи ададӣ ислоҳ карда мешаванд.

Ин нақшаи таҷрибаи ҳисоббарорӣ бо тавсифоти охирнок мебошад. Мазмуну мундариҷаи он- ташаккули сегонаи «амсила-усул (алгоритм)-барнома» [8, 191] аст. Соҳаҳои татбиқи таҷрибаи компютериро метавон чунин мушаххас кард: тибб, энергетика, техникаи ҳавоюкайҳонӣ, физикаи ҳастай ва ғайра.

Ҳамин тариқ, таҳлили тақсимои ғайрихаттии статсионари ҳарорат дар муҳити конденсӣ нишон медиҳад, ки алгоритми коркардшуда ва барномаи компютери ба он асосёфта метавонанд барои омӯхтани майлонҳо ва зонаҳои бо ҳарорат ва сели гармӣ алоқаманд, консентратсия ва дигар функцияҳо истифода карда шаванд, ки барнома ба зерсоҳаи алоҳидаи дилҳоҳ иҷозат медиҳад. Дар чунин ҳолат шароити сарҳадӣ дар фасли даромад бо роҳи воридкунии массиви лозимаи маълумот дода мешаванд. Барои ҳосил кардани иттилоӣ ибтидоӣ дар зерсоҳа қиматҳои функцияҳо дар фасл барои тамоми зерсоҳа ниғаҳ дошта мешаванд.

Вобаста ба навъи масъалаҳои ҳалшаванда модулиҳои алоҳида метавонанд аз барнома дур карда шаванд. Мурочиат ба блокҳо метавонад яккарата ё баробари шумораи зерсоҳаҳо дар ҳар қадами итератсионӣ бошад. Мурочиат ба блоки 5 дар охири ҳисоб ё аз рӯи ҳисобкунандаи қадамҳо ба амал меояд.

ХУЛОСАҲОИ АСОСӢ

1. Натиҷаҳои асосии илмӣ диссертатсия

Дар диссертатсия амсилаҳои то ин замон камчин, вале асосноки математикӣ ва компютериҳои усулҳои мушаххаси ҳисоби таҳлилӣ ва ададии ҳалҳои муодилаҳои ғайрихаттии статсионарии равандҳои гармӣ тасвия карда шудаанд, ки ба ивази муодилаҳои статсионарии дифференсиалӣ аз рӯи тағйирёбандаҳои хусусӣ ба системаи муодилаҳои одӣ бо функцияҳои 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 кофӣ натиҷаҳоро таъмин кунанд. Истифодаи иҷрои параллелии ҳисобҳо ё оптимизатсияи алгоритмҳо ва сохторҳои маълумот метавонад иҷрои барномаро ба таври назаррас суръат бахшад, алахусус, бо миқдори зиёди маълумот ё моделҳои мураккаб.

Бо дарназардошти таҳқиқотҳои дар боло овардашуда метавонем чунин хулоса кард, ки:

1. Бо назардошти танзимкунии ҳарорат ва сели гармӣ гузориши нави масъалаи тасвири амсилавии ҳалли таҳлилӣ ва ададии равандҳои ғайрихаттии статсионарии сӯзиши гармии муҳитҳои конденсӣ тасвият карда шудааст ва натиҷаҳои таҷрибавии комилан нав ҳосил карда шуданд [1-М-2-М].

2. Қонуниятҳои паҳншавии статсионарии ҳарорат дар муҳит муайян гардида, дар ҳамвории фазавӣ ҳолати мувозинатии ҷараёни гармӣ ва ҳарорат тасвир шудаанд. 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 тақсим мекунанд [4-М-20-М].

4. 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 [10-M-30-M].

5. 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 [8-M-24-M].

6. Барномаи компютерӣ дар забони барномасозии C++ Builder барои моделсозии вобастагии дастгоҳ аз тақсимои ғайрихаттии ҳарорати чараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ коркард шудааст, ки ин татбиқ усули фарқҳои охиринок барои ҳолати дучониба истифода мешавад [12-M-18-M].

2. Тавсияи натиҷаҳо барои дар амалия истифодабарӣ

Дар чараёни ин кор барномаи дар забони C++ таҳия карда шуд, ки барои ҳалли ададии 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 натиҷаҳои зеринро пешниҳод менамояд:

- **Татбиқи усулҳои ададӣ:** функсияҳо барои усули Эйлер ва усули Рунге Кутта таҳия карда шуданд, ки ба мо 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, интиҳоби қадами мутобиқшавӣ аз рӯи вақт ва васеъ кардани функсияҳо барои баҳисобгирии сценарияҳои гуногун баррасӣ карда мешаванд.

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

РҰЙХАТИ АДАБИЁТ

- [1]. Rosen, J. B. Combustion wave stability and flammability limits / J.B. Rosen // The Journal of Chemical Physics. – 1954. – Vol. 22, no. 4. – P. 750-751.
- [2]. Zeldovich, Y. B. Theory of flame propagation / Y.B. Zeldovich, G.I. Barenblatt // Combustion and flame. – 1959. – Vol. 3. – P. 61-74.
- [3]. Van Dyke, M. Perturbation methods in fluid mechanics / M. Van Dyke. – New York: Academic Press, 1964. – 229 p.
- [4]. Bush, W. B. Asymptotic analysis of laminar flame propagation for general lewis numbers / W.B. Bush, F.E. Fendell // Combustion Science and Technology. –1970. – Vol. 1. – P. 421-428.
- [5]. Берман, В. С. Применение метода сращиваемых асимптотических разложений к расчёту стационарного теплового распространения фронта экзотермической реакции в конденсированной среде / В.С. Берман, Ю.С. Рязанцев // Прикладная механика и техн. физика.–1972. – № 5.–С. 106-112.
- [6]. Joulin, G. Linear stability analysis of nonadiabatic flames: diffusional thermal model / G. Joulin, P. Clavin // Combustion and Flame. – 1979. – Vol. 35. – P. 139-153.
- [7]. Андреев, И. А. Критические условия теплового взрыва для автокаталической реакции горения с учётом теплопередачи [Текст] / И.А. Андреев, В.А. Соболев // Вестн. СамГУ. – 1996. – Спец. вып. – С.37-42.
- [8]. Самарский, А. А. Вычислительная теплопередача [Текст] / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М.: Эдиторнал УРСС, 2003. – 784 с.
- [9]. Байков, В.И. Теплофизика. Т.1. Термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика /В.И. Байков, Н.В. Павлюкевич //-Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси.-2013.-400с.
- [10]. Байков, В.И. Теплофизика. Т.2. Термодинамика необратимых процессов, теория конвективного течения и гармоника, перенос энергии теплового излучения, процессы переноса и фазовые превращения в

- твёрдых телах /В. И. Байков, Н. В. Павлюкевич, А. К. Федотов, А. И. Шнип// – Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси.-2014. – 370 с.
- [11]. Шашков, А.Г. Волновые явления теплопроводности /А.Г. Шашков, В.А. Бубнов, С.Ю. Яновский //-М: УРСС. -2004. -298 с.
- [12]. Джураева. Г.Х. Исследование математических моделей и соответствующих краевых задач с сингулярными коэффициентами. /Г.Х. Джураева // -Душанбе: ЭР-граф. -2021.-100с.
- [13]. Баратов, А.Н. Горение-пожар-взрыв-безопасность /А.Н. Баратов // -М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России. -2003. -
- [14]. Абдурагимов, И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров /И.М. Абдурагимов, В.Н. Говоров, В.Е. Макаров // -М.: Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР. -1980. -256 с.
- [15]. Моделирование пожаров и взрыва /под общ. ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко// -М.: Пожнаука. -2000. -482 с.
- [16]. Собурь, С.В. пожарная безопасность предприятия. Курс пожарного технического минимума: справочник. 9-е изд. /С.В. Собурь // -М.: Пож-Книга. -2004. 496 с.
- [17]. Чагаев, В.П. Теория горения и взрыва: учеб.пособие /В.П. Чагаев, Ю.Н. Тарабаев, В.А. Репринцев// -Новогорск: АГЗ МЧС России. -2001. -116с.
- [18]. Таубкин, С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы /С.И. Таубкин // –М.: ВНИИПО. -1999. -600с.
- [19]. Теория горения и взрыва: конспект лекций /сост. П.П. Воднев // -Ульяновск: УВАУ ГА(И). -2010. -180 с.
- [20]. Головнин В.А., Каплунов И.А., Педько Б.Б., Малышкина О. В., Мовчикова А.А. Физические основы, методы исследования и практическое применение пьезомагнитов: монография. М: ТЕХНОСФЕРА, 2013. – 272 с.
- [21]. Lewis B., Elbe G. On the theory of flame propagation // Journal of Chemical Physics. – 1934. – Т. 2, № 8. – С. 537-546.

- [22]. Зельдович, Я.Б. Математическая теория горения и взрыва / Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблатт, Б.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе.-М.: Наука, 1980. -478 с.
- [23]. Франк-Каменецкий, Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д.А. Франк-Каменецкий. -М.: Наука, 1987. -502 с.
- [24]. Щетинков, Е.С. Физика горения газов / Е.С. Щетинков. -М.: Наука, 1965. — 740 с.
- [25]. Гребер Г., Эрк С., Григуль У. Основы учения о мубодилаи гармйе / Под ред. А.А. Гухмана. М.: Издатинлит. -1958. -598 с.
- [26]. Вигак В.М. Оптимальное управление нестационарными температурными режимами. Киев: Наукова думка, -1979. -359 с.
- [27]. Бэррер Р. Диффузия в твердых телах. М.: Издатинлит. -1948. -504 с.
- [28]. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. 2-е изд.; М.: Физматлит. -1972. -720 с.
- [29]. Батунер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике. 6-е изд. Л.: Химия. -1971. -824 с.
- [30]. Дильман В.В., Полянин А.Д. Методы модельных уравнений и аналогий в химической технологии. М.: Химия. -1988. -304 с.
- [31]. Дьяконов С.Г., Елизаров В.И., Лаптев А.Г. Теоретические основы и моделирование процессов разделения веществ. Казань: КХТИ. -1993. - 438 с.
- [32]. Егоров А.И. Оптимальное управление тепловыми и диффузионными процессами. М.: Наука. -1978. -464 с.
- [33]. Туголуков Е.Н. Математическое моделирование технологического оборудования много ассортиментных химических производств. М: Машиностроение. -2004. -100 с.
- [34]. Шаталов Ю.С. Функционально-интегральные уравнения теплофизических характеристик. М.: Наука. -1996. -297 с.
- [35]. Crank J. The Mathematics of Diffusion. Oxford: Clarendon. -1975. IX. -414 p.

- [36]. Handbook of Heat and Mass Transfer Operations / Ed.: N.P. Cheremisinoff. Houston: Gulf. Publ. -1986. XIV. -1456 p.
- [37]. Konovalov V.I., Gatapova N.Z., Kudra T. Drying of liquid dispersions – a unified approach to kinetics and modeling // Drying Technology – An Intern. Journal (New York). -2003. -Vol. 21, No. 6. -Pp. 1029 – 1047.
- [38]. Perry's Chemical Engineering Handbook. 7th Edition / Eds. R.H. Perry, D.W. Green, J.O. Maloney. New York: Mc Graw Hill. -1997. -2624 p.
- [39]. Корольченко, А.Я. Процессы горения и взрыва. –М.: Пожнаука. -2007. - 266 с ISBN 978-5-91444-001-2
- [40]. Шарыпов О. В. Введение в физику горения: Учеб. пособие / О.В. Шарыпов // - Новосибирск: Новосибирский госуниверситет. -2010. -99 с. ISBN 5- 94356-241-3.
- [41]. Семенов, Н. Н. К теории процессов горения [Текст]: сообщ. 1 / Н.Н. Семенов. // Журн. Рус. физ.-хим. о-ва. – 1928. – Т. 60, № 3. – С. 247-250.
- [42]. Семенов, Н. Н. Цепные реакции [Текст] / Н.Н. Семенов. – 2-е изд. – Л.: ОНТИ - Госхимтехиздат, 1934. – 555 с.; М.: Наука, 1986. – 535 с.
- [43]. Семенов, Н. Н. Тепловая теория горения и взрывов [Текст] / Н.Н. Семенов // Успехи физ. наук. – 1940. – Т. 23, № 3. – С. 251-292.
- [44]. Франк-Каменецкий, Д. А. Распределение температур в реакционном сосуде и стационарная теория теплового взрыва [Текст] / Д.А. Франк-Каменецкий // Докл. АН СССР. – 1938. – Т.18, № 7. – С. 411-412.
- [45]. Франк-Каменецкий, Д. А. Распределение температур в реакционном сосуде и стационарная теория теплового взрыва [Текст] / Д.А. Франк-Каменецкий // Журн. физ. химии. – 1939. – Т. 13, № 6. – С. 738-755.
- [46]. Зельдович, Я. Б. К теории равномерного распространения пламени [Текст] /Я.Б. Зельдович, Д. А. Франк-Каменецкий // Журн. физ. химии. – 1938. – Т. 22, № 1. – С. 27-48.
- [47]. Зельдович, Я. Б. Теория предела распространения тихого пламени [Текст] / Я.Б. Зельдович // Журн. эксперим. и теорет. физики.– 1941. – Т. 11, вып. 1. – С. 159-169.

- [48]. Ландау, Л. Д. К теории медленного горения [Текст] / Л.Д. Ландау // Журн. эксперим. и теорет. физики. – 1944. – Т. 14, № 6. – С. 240-245.
- [49]. Ландау, Л. Д. Гидродинамика [Текст] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1986. – 733 с.
- [50]. Колмогоров, А.Н. Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием вещества, и его применение к одной биологической проблеме [Текст] / А.Н. Колмогоров, И.Г. Петровский, Н.С. Пискунов // Бюл. МГУ. Секция: «Математика и механика». – 1937. – Т.1. – С. 1-26.
- [51]. Самарский, А.А. Горение нелинейной среды в виде сложных структур [Текст] / А.А. Самарский, Г.Г. Еленин, Н. В. Змитренко и др. // Докл. АН СССР. – 1977. – Т. 237, № 6. – С. 1330-1333.
- [52]. Курдюмов, С.П. Сложные многомерные структуры горения нелинейной среды [Текст] / С.П. Курдюмов, Е.С. Куркина, А.Б. Потапов, А.А. Самарский // Журн. вычисл. математики и мат. физики. – 1986. – Т.26, № 8. – С.1188-1205.
- [53]. Еленин, Г.Г. Нестационарные диссипативные структуры в нелинейной теплопроводной среде [Текст] / Г.Г. Еленин, С.П. Курдюмов, А.А. Самарский // Журн. вычисл. математики и мат. физики. – 1983. – Т. 23, № 2. – С. 380-390.
- [54]. Мержанов, А. Г. К квазистационарной теории теплового взрыва [Текст] / А.Г. Мержанов // Докл. АН СССР. – 1961. – Т. 140, № 3. – С. 637-640.
- [55]. Мержанов, А. Г. Закономерности теплового взрыва в условиях нагрева с постоянной скоростью [Текст] / А.Г. Мержанов, А.Г. Струнина // Науч.-техн. проблемы горения и взрыва (Физика горения и взрыва). – 1965. – Т. 1, № 1. – С. 59-69.
- [56]. Тихонов, А. Н. Методы решения некорректных задач [Текст] / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
- [57]. Иванов, В. К. Теория линейных некорректных задач и ее приложения [Текст] / В.К. Иванов, В.В. Васин, В.П. Танана. – М.: Наука, 1978. – 206 с.

- [58]. Лаврентьев, М. М. О некоторых некорректных задачах математической физики [Текст] / М.М. Лаврентьев. – Новосибирск: СО АН СССР, 1962. – 93 с.
- [59]. Лаврентьев, М. М. Некорректные задачи математической физики и анализа [Текст] / М.М. Лаврентьев, В.Г. Романов, С.А. Шишатский. – М.: Наука, 1980. – 286 с.
- [60]. Джураев, Х. Ш. Об одном подходе к проблеме регуляризации задачи Коши для уравнения Эйлера-Пуассона-Дарбу [Текст] / Х.Ш. Джураев // Дифференц. уравнения. – 2007. – Т. 43, № 5. – С.721-725.
- [61]. Джураев, Х. Ш. Некорректно поставленные задачи математической физики [Текст]: моногр. / Х.Ш. Джураев. – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 156 с.
- [62]. Быстрой, Г. П. Термодинамика необратимых процессов в открытых системах [Текст] / Г.П. Быстрой. – Москва; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. – 264 с.
- [63]. Darrieus, G. Propagation d'un front de flamme [Text] / G. Darrieus. – Paris, 1946. – P. 15-16.
- [64]. Sivashinsky, G. I. Nonlinear analysis of hydrodynamic instability in laminar flames-i. derivation of basic equations [Text] / G.I. Sivashinsky // Acta Astronautica. – 1977. – Vol. 4, № 11. – P. 1177-1206.
- [65]. Маркштейн, Д. Г. Нестационарное распространение пламени [Текст] / Д.Г. Маркштейн, Г. Генош, А.А. Патнэм. – М.: Мир, 1968. – 437 с.
- [66]. Щелкин, К. И. Неустойчивость горения и детонации газов [Текст] / К.И. Щелкин // Успехи физ. наук. – 1965. – Т. 87, № 10. – С. 273-302.
- [67]. Гусак, Л. А. Исследование фронта нормального пламени [Текст] / Л.А. Гусак, Е.Н. Спринцина, К.И. Щёлкин // Физика горения и взрыва. – 1968. – Т. 4, № 3. – С. 358-366.
- [68]. Льюис, Б. Горение, пламя и взрывы в газах [Текст] / Б. Льюис, Г. Эльбе. – М.: Наука, 1968. – 592 с.

- [69]. Jomaas, G. Spiral waves in expanding hydrogen–air flames: Experiment and theory [Text] / G. Jomaas, J.K. Bechtold, C.K. Law // Proceedings of the Combustion Institute. – 2007. – Vol. 31, № 1. – P. 1039-1046.
- [70]. Clavin, P. Effects of molecular diffusion and of thermal expansion on the structure and dynamics of premixed flames in turbulent flows of large scale and low intensity [Text] / P. Clavin, F.A. Williams // Journal of fluid mechanics. – 1982. – Vol. 116, № 1. – P. 251-282.
- [71]. Pelce, P. Influence of hydrodynamics and diffusion upon the stability limits of laminar premixed flames [Text] / P. Pelce, P. Clavin // Journal of Fluid Mechanics. – 1982. – Vol. 124, № 1. – P. 219-237.
- [72]. Jackson, T. Effect of thermal expansion on the stability of plane, freely propagating flames [Text] / T. Jackson, A. Kapila // Combustion Science and Technology. – 1984. – Vol. 41, № 3/4. – P. 191-201.
- [73]. Matalon, M. Flames as gasdynamic discontinuities [Text] / M. Matalon, B. Matkowsky // Journal of Fluid Mechanics. – 1982. – Vol. 124, no. 1. – P. 239-259.
- [74]. Liberman, M. A. Stability of a planar flame front in the slow-combustion regime [Text] / M.A. Liberman, V.V. Bychkov // Physical Review E. – 1994. – Vol. 49, no. 1. – P. 445.
- [75]. Sivashinsky, G. I. Instabilities, pattern formation, and turbulence in flames [Text] / G.I. Sivashinsky // Annual Review of Fluid Mechanics. – 1983. – Vol. 15, no. 1. – P. 179-199.
- [76]. Clavin, P. Dynamic behavior of premixed flame fronts in laminar and turbulent flows [Text] / P. Clavin // Progress in Energy and Combustion Science. – 1985. – Vol. 11, no. 1. – P. 1-59.
- [77]. Bychkov, V. Dynamics and stability of premixed flames [Text] / V. Bychkov, M.A. Liberman // Physics reports. – 2000. – Vol. 325, no. 4. – P. 115-237.
- [78]. Rosen, J. B. Theory of laminar flame stability. i. analytic stability condition [Text] / J.B. Rosen // The Journal of Chemical Physics. – 1954. – Vol. 22, no. 4. – P. 733-742.

- [79]. Rosen, J. B. Theory of laminar flame stability. ii. general numerical method and application to typical system [Text] / J.B. Rosen // The Journal of Chemical Physics. – 1954. – Vol. 22, no. 4. – P. 743-748.
- [80]. Алдушин, А.П. Автоколебательное распространение фронта горения в гетерогенных конденсированных средах [Текст] / А.П. Алдушин, Т.М. Мартемьянова, А.Г. Мержанов и др. // Физика горения и взрыва. – 1973. – Т. 9, № 5. – С. 613-626.
- [81]. Шкадинский, К. Г. Распространение пульсирующего фронта экзотермической реакции в конденсированной фазе [Текст] / К.Г. Шкадинский, Б.И. Хайкин, А.Г. Мержанов // Физика горения и взрыва. – 1971. – Т. 9, № 5. – С. 613–626.
- [82]. Алдушин, А. П. О теплодиффузионной неустойчивости фронта горения / А.П. Алдушин, С.Г. Каспарян // Докл. АН СССР. – 1979. – Т. 244, № 1. – С. 67-70.
- [83]. Алдушин, А. П. Влияние тепловых потерь на устойчивость волн горения / А.П. Алдушин, С.Г. Каспарян // Физика горения и взрыва. – 1981. – Т. 17, № 2. – С. 74-77.
- [84]. Лоскутов, А. Ю. Основы теории сложных систем [Текст] / А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов. – Москва; Ижевск: Ин-т компьютерных исслед., 2007. – 620 с.
- [85]. Fisher, R. A. The Wave of Advantageous Genes [Text] / R.A. Fisher. – Ann. Eugenics. – 1937. – № 7. – P. 355-369.
- [86]. Блейхер, Г. А. Тепломассоперенос в твердом теле под действием ионных пучков заряженных частиц [Текст] / Г.А. Блейхер, В.П. Кривобоков, О.В. Пащенко. – Новосибирск: Наука, 1999. – 176 с.
- [87]. Барзыкин, В. В. Исследование теплового взрыва конденсированных систем в условиях слабого микробудора и гармоник с окружающей средой [Текст] / В.В. Барзыкин, А.Г. Мержанов // Журн. физ. химии. – 1964. – Т. 38, № 11. – С. 2640-2646.

- [88]. Киселев, Я. С. О едином подходе к рассмотрению вопросов тепло- и массообмена в задачах пожарной безопасности судов и других объектов транспортного комплекса [Текст] / Я.С. Киселев // Сб. науч. тр. ВНИИПО МВД РФ. – М., 1991. – С. 26-39.
- [89]. Маршалл, В. Основные опасности химических производств [Текст] / В. Маршалл. – М.: Мир. 1989. – 671с.
- [90]. Thomas, P. H. On the thermal conduction equation for selfheating materials with surface cooling [Text] / P.H. Thomas // Trans Faraday Soc. – 1956. – T.54, № 421. – P. 833-839.
- [91]. Kinbara, T. A. Combustion and Flame [Text] / T.A. Kinbara, K. Akiht. – 1960. – T.4, № 2. – P. 173-180.
- [92]. Киселев, Я. С. Физические модели горения в системе пожарной безопасности [Текст]: моногр. / Я.С. Киселев, О.А. Хорошилов, Ф.В. Демехин; под общ. ред. В.С. Артамонова. –СПб.:СПб ун-т ГПС МЧС Россия, 2009.–339 с.
- [93]. Stefan, J. Ober die Theorien der Eisbildung, insbesondere über die Eisbildung in der Polarmeere [Text] / J. Stefan // Sitzungsberichte der Kaiserlichen Academia Wiss., Wien., Math. Naturwiss. Kl. – 1880. – Vol. 98 (2a). – S. 956-973.
- [94]. Бургтраф, О. Р. Точное решение обратной задачи в теории теплопроводности и ее приложениях [Текст] / О.Р. Бургтраф // Тр. американ. о-ва инженеров-механиков. Сер. С. Теплопередачи. – 1964. – № 3. – С. 94-106.
- [95]. Langford, D. New analytical solutions of the one-dimensional for temperature are heat flow rate both prescribed at the same fixed boundary (with applications to the phase change problem) [Text] / D. Langford // Q. App. Math. – 1976. – No 24(4). P. 315-322.
- [96]. Зельдович, Я. Б. Элементы математической физики среда из невзаимодействующих частиц [Текст] / Я.Б. Зельдович, А.Д. Мышкис. – М.: Наука, 1973. – 242 с.

- [97]. Андронов, А. А. Теория колебаний [Текст] / А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин. – М.: Наука, 1981. – 568 с.
- [98]. Наймарк, Ю. И. Новый подход к численному исследованию конкретных динамических систем методами распознавания образов и статистического моделирования [Текст] / Ю.И. Наймарк, И.В. Котельников, Л.Г. Теклина // Проблемы нелинейной динамики. – 2010. – Т.18, № 2. – С. 3-14.
- [99]. Гришин, А. М. Типы решений одной нелинейной краевой задачи и их устойчивость [Текст] / А.М. Гришин // Теория функций и дифференциальные уравнения. – Саратов, 1966. – С. 44-51.
- [100]. Бостанджиян, С. А. Тепловое воспламенение кольцевого слоя и его гидродинамическая аналогия [Текст] / С.А. Бостанджиян // Физика горения и взрыва. – 1988. – Т. 24, № 4. – С. 10-19.
- [101]. Гайнутдинов, Р. Ш. Тепловой взрыв полого цилиндра при граничных условиях третьего рода [Текст] / Р.Ш. Гайнутдинов // Физика горения и взрыва. – 2004. – Т.40, № 2. – С. 29-32.
- [102]. Барзыкин, В. В. Краевая задача в теории теплового взрыва [Текст] / В.В. Барзыкин, А.Г. Мержанов // Докл. АН СССР. – 1958. – Т. 121, № 4. – С. 1271-1273.
- [103]. Na, T. Y. Computational method in engineering boundary value problems [Text] / T.Y. Na.// – Michigan: Academic press, 1979. – 294 p.
- [104]. Фадеев, С. И. Нелинейные краевые задачи для систем обыкновенных дифференциальных уравнений на конечном отрезке [Текст] / С.И. Фадеев, В.В. Когай. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2008. – 106 с.
- [105]. Николис, Г. Самоорганизации и неравновесных системах [Текст]: пер. с англ. / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 308 с.
- [106]. Маркин, В. С. Теория возбудимых сред [Текст] / В.С. Маркин, В.Ф. Пастушенко, Ю.А. Чизмаджев. – М.: Наука, 1981. – 273 с.

- [107]. Махвиладзе, Г. М. Огненный шар при горении выбросов углеводородного топлива [Текст] / Г.М. Махвиладзе, Дж.П. Робертс, С.Е. Якуш // Физика горения и взрыва. – 1999. – Т. 35, № 3. – С. 17-19.
- [108]. Селезнев, В. Е. Численный анализ пожарной опасности магистральных газопроводов [Текст] / В.Е. Селезнев // Безопасность труда в пром-сти. – 2005. – № 6. – С.98-43.
- [109]. Самарский, А.А. Компьютеры и нелинейные явления: Информатика и современное естествознание [Текст] / авт. пред. А.А. Самарский. – М.: Наука, 1988. – 176 с.
- [110]. Бакшт, Ф.Г. Термоэмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма [Текст] / Ф.Г. Бакшт, Г.А. Дюжев, А.М. Марцинковский и др.; под ред. Б.Я. Мойжеса, Г.Е. Пикуса. – М.: Наука, 1973. – 480 с.
- [111]. Бакшт, Ф. Г. Низковольтная дуга с накалимым катодом в парах цезия [Текст] / Ф.Г. Бакшт, В.Г. Юрьев // Журн. техн. физики. – 1976. – Т. 46, вып. 5. – С. 905-936.
- [112]. Бакшт, Ф. Г. Приэлектродные явления в низкотемпературной плазме [Текст]: обзор / Ф.Г. Бакшт, В.Г. Юрьев // Журн. техн. физики. – 1979. – Т. 49, вып. 5. – С. 905-944.
- [113]. Стаханов, И.П. Физические основы термоэмиссионного преобразования энергии [Текст] / И.П. Стаханов, В.П. Пащенко, А.С. Степанов, Ю.К. Гуськов; под ред. И.П. Стаханова. – М.: Атомиздат, 1973. – 374 с.
- [114]. Mc-Candles, R. J. Theory of thermionic converter volume phenomena [Text] / R.J. Mc-Candles, D.R. Wilkins, S.L. Derby // IEEE Conf. Record of 1969 Thermion. Convers. Spes. Conf., Oct., 1969. – Carmel, California (USA), 1969. – P. 163-169.
- [115]. Зимин, В. П. Изображение и анализ граничных условий для уравнения теплопроводности на фазовых плоскостях [Текст] / В.П. Зимин // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2011. – Т. 318, № 4. – С. 29-33.

- [116]. Зимин, В. П. Развитие метода фазовой плоскости для анализа решений краевых задач [Текст] / В.П. Зимин // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2012. – Т. 321, № 2. – С.17-21.
- [117]. Полетика, Т.М. Локализация пластического течения в технических сплавах циркония [Текст] / Т.М. Полетика, Г.Н. Нариманова, С.В. Колосов, Л.Б. Зуев // Прикладная механика и техн. физика. – 2003. – Т. 44, № 2. – С. 132-142.
- [118]. Гремячкин, В. М. Гетерогенное горение частиц твердых топлив [Текст] / В.М. Гремячкин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Бамана, 2015. – 230 с.
- [119]. Кузнецов, Г. В. Математическое моделирование температурных полей в процессе вулканизации типичных кабельных изделий [Текст] / Г.В. Кузнецов, Е.В. Иванова // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2010. – Т. 316, № 4. – С. 38-41.
- [120]. Карпов, А. И. О формулировке термодинамического вариационного принципа для задачи о стационарном распространении пламени [Текст] / А.И. Карпов // Вестн. Удмурт. ун-та. Математика. Механика. Компьютер. науки. – 2008. – Вып. 3. – С. 61-68.
- [121]. Карпов, А. И. Метод локального потенциала для расчёта стационарной скорости распространения пламени [Текст] / А.И. Карпов, А.В. Кудрин // Вестн. Удмурт. ун-та. Математика. Механика. Компьютер. науки. – 2010. – Вып. 4. – С. 87-94.
- [122]. Mosbauer S., Pickenacker O., Pickenacker K., Trimis D. Application of the porous burner technology in energy and heat engineering // Proc. of V Int. Conf. on Technologies and Combustion for a Clean Environment (clean Air V). – Lisbon (Portugal), 12–15 July, 1999. – V. 1. – Lect. 20.2. – P. 519–523.
- [123]. Oliveira A.A.M., Kaviany M. Nonequilibrium in the transport of heat and reactants in combustion in porous media // Progress in energy and combustion science. – 2001. – V. 27. – № 3. – P. 523–545.

- [124]. Hovell J.R., Hall M.J., Ellzey J.L. Combustion of hydrocarbon fuels within porous inert media // Progress in energy and combustion science. – 1996. – V. 22. – № 1. – P. 121–145.
- [125]. Korzhavin A.A., Bunev V.A., Babkin V.S. Dynamics of gaseous combustion in closed systems with inert porous medium // Combustion and flame. – 1997. – V. 109. – № 4. – P. 507–520.
- [126]. Brener G., Pickenacker K., Pickenacker O. e.a. Numerical and experimental investigation of matrix_stabilized methane/air combustion in porous inert media // Combustion and flame. – 2000. – V. 123. – № 1. – P. 201–213.
- [127]. Zhdanok S.A., Dobrego K.V., Futko S.I. Flame localization inside axis - symmetric cylindrical and spherical porous media burners // Int. Journal of Heat and Mass Transfer. – 1998. – V. 41. – № 12. – P. 3647–3655.
- [128]. Какуткина Н.А. Некоторые аспекты устойчивости горения газа в пористых средах // Физика горения и взрыва. – 2005. – Т. 41. – № 4. – С. 39–49.
- [129]. Коржавин А.А., Бунев В.А., Бабкин В.С., Клименко А.С. Эффекты селективной диффузии при распространении и гашении пламени в пористой среде // Физика горения и взрыва. – 2005. – Т. 41. – № 4. – С. 50–59.
- [130]. Кузьминский, Е.В. Прямое преобразование различных видов энергии в электричество / Е.В. Кузьминский, Е.Б. Кузякин, В.Н. Мних// -1982, №1, -90 с.
- [131]. Кузьминский, Е.В. Прямое преобразование различных видов энергии в электричество/ Е.В. Кузьминский // -1982, №1, -94 с.
- [132]. Марков, О.И. Методы дискретных особенностей в задачах математической физики / О.И. Марков // -Орел: ОГУ. -2005. -70 с.
- [133]. Марков, О.И. / О.И. Марков // Журн. технич. физики, 2006, **76**, 140 с..
- [134]. И.М. Лашкевич, О. Ангелес Фрагосо, Ю.Г. Гуревич, Журн. технич. физики, 2009, **79**, 125.

- [135]. Е.В. Кузьминский, О.А. Машкин, Прямое преобразование различ. видов энергии в электрич., 1989, №4, 74.
- [136]. Некоторые аспекты обеспечения безопасной эксплуатации литиевых ХИТ, Е.В. Кузьминский, Киев: АН УССР, 1989, 41.
- [137]. И.А. Кедринский, В.Е. Дмитренко, И.И. Грудянов, Литиевые источники тока, Москва: Энергоатомиздат, 1992. 240 с.
- [138]. Є.В. Кузьмінський, Г.Я. Колбасов, Я.Ю. Тевтуль, Н.Б. Голуб, Нетрадиційні електрохімічні системи перетворення енергій, Київ: Академперіодика, 2002, 56.
- [139]. Є.В. Кузьмінський, Г.Я. Колбасов, Я.Ю. Тевтуль, Н.Б. Голуб, Нетрадиційні електрохімічні системи перетворення енергій. Фото-, термо- та біопаливні елементи, Чернівці: Рута, 2003, 96.
- [140]. Ж. Паносян, Альтернатив. энергетика и экология, 2006, №1, 42.
- [141]. Davidenko D.M., Gokalp I., Kudryavtsev A.N. // Deflagrative and Detonative Combust. / Eds. Roy G.D., Frolov S.M. Moscow: Torus Press, 2010. P. 27.
- [142]. Davidenko D.M., Gokalp I., Kudryavtsev A.N. // AIAA Paper 2008–2680. 2008.
- [143]. Kindracki J., Wolanski P., Gut Z. // Shock Waves. 2011.V. 21. № 2. P. 75.
- [144]. Schwer D.A., Kailasanath K. // Proc. Combust. Inst. 2010. V. 33 (in press); <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1540748910003159>
- [145]. Hishida M., Fujiwara T., Wolanski P. // Shock Waves. 2009. V. 19. № 1. P. 1.
- [146]. Ye" Tao Shao, Meng Liu, Jian" Ping Wang // Combust. Sci. and Technol. 2010. V. 56 P. 1586.
- [147]. Быковский Ф.А., Ждан С.А., Ведерников Е.Ф. // Физика горения и взрыва. 2009. Т. 45. № 5. С. 111.
- [148]. Кригер В.Г. Поляронный характер носителей заряда в азиде серебра// Известия Академии наук СССР. Сер. "Неорганические Маводы". - 1982. - № 6. С. 960-964.

- [149].Кригер В.Г., Каленский А.В., Вельк В.В. Физико-химические процессы в системах с ростом центров рекомбинации// Известия вузов. Физика. - 2000. - Т. 43. - № 11. С. 124-129.
- [150].Кригер В.Г., Каленский А.В., Захаров Ю.А., Ципилев В.П. Механизм твердофазной цепной реакции// Маводоведение. - 2006. - № 9. С. 14-21.
- [151].Кригер В.Г., Каленский А.В., Ананьева М.В., Боровикова А.П. Зависимость критической плотности энергии инициирования взрывного разложения азида серебра от размеров монокристаллов// Физика горения и взрыва. - 2008. - Т. 44. - № 2. С. 76-78.
- [152].Кригер В.Г., Каленский А.В., Коньков В.В. Пороговая энергия инициирования азида серебра эксимерным лазером// Маводоведение. - 2003. - № 7. С. 2.
- [153].Кригер В.Г., Ципилев В.П., Каленский А.В., Звеков А.А. Взрывное разложение монокристаллов азида серебра при различных диаметрах зоны облучения// Физика горения и взрыва. - 2009. - Т. 45. - № 6. С. 105-107.
- [154].Кригер В.Г., Каленский А.В., Ципилев В.П., Боровикова А.П. Кинетика взрывного разложения азида серебра// Ползуновский вестник. - 2006. - № 2-1. С. 77-82.
- [155].156. Кригер В.Г., Каленский А.В., Звеков А.А., Боровикова А.П., Гришаева Е.А. Определение ширины фронта волны реакции взрывного разложения азида серебра// Физика горения и взрыва. - 2012. - Т.48. - № 4. С. 129-136.
- [156].Буркина Р.С., Медведев В.В., Микова Е.А., Ципилев В.П. Проявление коллективного эффекта оптических неоднородностей на создание очагов зажигания в прозрачном конденсированном веществе при воздействии мощного радиационного импульса// Известия вузов. Физика. - 2009. -№8/2. С. 272-275.
- [157].Кригер В.Г., Каленский А.В., Звеков А.А., Зыков И.Ю., Адуев Б.П. Влияние эффективности поглощения лазерного излучения на

- температуру разогрева включения в прозрачных средах// Физика горения и взрыва. - 2012. - Т.48. - № 6. С.1-5.
- [158].Зыков И.Ю. Учет эффективности поглощения при разогреве нановключений лазерным излучением// Международное научное издание "Современные фундаментальные и прикладные исследования". - 2012. - №3(6). С. 67-72.
- [159].Fair H.D., Walker R.F. Energetic Manerials. Vol. 1. Physics and chemistry of the inorganic azides. New-York - London. Plenum Press. 1977.
- [160].161. Азатян В.В. Неизотермические режимы разветвленно-цепных процессов и их химическое регулирование// Успехи химии. -1999. - Т.68. С. 1122-1142.
- [161].Гришаева Е.А. Оценка констант скоростей элементарных стадий механизма радиационно-термического разложения энергетических маводов// Международное научное издание "Современные фундаментальные и прикладные исследования". 2012. - №2(5). С. 119-124.
- [162].Кригер В.Г., Каленский А.В., Вельк В.В. Собственно-дефектная модель разложения азидов тяжелых металлов// Известия Вузов. Физика. - 2000. - Т. 43. - № 11. С. 118-123.
- [163].Каленский А.В., Булушева Л.Г., Кригер В.Г., Мазалов Л.Н. Моделирование граничных условий при квантово-химических расчетах азидов металлов в кластерном приближении// Журнал структурной химии. - 2000. - Т. 41. - № 3. С. 605-608.
- [164].Каленский, А.В. Моделирование закономерностей взрывного разложения энергетических маводов в рамках модели цепно-теплого взрыва / А.В. Каленский, Е.А. Гришаева, А.А. Звеков, М.В. Ананьева // Электронный научный журнал "ФИЗ-МАТ". - 2012. - Выпуск 3(9) Июль-Сентябрь. С. 3-8. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.phiz-math.ingnpublishing.com/archive/22012/release_3_9_july-eptember/kalenskij_a_v

_grishaeva_e_a_zvekov_a_a_anan_eva_m_v_modelirovanie_zakonomernos
tej_vzryvnogo_razlozheniya_energetic_heskih_materia/

- [165]. Джураев, Х.Ш. Явление переноса энергии и массы в конденсированных средах: математическое моделирование, оптимизация, практические приложения / Х.Ш. Джураев // -Душанбе: ЭР-граф.-2021.-236с.
- [166].Мандельштам, Л.И. Лекции по теории колебаний /Л.И. Мандельштам // -М.: Наука. -1972.-470 с.
- [167].Понтрягин, Л.С. Математическая теория оптимальных процессов. 4-у изд., стер. / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В.Гамкрелидзе, У.Ф. Мищенко// -М.: Наука. -1983. -392 с.
- [168].Джураев Х.Ш. О решениях задачи Коши для сингулярно-возмущенных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами /Х.Ш. Джураев //Маводы II международная конференции «Перспективы развития науки и образования в XXI веке».-Душанбе: Изд-во ТТУ им.М.С. Осими.- 2006. –С.21-23.
- [169].Джураев, Х. Ш. Об одном подходе к проблеме регуляризации задачи Коши для уравнения Эйлера-Пуассона-Дарбу / Х.Ш. Джураев // Дифференциальные уравнения. – 2007. – Т. 43,№ 5. – С.721-725.
- [170].Самарский, А. А. Теория разностных схем / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
- [171].Алиев, Б. О корнях сингулярно-возмущенных алгебраических уравнений / Б. Алиев, Х.Ш. Джураев// Доелады Академии наук Республики Таджикистан. -2004. –Т.47, №4. –С.92-98.
- [172].Джураев Х.Ш. Об одном подходе к проблеме регуляризации задачи Коши для уравнения эллиптического типа с постоянными коэффициентами. /Х.Ш. Джураев// Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. –2010.- №3(59). –С. 16-27.

- [173]. Джураев Х.Ш. О регуляризирующем алгоритме решений многомерных задачи Коши для эллиптических дифференциальных уравнений/Х.Ш. Джураев // Маводы вторая междун. конф. «Математической физики и ее приложения». –Самара: 2010 г. –С. 109-110.
- [174]. Джураев Х.Ш. О регуляризации стационарного поля температуры в среде/Х.Ш. Джураев //Известия АН РТ. отд. физ.-мат. –хим. –геолог. наук. 2010. –№2(139). –С.27-33.
- [175]. Джураев Х.Ш. Регуляризации задачи Коши для уравнения Гельмгольца/Х.Ш. Джураев //Функциональные пространства и теория приближения функций: междун. конф. посвященная 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского. Тезисы докладов. –М.: МИАН, 2015, –С. 133-135.
- [176]. Джураев Х.Ш. Регуляризации задачи Коши для уравнения Гельмгольца /Х.Ш. Джураев //Научно-технический вестник Поволжья, -Казань, 2015, –№5. –С. 22-24.
- [177]. Джураев Х.Ш. Стационарное распределение тепла с помощью математической модели процесса теплопроводности /Х.Ш. Джураев // Проблемы автоматизации и управления. ИАИТ НАН КР.-2017.-№2(33).- С.10-20.
- [178]. Седов Л.И. Механика сплошной среды /Л.И.Седов -М.: Наука.-1994.- Т.1-2.
- [179]. Смирнов В.И. Курс высшей математики. 2-е изд. Т. I-IV./В.И. Смирнов – М.: Гос.изд. тех.-теорети. литературы.-1949.-673с.1951.-804с.-1974.-656 с.
- [180]. Партон В.З. Методы математической теории упругости /В.З. Партон, П.И. Торлин –М.: Наука, 1981. –688 с.
- [181]. Лаврентьев М.М. Некорректные задачи стационарного и нестационарного явления теории переноса тепло в конденсированных средах и анализа /М.М. Лаврентьев, В.Г. Романов, С.А. Шишатский –М.: Наука.-1980.- 286 с.

- [182].Макаров И.П. Дополнительные главы математического анализа / И.П. Макаров // –М.: Просвещение.-1968. -308с.
- [183].Арсенин В.Я. Об одном способе приближенных решений интегральных уравнений первого рода типа сверток/В.Я. Арсенин //Математическая логика, теория алгоритмов и теория множеств. –Труды МИ АН СССР: Наука.-1973. –Т.133. –С. 33-51.
- [184].Васин В.В. Операторы и итерационные процессы фейеровского типа /В.В. Васин, В.В. Еремин –Екатеринбург: УрО АН.-2005. – 216 с.
- [185].Сизиков В.С. Устойчивые методы обработки результатов измерений. /В.С. Сизиков. –Санкт-Петербург (СПб):Специальная литература, 1999. -239 с. 91
- [186].Саргсян В.Г. О решении некорректной задачи теплопроводности с переопределенными исходными данными / В.Г.Саргсян, А.С. Хачикян //Изв. НАН Армении. Механика. 2008. Т. 61. №3. С. 58-63.
- [187].Чеховой А.Н. Синергетика объемного наноструктурирования металлических маводов. /А.Н.Чеховой // Конструкции из композиционных маводов. -2004. -№1. -С.37-47.
- [188].Каганов Ю.Т. К эволюции биосферы и техносферы: проблемы и решения. /Ю.Т. Каганов// Синергетическая парадигма. Нелинейное мышление в науке и искусстве. –М.: Прогресс-Традиция. -2002. -496 с.
- [189].Амирханов Р.А. Основы расчетно-экспериментального подхода при исследовании тепловых режимов зданий. / Р.А. Амирханов// Кубанский государственный аграрный университет. Энергосбережение и водоподготовка. -2007. -№3. -С.48-49.
- [190]. 191. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. /2-е изд. исп. _М.: Физматлит. -2001. -320 с.
- [191].Ануфриев И.Е. Самоучитель Matlab 5.3/6. х. –СПб.: БХВ-Петербург, 2004. -736 с.
- [192].Гультияев А.К. Визуальное моделирование в среде Matlab. –СПб.: БХВ-Петербург, 2000. -430 с.

- [193]. Золотых Н.Ю. Использование пакета Matlab в научной и учебной работе – Нижний Новгород: НИГУ, 2006, -165 с.
- [194]. Семенов, Н. Н. К теории процессов горения [Текст]: сообщ. 1 / Н.Н. Семенов. // Журн. Рус. физ.-хим. о-ва. – 1928. – Т. 60, № 3. – С. 247-250.
- [195]. Семенов, Н. Н. Цепные реакции [Текст] / Н.Н. Семенов. – 2-е изд. – Л.: ОНТИ - Госхимтехиздат, 1934. – 555 с.; М.: Наука, 1986. – 535 с.
- [196]. Семенов, Н. Н. Тепловая теория горения и взрывов [Текст] / Н.Н. Семенов // Успехи физ. наук. – 1940. – Т. 23, № 3. – С. 251-292.
- [197]. Франк-Каменецкий, Д. А. Распределение температур в реакционном сосуде и стационарная теория теплового взрыва [Текст] / Д.А. Франк-Каменецкий // Докл. АН СССР. – 1938. – Т.18, № 7. – С. 411-412.
- [198]. Франк-Каменецкий, Д. А. Распределение температур в реакционном сосуде и стационарная теория теплового взрыва [Текст] / Д.А. Франк-Каменецкий // Журн. физ. химии. – 1939. – Т. 13, № 6. – С. 738-755.
- [199]. Франк-Каменецкий, Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике [Текст] / Д.А. Франк-Каменецкий. – М.: Наука, 1967. – 491 с.
- [200]. Зельдович, Я. Б. К теории равномерного распространения пламени [Текст] / Я.Б. Зельдович, Д. А. Франк-Каменецкий // Журн. физ. химии. – 1938. – Т. 22, № 1. – С. 27-48.
- [201]. Зельдович, Я. Б. Теория предела распространения тихого пламени [Текст] / Я.Б. Зельдович // Журн. эксперим. и теорет. физики. – 1941. – Т. 11, вып. 1. – С. 159-169.
- [202]. Математическая теория горения и взрыва [Текст] / [Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблатт, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе]. – М.: Наука, 1980. – 478 с.
- [203]. Ландау, Л. Д. К теории медленного горения [Текст] / Л.Д. Ландау // Журн. эксперим. и теорет. физики. – 1944. – Т. 14, № 6. – С. 240-245.
- [204]. Ландау, Л. Д. Гидродинамика [Текст] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1986. – 733 с.

- [205]. Колмогоров, А. Н. Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием вещества, и его применение к одной биологической проблеме [Текст] / А.Н. Колмогоров, И.Г. Петровский, Н.С. Пискунов // Бюл. МГУ. Секция: «Математика и механика». – 1937. – Т.1. – С. 1-26.
- [206]. Горение нелинейной среды в виде сложных структур [Текст] / А.А. Самарский, Г.Г. Еленин, Н. В. Змитренко и др. // Докл. АН СССР. – 1977. – Т. 237, № 6. – С. 1330-1333.
- [207]. Сложные многомерные структуры горения нелинейной среды [Текст] / С.П. Курдюмов, Е.С. Куркина, А.Б. Потапов, А.А. Самарский // Журн. вычисл. математики и мат. физики. – 1986. – Т.26, № 8. – С.1189-1205.
- [208]. Еленин, Г. Г. Нестационарные диссипативные структуры в нелинейной теплопроводной среде [Текст] / Г.Г. Еленин, С.П. Курдюмов, А.А. Самарский // Журн. вычисл. математики и мат. физики. – 1983. – Т. 23, № 2. – С. 380-390.
- [209]. Мержанов, А. Г. К квазистационарной теории теплового взрыва [Текст] / А.Г. Мержанов // Докл. АН СССР. – 1961. – Т. 140, № 3. – С. 637-640.
- [210]. Мержанов, А. Г. Закономерности теплового взрыва в условиях нагрева с постоянной скоростью [Текст] / А.Г. Мержанов, А.Г. Струнина // Науч.-техн. проблемы горения и взрыва (Физика горения и взрыва). – 1965. – Т. 1, № 1. – С. 59-69.
- [211]. Тихонов, А. Н. Методы решения некорректных задач [Текст] / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
- [212]. Иванов, В. К. Теория линейных некорректных задач и ее приложения [Текст] / В.К. Иванов, В.В. Васин, В.П. Танана. – М.: Наука, 1978. – 206 с.
- [213]. Лаврентьев, М. М. О некоторых некорректных задачах математической физики [Текст] / М.М. Лаврентьев. – Новосибирск: СО АН СССР, 1962. – 93 с.

- [214]. Лаврентьев, М. М. Некорректные задачи математической физики и анализа [Текст] / М.М. Лаврентьев, В.Г. Романов, С.А. Шишатский. – М.: Наука, 1980. – 286 с.
- [215]. Джураев, Х. Ш. Об одном подходе к проблеме регуляризации задачи Коши для уравнения Эйлера-Пуассона-Дарбу [Текст] / Х.Ш. Джураев // Дифференц. уравнения. – 2007. – Т. 43, № 5. – С.721-725.
- [216]. Джураев, Х. Ш. Некорректно поставленные задачи математической физики [Текст]: моногр. / Х.Ш. Джураев. – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 156 с.
- [217]. Быстрой, Г. П. Термодинамика необратимых процессов в открытых системах [Текст] / Г.П. Быстрой. – Москва; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. – 264 с.
- [218]. Darrieus, G. Propagation d'un front de flamme [Text] / G. Darrieus. – Paris, 1946. – P. 15-16.
- [219]. Sivashinsky, G. I. Nonlinear analysis of hydrodynamic instability in laminar flames-i. derivation of basic equations [Text] / G.I. Sivashinsky // Acta Astronautica. – 1977. – Vol. 4, № 11. – P. 1177-1206.
- [220]. Маркштейн, Д. Г. Нестационарное распространение пламени [Текст] / Д.Г. Маркштейн, Г. Генош, А.А. Патнэм. – М.: Мир, 1968. – 437 с.
- [221]. Щелкин, К. И. Неустойчивость горения и детонации газов [Текст] / К.И. Щелкин // Успехи физ. наук. – 1965. – Т. 87, № 10. – С. 273-302.
- [222]. Гусак, Л. А. Исследование фронта нормального пламени [Текст] / Л.А. Гусак, Е.Н. Спринцина, К.И. Щёлкин // Физика горения и взрыва. – 1968. – Т. 4, № 3. – С. 358-366.
- [223]. Льюис, Б. Горение, пламя и взрывы в газах [Текст] / Б. Льюис, Г. Эльбе. – М.: Наука, 1968. – 592 с.
- [224]. Jomaas, G. Spiral waves in expanding hydrogen–air flames: Experiment and theory [Text] / G. Jomaas, J.K. Bechtold, C.K. Law // Proceedings of the Combustion Institute. – 2007. – Vol. 31, № 1. – P. 1039-1046.

- [225]. Clavin, P. Effects of molecular diffusion and of thermalexpansion on the structure and dynamics of premixed flames in turbulentflows of large scale and low intensity [Text] / P. Clavin, F.A. Williams // Journal of fluid mechanics. – 1982. – Vol. 116, № 1. – P. 251-282.
- [226]. Pelce, P. Influence of hydrodynamics and diffusion upon the stability limits of laminar premixed flames [Text] / P. Pelce, P. Clavin // Journal of Fluid Mechanics. –1982. – Vol. 124, № 1. – P. 219-237.
- [227]. Jackson, T. Effect of thermal expansion on the stability ofplane, freely propagating flames [Text] / T. Jackson, A. Kapila // Combustion Science and Technology. – 1984. – Vol. 41, № 3/4. – P. 191-201.
- [228]. Matalon, M. Flames as gasdynamic discontinuities [Text] / M. Matalon, B. Matkowsky // Journal of Fluid Mechanics. – 1982. – Vol. 124, no. 1. – P. 239-259.
- [229]. Liberman, M. A. Stability of aplanar flame front in the slow-combustion regime [Text] / M.A. Liberman, V.V. Bychkov // Physical Review E. – 1994. – Vol. 49, no. 1. – P. 445.
- [230]. Sivashinsky, G. I. Instabilities, pattern formation, and turbulence inflames [Text] / G.I. Sivashinsky // Annual Review of Fluid Mechanics. – 1983. – Vol. 15, no. 1. – P. 179-199.
- [231]. Clavin, P. Dynamic behavior of premixed flame fronts in laminar and turbulent flows [Text] / P. Clavin // Progress in Energy and Combustion Science. – 1985. – Vol. 11, no. 1. – P. 1-59.
- [232]. Bychkov, V. Dynamics and stability of premixedflames [Text] / V. Bychkov, M.A. Liberman // Physics reports. – 2000. – Vol. 325, no. 4. – P. 115-237.
- [233]. Rosen, J. B. Theory of laminar flame stability. i. analytic stability condition [Text] / J.B. Rosen // The Journal of Chemical Physics. – 1954. – Vol. 22, no. 4. – P. 733-742.
- [234]. Rosen, J. B. Theory of laminar flame stability. ii. general numerical methodand application to typical system [Text] / J.B. Rosen // The Journal of Chemical Physics. – 1954. – Vol. 22, no. 4. – P. 743-748.

- [235]. Rosen, J. B. Combustion wave stability and flammability limits [Text] / J.B. Rosen // The Journal of Chemical Physics. – 1954. – Vol. 22, no. 4. – P. 750-751.
- [236]. Zeldovich, Y. B. Theory of flame propagation [Text] / Y.B. Zeldovich, G.I. Barenblatt // Combustion and flame. – 1959. – Vol. 3. – P. 61-74.
- [237]. Van Dyke, M. Perturbation methods in fluid mechanics [Text] / M. Van Dyke. – New York: Academic Press, 1964. – 229 p.
- [238]. Bush, W. B. Asymptotic analysis of laminar flame propagation for general Lewis numbers [Text] / W.B. Bush, F.E. Fendell // Combustion Science and Technology. – 1970. – Vol. 1. – P. 421-428.
- [239]. Берман, В. С. Применение метода сращиваемых асимптотических разложений к расчету стационарного теплового распространения фронта экзотермической реакции в конденсированной среде [Текст] / В.С. Берман, Ю.С. Рязанцев // Прикладная механика и техн. физика. – 1972. – № 5. – С. 106-112.
- [240]. Joulin, G. Linear stability analysis of nonadiabatic flames: diffusional thermal model [Text] / G. Joulin, P. Clavin // Combustion and Flame. – 1979. – Vol. 35. – P. 139-153.
- [241]. Автоколебательное распространение фронта горения в гетерогенных конденсированных средах [Текст] / А.П. Алдушин, Т.М. Мартемьянова, А.Г. Мержанов и др. // Физика горения и взрыва. – 1973. – Т. 9, № 5. – С. 613-626.
- [242]. Шкадинский, К. Г. Распространение пульсирующего фронта экзотермической реакции в конденсированной фазе [Текст] / К.Г. Шкадинский, Б.И. Хайкин, А.Г. Мержанов // Физика горения и взрыва. – 1971. – Т. 9, № 5. – С. 613–626.
- [243]. Алдушин, А. П. О теплодиффузионной неустойчивости фронта горения / А.П. Алдушин, С.Г. Каспарян // Докл. АН СССР. – 1979. – Т. 244, № 1. – С. 67-70.

- [244]. Алдушин, А. П. Влияние тепловых потерь на устойчивость волн горения / А.П. Алдушин, С.Г. Каспарян // Физика горения и взрыва. – 1981. – Т. 17, № 2. – С. 74-77.
- [245]. Лоскутов, А. Ю. Основы теории сложных систем [Текст] / А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов. – Москва; Ижевск: Ин-т компьютерных исслед., 2007. – 620 с.
- [246]. Fisher, R. A. The Wave of Advantageous Genes [Text] / R.A. Fisher. – Ann. Eugenics. – 1937. – № 7. – P. 355-369.
- [247]. Блейхер, Г. А. Тепломассоперенос в твердом теле под действием ионных пучков заряженных частиц [Текст] / Г.А. Блейхер, В.П. Кривобоков, О.В. Пащенко. – Новосибирск: Наука, 1999. – 176 с.
- [248]. Баратов, А. Н. Горение-Пожар-Взрыв-Безопасность [Текст] / А.Н. Баратов. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 364 с.
- [249]. Барзыкин, В. В. Исследование теплового взрыва конденсированных систем в условиях слабого теплообмена с окружающей средой [Текст] / В.В. Барзыкин, А.Г. Мержанов // Журн. физ. химии. – 1964. – Т.38, №11. – С. 2640-2646.
- [250]. Киселев, Я. С. О едином подходе к рассмотрению вопросов тепло- и массообмена в задачах пожарной безопасности судов и других объектов транспортного комплекса [Текст] / Я.С. Киселев // Сб. науч. тр. ВНИИПО МВД РФ. – М., 1991. – С. 26-39.
- [251]. Маршалл, В. Основные опасности химических производств [Текст] / В. Маршалл. – М.: Мир. 1989. – 671с.
- [252]. Thomas, P. H. On the thermal conduction equation for selfheating materials with surface cooling [Text] / P.H. Thomas // Trans Faraday Soc. – 1956. – Т.54, № 421. – P. 833-839.
- [253]. Kinbara, T. A. Combustion and Flame [Text] / T.A. Kinbara, K. Akiht. – 1960. – Т.4, № 2. – P. 173-180.
- [254]. Киселев, Я. С. Физические модели горения в системе пожарной безопасности [Текст]: моногр. / Я.С. Киселев, О.А. Хорошилов, Ф.В.

Демехин; под общ. ред. В.С. Артамонова. –СПб.:СПб ун-т ГПС МЧС
Россия, 2009.–339 с.

- [255]. Наджмиддинов, А. М. Применение метода фазовой плоскости для краевых задач уравнений нелинейной стационарной теплопроводности [Текст] /А.М. Наджмиддинов // Вестн. Таджик. нац. ун-та. Сер. естеств. наук. – 2015. – № 1/2 (160). – С. 117-121.
- [256]. Джураев, Х. Ш. Стационарное распределение плотности теплового потока от температуры в конденсированных средах [Текст] / Х.Ш. Джураев, К. Комилов, А.М. Наджмиддинов // Молодёжный науч. вестн. Электрон. науч.-практ. журн. – 2016. – март. – № 3. – С. 3-9.
- [257]. Stefan, J. Ober die Theorien der Eisbildung, insbesondere über die Eisbildung in Polarmeere [Text] / J. Stefan // Sitzungsberichte der Kaiserlichen Academia Wiss., Wien., Math. Naturwiss. KI – 1890. – Vol. 98 (2a). – S. 956-973.
- [258]. Бургтраф, О. Р. Точное решение обратной задачи в теории теплопроводности и ее приложениях [Текст] / О.Р. Бургтраф // Тр. американ. о-ва инженеров-механиков. Сер. С. Теплопередачи. – 1964. – № 3. – С. 94-106.
- [259]. Langford, D. New analytical solutions of the one-dimensional for temperature are heat flow rate both prescribed at the same fixed boundary (with applications to the phase change problem) [Text] / D. Langford // Q. App. Math. – 1976. – No 24(4). P. 315-322.
- [260]. Зельдович, Я. Б. Элементы математической физики среда из невзаимодействующих частиц [Текст] /Я.Б. Зельдович, А.Д. Мышкис. – М.: Наука, 1973. – 242 с.
- [261]. Андронов, А. А. Теория колебаний [Текст] / А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин. – М.: Наука, 1981. – 568 с.
- [262]. Наймарк, Ю. И. Новый подход к численному исследованию конкретных динамических систем методами распознавания образов и статистического моделирования [Текст] / Ю.И. Наймарк, И.В.

- Котельников, Л.Г. Теклина // Проблемы нелинейной динамики. – 2010. – Т.18, № 2. – С. 3-14.
- [263]. Гришин, А. М. Типы решений одной нелинейной краевой задачи и их устойчивость [Текст] / А.М. Гришин // Теория функций и дифференциальные уравнения. – Саратов, 1966. – С. 44-51.
- [264]. Бостанджиян, С. А. Тепловое воспламенение кольцевого слоя и его гидродинамическая аналогия [Текст] / С.А. Бостанджиян // Физика горения и взрыва. – 1988. – Т. 24, № 4. – С. 10-19.
- [265]. Гайнутдинов, Р. Ш. Тепловой взрыв полого цилиндра при граничных условиях третьего рода [Текст] / Р.Ш. Гайнутдинов // Физика горения и взрыва. – 2004. – Т.40, № 2. – С. 29-32.
- [266]. Барзыкин, В. В. Краевая задача в теории теплового взрыва [Текст] / В.В. Барзыкин, А.Г. Мержанов // Докл. АН СССР. – 1958. – Т. 121, № 4. – С. 1271-1273.
- [267]. Na, T. Y. Computational method in engineering boundary value problems [Text] / T.Y. Na. – Michigan: Academic press, 1979. – 294 p.
- [268]. Фадеев, С. И. Нелинейные краевые задачи для систем обыкновенных дифференциальных уравнений на конечном отрезке [Текст] / С.И. Фадеев, В.В. Когай. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2008. – 106 с.
- [269]. Николис, Г. Самоорганизации и неравновесных системах [Текст]: пер. с англ. / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 308 с.
- [270]. Маркин, В. С. Теория возбудимых сред [Текст] / В.С. Маркин, В.Ф. Пастушенко, Ю.А. Чизмаджев. – М.: Наука, 1981. – 273 с.
- [271]. Махвиладзе, Г. М. Огненный шар при горении выбросов углеводородного топлива [Текст] / Г.М. Махвиладзе, Дж.П. Робертс, С.Е. Якуш // Физика горения и взрыва. – 1999. – Т. 35, № 3. – С. 17-19.
- [272]. Селезнев, В. Е. Численный анализ пожарной опасности магистральных газопроводов [Текст] / В.Е. Селезнев // Безопасность труда в пром-сти. – 2005. – № 6. – С.98-43.

- [273]. Самарский, А.А. Компьютеры и нелинейные явления: Информатика и современное естествознание [Текст] / авт. пред. А.А. Самарский. – М.: Наука, 1988. – 176 с.
- [274]. Бакшт, Ф.Г. Термозмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма [Текст] / Ф.Г. Бакшт, Г.А. Дюжев, А.М. Марцинковский и др.; под ред. Б.Я. Мойжеса, Г.Е. Пикуса. – М.: Наука, 1973. – 480 с.
- [275]. Бакшт, Ф. Г. Низковольтная дуга с накалимым катодом в парах цезия [Текст] / Ф.Г. Бакшт, В.Г. Юрьев // Журн. техн. физики. – 1976. – Т. 46, вып. 5. – С. 905-936.
- [276]. Бакшт, Ф. Г. Приэлектродные явления в низкотемпературной плазме [Текст]: обзор / Ф.Г. Бакшт, В.Г. Юрьев // Журн. техн. физики. – 1979. – Т. 49, вып. 5. – С. 905-944.
- [277]. Стаханов, И.П. Физические основы термозмиссионного преобразования энергии [Текст] / И.П. Стаханов, В.П. Пащенко, А.С. Степанов, Ю.К. Гуськов; под ред. И.П. Стаханова. – М.: Атомиздат, 1973. – 374 с.
- [278]. McCandless, R. J. Theory of thermionic converter volume phenomena [Text] / R.J. McCandless, D.R. Wilkins, S.L. Derby // IEEE Conf. Record of 1969 Thermion. Convers.Spes.Conf., Oct., 1969. – Carmel, California (USA), 1969. – P. 163-169.
- [279]. Зимин, В. П. Изображение и анализ граничных условий для уравнения теплопроводности на фазовых плоскостях [Текст] / В.П. Зимин // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2011. – Т. 318, № 4. – С. 29-33.
- [280]. Зимин, В. П. Развитие метода фазовой плоскости для анализа решений краевых задач [Текст] / В.П. Зимин // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2012. – Т. 321, № 2. – С.17-21.
- [281]. Полетика, Т.М. Локализация пластического течения в технических сплавах циркония [Текст] / Т.М. Полетика, Г.Н. Нариманова, С.В. Колосов, Л.Б. Зуев // Прикладная механика и техн. физика. – 2003. – Т. 44, № 2. – С. 132-142.

- [282]. Гремячкин, В. М. Гетерогенное горение частиц твердых топлив [Текст] / В.М. Гремячкин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Бамана, 2015. – 230 с.
- [283]. Андреев, И. А. Критические условия теплового взрыва для автокаталической реакции горения с учетом теплопередачи [Текст] / И.А. Андреев, В.А. Соболев // Вестн. СамГУ. – 1996. – Спец. вып. – С. 37-42.
- [284]. Кузнецов, Г. В. Математическое моделирование температурных полей в процессе вулканизации типичных кабельных изделий [Текст] / Г.В. Кузнецов, Е.В. Иванова // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2010. – Т. 316, № 4. – С. 38-41.
- [285]. Карпов, А. И. О формулировке термодинамического вариационного принципа для задачи о стационарном распространении пламени [Текст] / А.И. Карпов // Вестн. Удмурт. ун-та. Математика. Механика. Компьютер. науки. – 2008. – Вып. 3. – С. 61-68.
- [286]. Карпов, А. И. Метод локального потенциала для расчета стационарной скорости распространения пламени [Текст] / А.И. Карпов, А.В. Кудрин // Вестн. Удмурт. ун-та. Математика. Механика. Компьютер. науки. – 2010. – Вып. 4. – С. 87-94.
- [287]. Дородницын, В. А. Об инвариантных решениях уравнения нелинейной теплопроводности с источником [Текст] / В.А. Дородницын // Журн. вычисл. математики и мат. физики. – 1982. – Т.22, № 6. – С. 1393-1400.
- [288]. Тихонов, А.Н. Дифференциальные уравнения [Текст] / А.Н.Тихонов, А.Б. Васильева, А.Г. Свешников. – М.: Наука, 1985. – 232 с.
- [289]. Самарский, А. А. Теория разностных схем [Текст] / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
- [290]. Самарский, А. А. Вычислительная теплопередача [Текст] / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М.: Эдиторнал УРСС, 2003. – 784 с.
- [291]. Быкова, Е. Г. Двумерная неоднородная разностная схема повышенного порядка точности [Текст] / Е.Г. Быкова, В.В. Шайдуров //

- Вычислительные технологии РАН Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1997. – Т.2, № 5. – С. 12-25.
- [292]. Быкова, Е. Г. Неоднородная разностная схема четвертого порядка точности в области с гладкой границей [Текст] / Е.Г. Быкова, В.В. Шайдуров // Сиб. журн. вычисл. математики РАН Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1998. – Т.1, № 2. – С. 99-117.
- [293]. Гайнутдинов, Р. Ш. Тепловой взрыв полого цилиндра при граничных условиях третьего рода [Текст] / Р.Ш. Гайнутдинов // Физика горения и взрыва. – 2004. – Т. 40, № 2. – С. 29-32.
- [294]. Ведь, В.Е. Определение теплопроводности керамических материалов с помощью решения обратной задачи теплопроводности [Текст] / В.Е. Ведь, В.А. Иванов, С.Ф. Лушпенко, Ю.М. Мацевитый // Инж.-физ. журн. – 1991. – Т. 61, № 5. – С. 816-822.
- [295]. Селезнев, В. Е. Численный анализ пожарной опасности магистральных газопроводов [Текст] / В.Е. Селезнев // Безопасность труда в пром-сти. – 2005. – № 6. – С. 98-43.
- [296]. Байков, В. И. Теплофизика [Текст] / В.И. Байков, Н.В. Павлюкевич. – Мн.: Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Белоруси, 2013. – Т. 1: Термодинамика, стат. физика, физ. кинетика. – 400 с.
- [297]. Байков, В. И. Теплофизика [Текст] / В.И. Байков, Н.В. Павлюкевич. – Мн.: Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Белоруси, 2014. – Т. 2: Термодинамика, стат. физика, физ. кинетика. – 400 с.
- [298]. Алиев, Б. Разностный аналог метода прогонки для сингулярно-возмущенных обыкновенных дифференциальных уравнений четвертого порядка [Текст] / Б. Алиев, Г.Х. Джураева // Докл. АН Респ. Таджикистан. – 2013. – Т. 56, № 2. – С.107-112.
- [299]. Фадеев, С. И. Нелинейные краевые задачи для систем обыкновенных дифференциальных уравнений на конечном отрезке [Текст] / С.И. Фадеев, В.В. Когай. – Новосибирск: изд. НГУ, 2008. – 106 с.

- [300]. Джураев, Х. Ш. Распространение тепла в твердом теле при независимости источников от температуры, содержащих параметр [Текст] / Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддинов // Вестн. Тадж. нац. ун-та. Сер. естеств. наук. – 2012. – № 1(52). – С. 22-24.
- [301]. Джураев, Х. Ш. Продолженный плотность тепловой поток на поверхности почвы [Текст] / Х.Ш. Джураев, З.С. Норматов, А.М.Наджмиддинов // Материалы науч.-теорет. конф. проф.-преп. состава и студентов ТГНУ, посвящ. 1150-летию А. Рудаки, 24-25 апр. 2008 г. – Душанбе, 2008. – С. 48-50.
- [302]. Джураев, Х. Ш. Разностные схема для обыкновенные дифференциальные уравнения второго порядка с сингулярным точкам [Текст] / Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддинов // Математический ин-т им. В.А. Стеклова Рос. АН, Самар. гос. техн. ун-т, Четвертая Междунар. конф. “Мат. физика и ее приложения” 25.08-01.09.2014. – М., 2014. – С. 68-71.
- [303]. Джураев, Х. Ш. Математическое моделирование задач - единство теории и эксперимента [Текст] / Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддинов // Респ. конф. посвящ. 70-летию проф. Б. Алиева. Современные проблемы прикладной математики и информатики, ТНУ – механико-математика. – Душанбе, 2014. – С. 253-256.
- [304]. Джураев, Х. Ш. Разностная схема подгонки для обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с сингулярными точками [Текст] / Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддинов // Респ. конф. по ядерно-физ. методам, ТНУ – физ. фак. посвящ. 55-летию каф. ядерной физики. – Душанбе, 2014. – С. 168-171.
- [305]. Джураев, Х. Ш. Разностные схема для обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с сингулярными точками [Текст] / Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддинов // Инновации и инвестиции. – 2014. – № 5. – С. 181-183.

- [306]. Лобанов, И. Е. Точные аналитические решения нелинейной нестационарной обратной задачи теплопроводности для тел с низким коэффициентом теплопроводности одномерной геометрии [Текст] / И.Е. Лобанов // Альманах современной науки и образования. –2010.– № 8. – С. 56-68.
- [307]. Джураев, Х. Ш. Исследование зависимости стационарного распределение теплового потока от температуры в конденсированных средах [Текст] / Х.Ш. Джураев, К. Комилов, А.М. Наджмиддинов // Вестн. Тадж. нац. ун-та. Сер. естеств. наук. – 2016, № 1/1 (192). – С. 114-120.
- [308]. Наджмиддинов, А. М. Численное исследование зависимости стационарного распределения теплового потока от температуры в конденсированных средах [Текст] / А.М. Наджмиддинов, К. Шаршеев, У. Мамытбеков // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Современное состояние исследований в области физико-техн. проблем и материаловедения в Кырг. Респ.», посвящ. памяти акад. Нац. АН Кырг. Респ., лауреата Гос. премии Кырг. Респ. в области науки и техники, Директора Ин-та физики, Президента Нац. АН Ж.Ж. Жеенбаева. – 2016. – № 2. – С. 46-50.
- [309]. Наджмиддинов, А.М. Стационарное распространение тепла в плоской среде [Текст] / А.М. Наджмиддинов, К. Шаршеев, Д.С. Джураев, У. Мамытбеков // Наука новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2016. – № 12. – С. 3-7.
- [310]. Наджмиддинов, А.М. Стационарное распространение тепла в среде цилиндрической формы [Текст] / А.М. Наджмиддинов, К. Шаршеев, Х.Ш. Джураев, У. Мамытбеков] // Наука в современном мире: теория и практика. Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф.(Уфа, 29-30 сент. 2016 г.). –Уфа, 2016. –С. 99-103.

**ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ ДАРЁФТИ
ДАРАҶАИ ИЛМӢ ОИД БА МАЗМУНИ ДИССЕРТАТСИЯ**

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 с. ISBN-978-99975-0-816-4.

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

б) Мақолаҳои, ки дар маҷалаҳои тақризшавандаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президента Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр шудаанд

[М-3]. Начмиддиниён, А.М. Модели компютерии 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 статсионарии гармӣ дар муҳити шакли куравӣ ва натиҷаҳои таҳлилҳои компютерии он / А.М. Начмиддиниён //Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара. - 2024, №1-2(122), -С.222-228.

[М-5]. 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 Таджикского национального университет. Серия естественных наук. -2023. -№1. –С.83-93.

[М-6]. Наджмиддиниён, А.М. Модельное 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. Модельное представление аналитического решения зависимости стационарного состояния нелинейного распределения температуры в цилиндрических конденсированных средах /А.М. Наджмиддиниён // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. -2023 г. -№4. –С.54-63.

[М-8]. Наджмиддиниён, А.М. Модельное представление численного решения зависимости стационарных 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 / Подпoветная Ю.В. Наджмиддиниён А. М. Овсяницкая Л. Ю., Подпoветный 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 [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 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 автоматики и управления. ИАИТ НАН КР.-2017, № 2 (33). – С. 27-31. ISSN 1694-5050

[М-14]. Наджмиддиниён, А.М. Исследование зависимости стационарного распределение теплового потока от температуры в конденсированных средах [Текст]/ Х.Ш. Джураев, К. Комилов, А.М. Наджмиддинов // Вестник Таджикского национального университет. 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 университет. 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 университет. 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 научный-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.

[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]. 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.

[М-21]. Наджмиддинов, А.М. Точные аналитические решения нелинейной нестационарной обратной задачи теплопроводности [Текст] / А.М. Наджмиддинов // Конференсияи илмӣ-назариявӣи 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

[М-22]. Наджмиддинов, А.М. Распределение тепла в среде сферическом форме [Текст] / Джураев Х.Ш., А.М. Наджмиддинов // Конференсия чумхуриявӣи илмию амалӣ дар мавзӯи “Амсиласозии математикӣ ва компютери равандроҳи 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. 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 // 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. 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. Стационарное распределение 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. Модельное представление аналитического решения 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. Модельное представление 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.

ЗАМИМАИ 1.

Листинг - коди комплекси барномавӣ

// Барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимои
ғайрихаттии ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити конденсӣ

//-----

#include <vcl.h>

#pragma hdrstop

#include "Unit1.h"

//-----

#pragma package(smart_init)

#pragma resource ".dfm"*

*TForm1 *Form1;*

//-----

__fastcall TForm1::TForm1(TComponent Owner)*

: TForm(Owner)

{

}

//-----

*void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)*

{

StringGrid1->Cells[0][0]=" x";

StringGrid1->Cells[1][0]=" T";

StringGrid1->Cells[2][0]=" q";

}

//-----

*void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)*

```

{
float T0,q0,x0, T[100],q[100],x[100],fi,ly,et1,et2,h=0.1;
T0=StrToFloat(Edit1->Text);
q0=StrToFloat(Edit2->Text);
x0=StrToFloat(Edit3->Text);
ly=StrToFloat(Edit4->Text);
et1=StrToFloat(Edit5->Text);
et2=StrToFloat(Edit6->Text);
fi=StrToFloat(Edit7->Text);
T[0]=T0,q[0]=q0,x[0]=x0;
for(int i=0;i<=20; i++){
x[i+1]=x[i]+h;
T[i+1]=T[i]+h*(-q[i]/ly-et1*T[i]);
q[i+1]=q[i]+h*(fi*T[i]-et2*q[i]);
StringGrid1->Cells[0][i+1]=FloatToStr(x[i]);
StringGrid1->Cells[1][i+1]=FloatToStr(T[i]);
StringGrid1->Cells[2][i+1]=FloatToStr(q[i]);
Series1->AddXY(x[i],T[i]);
Series2->AddXY(x[i],q[i]);
}
}

//-----

// Барномаи компютери амсилаи дастгоҳии тақсимои ғайрихаттии
харорати маҷрои гармӣ дар муҳити шакли сатҳӣ

//-----

#include <vcl.h>

#pragma hdrstop

#include "Unit1.h"

//-----

```

```

#pragma package(smart_init)

#pragma resource "*.dfm"

TForm1 *Form1;

//-----

__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
    : TForm(Owner)
{
}

//-----

void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
{
    StringGrid1->Cells[0][0]=" x";
    StringGrid1->Cells[1][0]=" T";
    StringGrid1->Cells[2][0]=" q";
}

//-----

void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
    float T0,q0,x0, T[100],q[100],x[100],ly,fi,eps,h=0.1;
    T0=StrToFloat(Edit1->Text);
    q0=StrToFloat(Edit2->Text);
    x0=StrToFloat(Edit3->Text);
    eps=StrToFloat(Edit4->Text);
    ly=StrToFloat(Edit5->Text);
    fi=StrToFloat(Edit6->Text);

```

```

T[0]=T0,q[0]=q0,x[0]=x0;
for(int i=0;i<=20; i++){
x[i+1]=x[i]+h;
T[i+1]=T[i]+h*(-q[i]/ly+T[i]/(x[i]+eps));
q[i+1]=q[i]+h*(fi*T[i]-q[i]/(x[i]+eps));
StringGrid1->Cells[0][i+1]=FloatToStr(x[i]);
StringGrid1->Cells[1][i+1]=FloatToStr(T[i]);
StringGrid1->Cells[2][i+1]=FloatToStr(q[i]);
Series1->AddXY(x[i],T[i]);
Series2->AddXY(x[i],q[i]);
}
}

//-----

//Барномаи компютери амсилаи вобастагии дастгоҳи тақсимоти
ҳарорати маҷрои гармӣ дар муҳити цилиндриакл

//-----

#include <vcl.h>

#pragma hdrstop

#include "Unit1.h"

//-----

#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"

TForm1 *Form1;

//-----

__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)

```

```

        : TForm(Owner)

{
}

//-----

void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
{
    StringGrid1->Cells[0][0]=" x";
    StringGrid1->Cells[1][0]=" T";
    StringGrid1->Cells[2][0]=" q";
}

//-----

void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
    float T0,q0,x0, T[100],q[100],x[100],ly,fi,eps,h=0.1;
    T0=StrToFloat(Edit1->Text);
    q0=StrToFloat(Edit2->Text);
    x0=StrToFloat(Edit3->Text);
    eps=StrToFloat(Edit4->Text);
    ly=StrToFloat(Edit5->Text);
    fi=StrToFloat(Edit6->Text);
    T[0]=T0,q[0]=q0,x[0]=x0;
    for(int i=0;i<=20; i++){
        x[i+1]=x[i]+h;
        T[i+1]=T[i]+h*(-q[i]/ly);
        q[i+1]=q[i]+h*(fi*T[i]-q[i]/(x[i]+eps));
    }
}

```

```

StringGrid1->Cells[0][i+1]=FloatToStr(x[i]);
StringGrid1->Cells[1][i+1]=FloatToStr(T[i]);
StringGrid1->Cells[2][i+1]=FloatToStr(q[i]);
Series1->AddXY(x[i],T[i]);
Series2->AddXY(x[i],q[i]);
}
}

//-----

//Барномаи компютери амсилаи вобастагии тақсимои дастгоҳи ҳарорати аз
маҷрои гармӣ дар муҳити курашакл

//-----

#include <vcl.h>

#pragma hdrstop

#include "Unit1.h"

//-----

#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"

TForm1 *Form1;

//-----

__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
    : TForm(Owner)
{
}

//-----

void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
{

```

```

StringGrid1->Cells[0][0]=" x";
StringGrid1->Cells[1][0]=" T";
StringGrid1->Cells[2][0]=" q";
}

//-----

void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
float T0,q0,x0, T[100],q[100],x[100],ly,fi,eps,h=0.1;
T0=StrToFloat(Edit1->Text);
q0=StrToFloat(Edit2->Text);
x0=StrToFloat(Edit3->Text);
eps=StrToFloat(Edit4->Text);
ly=StrToFloat(Edit5->Text);
fi=StrToFloat(Edit6->Text);
T[0]=T0,q[0]=q0,x[0]=x0;
for(int i=0;i<=20; i++){
x[i+1]=x[i]+h;
T[i+1]=T[i]+h*(-q[i]/ly-1/((x[i]+eps)*(1-x[i]-eps)));
q[i+1]=q[i]+h*(fi*T[i]-((1-2*(x[i]+eps))/((x[i]+eps)*(1-x[i]-eps))))*q[i]);
StringGrid1->Cells[0][i+1]=FloatToStr(x[i]);
StringGrid1->Cells[1][i+1]=FloatToStr(T[i]);
StringGrid1->Cells[2][i+1]=FloatToStr(q[i]);
Series1->AddXY(x[i],T[i]);
Series2->AddXY(x[i],q[i]);
}

```



```

}

//-----

//БАРНОМАИ КОМПЮТЕРИИ СИСТЕМАИ ТАВОЗУНИ ГАРМИДИҲӢ

#include <iostream>

#include <vector>

using namespace std;

// Функсия барои ҳисобкунии ҳосилаи гармӣ

double derivative(double Tin, double Prad, double U, double A, double Tout,
double C) {

    return (Prad - U * A * (Tin - Tout)) / C;

}

// Методи Эйлер барои ҳисобкунии интегронӣ

double euler(double Tin, double Prad, double U, double A, double Tout, double C,
double dt) {

    double dT_dt = derivative(Tin, Prad, U, A, Tout, C);

    return Tin + dT_dt * dt;

}

// Методи Рунге-Кутта барои ҳисобкунии интегронӣ

double rungeKutta(double Tin, double Prad, double U, double A, double Tout,
double C, double dt) {

    double k1 = derivative(Tin, Prad, U, A, Tout, C);

    double k2 = derivative(Tin + k1 * dt / 2, Prad, U, A, Tout, C);

    double k3 = derivative(Tin + k2 * dt / 2, Prad, U, A, Tout, C);

    double k4 = derivative(Tin + k3 * dt, Prad, U, A, Tout, C);

    return Tin + (k1 + 2 * k2 + 2 * k3 + k4) * dt / 6;

```

```

}

int main() {

    // Параметрҳои система

    double Prad ; // Пуқувати радиатор, Вт

    double U ;    // коэффициент гармигузаронӣ, Вт/м2/°C

    double A;     // масоҳати девор ва тиреза, м2

    double C;    // гармигузарони ҳаво дар масоҳат, Дж/°C

    double Tout; // ҳарорати берунӣ, °C

    double Tin;  // ҳарорати ибтидоии дохили бино, °C

    // вақт

    double t_start;

    double t_end; // вақти моделироонӣ бо сония

    double dt;    // қадами вақт бо сония

    cout<<"Prad=";

    cin>>Prad;

    cout<<"U=";

    cin>>U;

    cout<<"A=";

    cin>>A;

    cout<<"C=";

    cin>>C;

    cout<<"Tout=";

    cin>>Tout;

    cout<<"Tin=";

    cin>>Tin;

```

```

cout<<"t_ibt=";

cin>>t_start;

cout<<"t_int=";

cin>>t_end;

cout<<"Qadam=";

cin>>dt;

// Ҳузоҳдориш натиҷа
vector<double> time;

vector<double> Tin_euler;

vector<double> Tin_rk4;

// Ҳалли ададӣ
for (double t = t_start; t <= t_end; t += dt) {

    time.push_back(t);

    Tin_euler.push_back(Tin);

    Tin_rk4.push_back(Tin);

    Tin = euler(Tin, Prad, U, A, Tout, C, dt); // Методи Эйлер

    // Tin = rungeKutta(Tin, Prad, U, A, Tout, C, dt); // Методи Рунге-Кутта

}

// Баровардани натиҷа
cout << "Time (s)\tTemperature (Euler)\tTemperature (RK4)" << endl;

for (size_t i = 0; i < time.size(); ++i) {

    cout << time[i] << "\t\t" << Tin_euler[i] << "\t\t" << Tin_rk4[i] << endl;

}

return 0;

}

```

ЗАМИМАИ 2.

«ТАСДИҚ МЕКУНАМ»
Директори Институти илмию
таҳқиқотии Донишгоҳи миллии
Тоҷикистон «...» ... с.2024
Раҷабзода С.И.

САНАД

онд ба татбиқи натиҷаҳои асосии илмии диссертатсияи доктории
Начмиддиниён Асадулло Мирзо дар мавзӯи «Таҳқиқи амсилавии
равандҳои ғайрихатии статсионари гармигузаронӣ дар муҳитҳои
конденсӣ» дар раванди озмоишҳои илмӣ

Бо санади мазкур тасдиқ менамоем, ки кори диссертатсионии
Начмиддиниён Асадулло Мирзо дар мавзӯи «Таҳқиқи амсилавии
равандҳои ғайрихатии статсионари гармигузаронӣ дар муҳитҳои
конденсӣ» барои дарёфти дараҷаи илмии доктори илмҳои физикаю
математика аз рӯйи ихтисоси 05.13.18 - «Амсиласозии математикӣ,
усулҳои адабӣ ва комплексҳои барномаҳо» анҷом дода шудааст, дар
озмоишгоҳи физикаи муҳитҳои конденсии ба номи профессор Б.Н.
Нарзуллоевии ИИТ ДМТ татбиқ гардидааст.

Муаммои сӯзиши маводи конденсатсияшуда дар чараёни офаридани
таҷхизоти гуногуни энергетикӣ таъиноти махсусе ба миён меояд, ки дар
онҳо ба сифати манбаи энергия сӯзишвори сахт, моеъ ё газмонанд
истифода бурда мешаванд.

Натиҷаҳои асосии илмии Начмиддиниён Асадулло Мирзо дар
раванди озмоишҳои илмӣ – таҳқиқотӣ ба таври васеъ истифода шуда,
барномаи сохтани он қолаби асосиро барои моделсозии тақсимооти
ғайрихатии ҳарорати чараёни гармӣ дар муҳити дучониба бо истифода
аз усули фарқҳои охиринок пешниҳод мекунад. Барнома ба мо имкон
медихад, ки шартҳои ибтидоӣ ва канориро дохил кунем, муодилаи
гармидиҳиро ҳал кунем ва натиҷаҳоро дар интерфейси графיקии C++
Builder бубинем. Имкониятҳои барномаро бо илова кардани шартҳои

канорӣ, беҳтар кардани усулҳои ададӣ ва васеъ кардани функсияҳои интерфейси корбар истифода кардан мумкин аст.

Дар чараёни ин кор барномаи дар забони C++ таҳия карда шудааст, ки барои ҳалли ададии муодилаи тавозуни гармии системаи гармидихӣ пешбинӣ шудааст. Барнома бо истифода аз усулҳои Эйлер ва Рунге-Кутта барои арзёбии динамикаи тағйирёбии ҳарорати хона бо мурури замон амалӣ карда мешавад. ки ба мо имкон медиҳанд, ки муодилаи тавозуни гармиро ба таври ададӣ ҳисоб кунем ва ҳамчун самтҳои минбаъдаи тадқиқот, оптимизатсияи барнома, баҳисобгирии равандҳои иловагии физикӣ, интихоби қадами мутобиқшавӣ аз рӯи вақт ва васеъ кардани функсияҳо барои баҳисобгирии сценарияҳои гуногун баррасӣ карда мешаванд.

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

Мудири озмоишгоҳи физикаи муҳитҳои
конденсии ба номи профессор

Б.Н. Нарзуллоев ИИТ ДМТ, н.и.ф.м.,  Содиков Ф.Ҳ.

Мудири шуъбаи илмҳои табиатшиносӣ,
дақиқ, фарматсевтӣ ва риёзӣ

 Акназарова Ш.И.

Мудири шуъбаи ҳуқуқ
ва кадрҳо

 Раҳматуллоева З.Ҳ.

«ТАСДИҚ МЕКУНАМ»

Директори Институти физикаю техникаи
ба номи С.У. Умарови Академияи миллии
илмҳои Тоҷикистон

« 09 » 06 с.2024


Зарифзода А.К.

САНАД

онд ба татбиқи натиҷаҳои асосии корҳои илмӣ-таҳқиқотии Начмиддиниён
Асадулло Мирзо дар самти амсиласозии математикии равандҳои сӯзиш ва
пахншавии гармӣ дар муҳитҳои гуногун

Яке аз самтҳои муҳими таҳқиқот ин дар доираи барномаҳои компютерӣ сохтани амсилаи математикии равандҳои пахншавии ғайрихаттии гармӣ дар муҳитҳои конденсӣ мебошад. Начмиддиниён А.М. дар асоси усулҳои ададӣ ва барномаҳои компютерӣ механизмҳои физикии равандҳои сӯзиш, шартҳои устувории онҳоро бо назардошти истифодаи таҷхизотҳои технология тавсиф намуда, нишон додааст, ки барои масъалаи мушаххас муодилаи гармигузарониро бо усули амсиласозӣ ҳал намуда, раванди физикиро пешгӯӣ намудан мумкин аст.

Дар таҳқиқот усули фарқҳои охиринок барои ҳолати дучониба истифода шудааст. Барои мисол кадамҳои таҳияи барномаро ба таври зайл овардан мумкин: сохтани лонҳои нав бо истифода аз забони барномасозии C++ Builder; ташкил намудани лонҳои нави Vel Forms Application ва илова намудани чузҳои; барои тасвири натиҷа илова намудан чузҳои зарурӣ ба монанди Tchart ва нишон додани тақсими ҳарорат дар раванд.

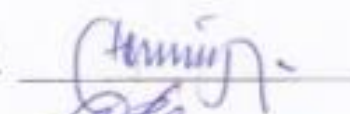
Натиҷаҳои ҳосилкардашуда имкон медиҳанд равандҳои мураккаб ва бисёрзинагии физикию химиявӣ, ки дар истеҳсолоти саноат муҳиманд тавсиф дода шаванд. Дар асоси усули пешниҳодгардида ҳалли муодилаи гармигузарониро ёфта онро барои шарҳ додани пахншавии ғайрихаттии ҳарорат дар муҳитҳои конденсӣ истифода бурдан мумкин аст.

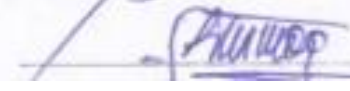
Мо имзокунандагон н.и.ф.-м., дотсент Начмиддиниён А.М., мудири лабораторияи электроникаи квантии Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови АМИТ, н.и.т. Нематов Д., сарҳодими илмӣ лабораторияи спектроскопияи молекулавӣ Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови АМИТ, д.и.к. Сафаров А.Ғ. санади татбиқро дар он хусус тартиб додем, ки бастаҳои барномавии муаллиф Начмиддиниён А.М. дар рафти таҳқиқотҳо дар Институт татбиқ гардидаанд.

Начмиддиниён А.М.

Сафаров А.Ғ.

Нематов Д.







«ТАСДИҚ МЕКУНАМ»
Директори Муассисаи «Шабакани
гармидиҳандаи шаҳри Душанбе»

« 5 » 03 с.2024

Ёров А.З.

САНАД

онд ба татбиқи натиҷаҳои асосии илмӣ диссертатсияи доктории
Наҷмиддиниён Асадулло Мирзо дар мавзӯи «Таҳқиқи амсилавии
равандҳои ғайрихаттии статсионари гармигузаронӣ дар муҳитҳои
конденсӣ» дар истеҳсолот

Бо санади мазкур тасдиқ менамоем, ки кори диссертатсионии
Наҷмиддиниён Асадулло Мирзо дар мавзӯи «Таҳқиқи амсилавии
равандҳои ғайрихаттии статсионари гармигузаронӣ дар муҳитҳои
конденсӣ» барои дарёфти дараҷаи илмӣ доктори илмҳои физикаю
математика аз рӯи ихтисоси 05-13-18 - «Амсиласозии математикӣ,
усулҳои ададӣ ва комплексҳои барномаҳо» анҷом дода шудааст.
Барнома дар раванди таълим дар ихтисоси 700402-01 «Системаҳои
таъмини газугарми ва ҳавотозакунӣ» кафедраи «Системаҳои таъмини об,
газугарми ва ҳавотозакунӣ» – ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ дар
раванди таълим ва дар «Муассисаи давлатии Маркази барқу
гармидиҳӣ»-и шаҳри Душанбе татбиқ гардидааст.

Наҷмиддиниён Асадулло Мирзо бо мутахассисони соҳаи гармидиҳӣ
дар кафедраи «Системаҳои таъмини об, газугарми ва ҳавотозакунӣ» н.и.т.,
дотсент Хучаев П.С., н.и.т., муовини директори МШГД Акрамҷонзода
А.А., дотсент Холмуратов Т.Р. бо сохтани барномаи компютерӣ дар
забони барномасозии C++ Builder барои моделсозии вобастагии дастгоҳ
аз тақсимооти ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ
усулҳои ададиро барои ҳалли муодилаҳои гармидиҳӣ дар раванди таълим
истифода намудаанд. Дар ин татбиқ усули фарқҳои охиринок барои
ҳолати дуҷонибаи истифода мешавад.

Барномаи компютерии модели вобастагии дастгоҳи тақсимои ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ дар забони барномасозии C++ Builder, барои модели намунаи гармидиҳӣ дар муҳити конденсӣ бо назардошти вобастагии ғайрихаттии гармидиҳӣ аз ҳарорат таҳия карда шудааст.

Дар маҷмӯъ, барномаи сохташуда асбоберо барои таҳлили комплексии равандҳои гармӣ ва оптимизатсияи дастгоҳҳои дар ҷунин шароит коркардашуда пешниҳод мекунад, ки дар раванди баҳисобгирӣ миқдори гармигузаронӣ ҳеле муфид мебошад ва аз ин барнома дар раванди таълим дар ихтисоси 1-700402-01 “Системаҳои таъмини газугармӣ ва ҳавотозакунӣ” ва раванди истеҳсолот дар “Маркази барқӣ гармидиҳӣ”-и шаҳри Душанбе ҳеле васеъ истифода менамоянд. Истифодаи ин барнома гувоҳи татбиқи илм дар истеҳсолот буда, барои саноатикунони босуръати мамлакат нақши босазое дорад.

Хулоса, барномаҳои компютерӣ, ки барои амсиласозии вобастагии дастгоҳ аз тақсимои ғайрихаттии ҳарорати ҷараёни гармӣ дар муҳити конденсӣ таҳия шудааст, дар таҳқиқоти илмӣ ва муҳандисӣ нақши муҳим доранд. Онҳо ба мо имкон медиҳанд, ки равандҳои гармиро дар системаҳои гуногун, аз қабيلي электроника, энергетика, саноат ва системаҳои гармитаъминкунӣ таҳлил ва пешгӯӣ кунем.

Муовини директори Муассисаи

“Шабакани гармидиҳандаи

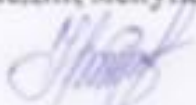
шаҳри Душанбе”



Акрамҷонзода А.А

Имзои А.А. Акрамҷонзода тасдиқ мекунам.

Сардори шуъбаи кадрҳо



Назарова З.А