

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI PEDAGOG KADRLARNI QAYTA  
TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI  
OSHIRISH TARMOQ MARKAZI**



**TEXNOLOGIK JARAYONLAR VA  
ISHLAB CHIQRISHNI  
AVTOMATLASHTIRISH VA  
BOSHQARISH**

**TEXNOLOGIK JARAYONLARNI  
MODELLASHTIRISH VA  
OPTIMALLASHTIRISH ASOSLARI**

Mazkur o‘quv –uslubiy majmua Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligining 2020 yil 7 dekabrda 648-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv dastur asosida tayyorlandi.

**Tuzuvchilar:** Muxitdinov D.P. - ToshDTU, “Ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish” kafedrasida professori  
**Taqrizchi:** TATU, t.f.d. professor I.Siddiqov

O‘quv–uslubiy majmua Toshkent davlat texnika universiteti Kengashining 2020-yil 18-dekabrda 4 sonli yig‘ilishida ko‘rib chiqilib, foydalanishga tavsiya etildi.

## MUNDARIJA

<b><u>I. ISHCHI DASTUR</u></b> .....	<b>4</b>
<b><u>II. MODULNI YO'QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA'LIM METODLARI</u></b> .....	<b>11</b>
<b><u>III. NAZARIY MATERIALLAR</u></b> .....	<b>14</b>
<b><u>IV. AMALIY MASHG'ULOT MATERIALLARI</u></b> .....	<b>132</b>
<b><u>V. KEYSLAR BANKI</u></b> .....	<b>164</b>
<b><u>VI. GLOSSARIY</u></b> .....	<b>166</b>
<b><u>VII. FOYDALANGAN ADABIYOTLAR</u></b> .....	<b>172</b>

## I ISHCHI DASTUR

## **Kirish**

Dastur O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015 yil 12 iyundagi "Oliy ta'lim muassasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi PF-4732-sonli, 2017 yil 7 fevraldagi "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida"gi PF-4947-sonli, 2019 yil 27 avgustdagi "Oliy ta'lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to'g'risida"gi PF-5789-sonli Farmonlari, shuningdek 2017 yil 20 apreldagi "Oliy ta'lim tizimini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-2909-sonli Qarorida belgilangan ustuvor vazifalar mazmunidan kelib chiqqan xolda tuzilgan bo'lib, u zamonaviy talablar asosida qayta tayyorlash va malaka oshirish jarayonlarining mazmunini takomillashtirish xamda oliy ta'lim muassasalari pedagog kadrlarining kasbiy kompetentligini muntazam oshirib borishni maqsad qiladi.

Ushbu ishchi o'quv dasturda axborot-kommunikatsiya texnologiyalari davrida «Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari» fani dolzarbligi, ishlab chiqarish jarayonida qo'llanilish muammolari va ularni hal etish yo'llarini o'rganish bo'yicha muammolar bayon etilgan.

### **Modulning maqsadi va vazifalari**

Oliy ta'lim muassasalari pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va ularning malakasini oshirish kursining **maqsadi** pedagog kadrlarning innovatsion yondoshuvlar asosida o'quv-tarbiyaviy jarayonlarni yuksak ilmiy-metodik darajada loyihalashtirish, sohadagi ilg'or tajribalar, zamonaviy bilim va malakalarni o'zlashtirish va amaliyotga joriy etishlari uchun zarur bo'ladigan kasbiy bilim, ko'nikma va malakalarini takomillashtirish, shuningdek ularning ijodiy faolligini rivojlantirishdan iborat.

### **Modulning vazifalari:**

-«Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari» modulida pedagog kadrlarning kasbiy bilim, ko'nikma, malakalarini takomillashtirish va rivojlantirish;

-pedagoglarning ijodiy-innovatsion faollik darajasini oshirish;

-maxsus fanlar sohasidagi o‘qitishning innovatsion texnologiyalari va ilg‘or xorijiy tajribalarini o‘zlashtirish;

- “Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish” yo‘nalishida qayta tayyorlash va malaka oshirish jarayonlarini fan va ishlab chiqarishdagi innovatsiyalar bilan o‘zaro integratsiyasini ta‘minlash.

### **Modul bo‘yicha tinglovchilarning bilimi, ko‘nikmasi, malakasi va kompetentsiyalariga qo‘yiladigan talablar**

“Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari” kursini o‘zlashtirish jarayonida amalga oshiriladigan masalalar doirasida:

#### ***Tinglovchi:***

- texnologik jarayonlarni modellashtirishning asosiy muammolari;
- texnologik jarayonlarni modellashtirishning rivojlanish tendentsiyasi;
- texnologik jarayonlarni modellashtirish, kompyuter texnikasi orqali boshqarish, fan, texnika va texnologiya eng so‘nggi;
- texnologik jarayonlarni matematik modellashtirish va model orqali jarayonlarni boshqarish usullarini;
- matematik model (MM) larni tuzishning umumiy tamoyillarini;
- texnologik jarayonlarni tuzilgan modellari asosida asosiy parametrlarning qiymatlari va jarayon borishining optimal rejalarini aniqlashni;
- texnologik jarayonlarni identifikatsiyalash va modellashtirish usullarini ***bilimlarga ega bo‘lishi***;

#### ***Tinglovchi:***

- EHM da texnologik ob‘ektlar va ularni boshqarish tizimlarini identifikatsiyalash va modellashtirish masalalari yechish;
- tipik texnologik jarayonlarning statik va dinamik modellarini tuzish;

- ob’ektlar va boshqarish sistemalarini tavsiflash uchun qo‘llaniladigan modellarning asosiy turlarini, ular orasidagi o‘zaro aloqani, kuzatilish va identifikatsiyalanish xossalari;
- texnologik jarayonlar uchun optimal sharoitlarni aniqlash va ularni amaliyotda qo‘llay olish;
- ob’ektlar va boshqarish sistemalari modellarining parametrik va noparametrik identifikatsiyalash usullari va algoritmlarini bilishi va ulardan foydalana olishi;
- baholash masalalarida qo‘llaniladigan optimallashtirishning asosiy me’zonlarini hisoblash;
- chiziqli va nochiziqli dinamik sistemalar holatini baxolashning usullari va algoritmlarini hisoblash *ko‘nikma va malakalarini egallashi*;
- ***Tinglovchi:***
  - dinamik jarayonlarni matematik ifodalash;
  - xolat parametrlari fazosi unumidan foydalanish;
  - boshqaruv ob’ektlarning dinamik modellarini ko‘rish ;
  - raqamli boshqaruv algoritmlari;
  - texnologik jarayonlarni neyro-noqat’iy texnologiyalarga asoslangan usullarda modellashtirish;
  - immitatsion modellashtirish usulari va dasturlarida ishlash;

### **Modulni tashkil etish va o‘tkazish bo‘yicha tavsiyalar**

«Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari» moduli ma’ruza va amaliy mashfulotlar shaklida olib boriladi.

Kursni o‘qitish jarayonida ta’limning zamonaviy metodlari, pedagogik texnologiyalar va axborot-kommunikatsiya texnologiyalari qo‘llanilishi nazarda tutilgan:

- ma’ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida prezentatsion va elektron-didaktik texnologiyalardan;

– o‘tkaziladigan amaliy mashg‘ulotlarda texnik vositalardan, ekspress-so‘rovlar, test so‘rovlari, aqliy xujum, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, kollokvium o‘tkazish, va boshqa interaktiv ta‘lim usullarini qo‘llash nazarda tutiladi.

### **Modulning o‘quv rejadagi boshqa modullar bilan bog‘liqligi va uzviyligi**

«Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari» moduli o‘quv rejaning maxsus fanlar blokidagi “Avtomatik boshqarish nazariyasi”, “Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish” fanlari bilan uzviy bog‘liqdir. Shu bilan bir qatorda modulni o‘zlashtirishda o‘quv rejaning boshqa bloklari fanlari bilan muayyan bog‘liqlik mavjuddir.

### **Modulning oliy ta‘limdagi o‘rni**

O‘zbekiston Respublikasining rivojlanishida «Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari» fanining o‘rni yuqori darajada bo‘lib, ishlab chiqarishni zamonaviy qurilmalar hisobiga rivojlantirish, avtomatik boshqarish tizimlarni uzatish vazifalari, avtomatik boshqarish tizimlarning uzluksiz sifat tahlili o‘ta dolzarb masala hisoblanadi. Ushbu muammoni hal etishda birinchi navbatdagi vazifa zamonaviy talablarga javob beruvchi mutaxassislarni tayyorlash hisoblanadi. Shu sababli bunday mutaxassislarni tayyorlash uchun ushbu soha bo‘yicha ta‘lim beruvchi oliy ta‘lim tizimi o‘qituvchilarining malakasini oshirishda «Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari» fani alohida o‘rinni egallaydi.

## Modul bo'yicha soatlar taqsimoti

№	Modul mavzulari	Tinglovchining o'quv yuklamasi, soat			
		Jami	Nazariy	Amaliy mashg'ulot	Ko'chma mashg'ulot
1.	Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslarining tarixi va rivojlanish tendentsiyalari.	2	2	-	-
2.	Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash	8	2	4	2
3.	Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari	6	2	2	2
4.	Kimyoviy texnologiya tipik apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish	4	2	2	-
	<b>Jami:</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>4</b>

### NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

#### **1-mavzu: Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslarining tarixi va rivojlanish tendentsiyalari.**

Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslarining tarixi va rivojlanish tendentsiyalari. Sanoat korxonalarida ishlatiladigan kompyuterli modellashtirish va optimallashtirish asoslari to'g'risida umumiy ma'lumot. Tizimlarni modellashtirish turlarining klassifikatsiyasi. Kimyoviy-texnologik jarayonlarni tizimli tahlil qilish.

#### **2-mavzu: Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash.**

Kimyoviy-texnologik jarayonlarni kompyuterli modellashtirish printsiplari. Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash Ideal aralashuv gidrodinamik modeli bilan ifodalanuvchi jarayonlarning dinamik va statik rejimlari matematik ifodalari. Ideal o'rin almashinuv gidrodinamik modeli bilan ifodalanuvchi jarayonlarning dinamik va statik rejimlari



matematik ifodalari. Bir va ikki parametrli diffuzion modeli bilan ifodalanuvchi jarayonlarning dinamik va statik rejimlari matematik ifodalari.

### **3-mavzu: Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallaik mezonlari.**

Maqsad funksiyasi va uning xossalari. Optimallashtirish masalalari. Optimallashtiriladigan o'zgaruvchilarning tavsifi. Optimallashtirish masalalarini yechish usullari. Ko'p mezonli masalalar, kom-promiss (kelishuv) sxemalari. Minimaks masalalari. Adolatli kompromiss. Maqsadli funksiyalarni hosila-sini hisoblash. Relaksatsiya usuli. Optimal shartlarni axtarish usullari. Tasodifiy izlash usuli. Ekstremumga keskin ko'tarilish usuli bilan yaqin-lashish. Deyarli statsionar sohadagi ekstremumning holatini aniqlash.

### **4-mavzu: Kimyoviy texnologiya tipik apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish.**

Issiqlik almashish apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish. Rekuperativ issiqlik almashish apparatlarining ishlashini modellashtirish. Issiqlik almashish apparatlarini hisoblash va algoritmlashtirish. Quvurli reaktorlarni hisoblash va algoritmlashtirish. Tarelkali kolonnalardagi ko'p komponentli uzlyuksiz rektifikatsiya jarayonini kompyuterli modellashtirish, hisoblash va algoritmlashtirish

## **AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI**

### **1-amaliy mashg'ulot: Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash**

Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash buyicha masalalar yechish.

### **2-amaliy mashg'ulot: Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallaik mezonlari**

Optimallashtirish masalasining qo'yilishi. Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari. Optimallashtirish masalalarini shakllantirish va matematik ifodalash buyicha masalalar yechish.

### **3-amaliy mashg'ulot: Kimyoviy texnologiya tipik apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish**

Texnologik jarayonlarni empirik statik modellarini qurish buyicha masalalari yechish.

## **KO'CHMA MASHG'ULOTLAR MAZMUNI**

**1-maruza: Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash**

**2-ma'ruza: Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari**

Ko'chma mashg'ulot "Ximavtomatik OJ" tashkil etish ko'zda tutilgan. U yerda kimyoviy texnologik jarayonlarni Honeywell o'quv trening markazida modellashtirishni o'rganish va kimyoviy texnologik jarayonlarni Siemens o'quv trening markazida modellashtirish va optimallashtirishni o'rganish nazarda tutilgan..

### **Ta'limni tashkil etish shakllari**

Ta'limni tashkil etish shakllari aniq o'quv materialini mazmuni ustida ishlayotganda o'qituvchini tinglovchilar bilan o'zaro harakatini tartiblashtirishni, yo'lga qo'yishni, tizimga keltirishni nazarda tutadi.

Modulni o'qitish jarayonida quyidagi ta'limning tashkil etish shakllaridan foydalaniladi:

- ma'ruza;
- amaliy mashg'ulot;
- mustaqil ta'lim.

O'quv ishini tashkil etish usuliga ko'ra:

- jamoaviy;
- guruhli (kichik guruhlarda, juftlikda);
- yakka tartibda.

**Jamoaviy ishlash** – Bunda o'qituvchi guruhlarning bilish faoliyatiga rahbarlik qilib, o'quv maqsadiga erishish uchun o'zi belgilaydigan didaktik va tarbiyaviy vazifalarga erishish uchun xilma-xil metodlardan foydalanadi.

**Guruhlarda ishlash** – bu o‘quv topshirig‘ini xamkorlikda bajarish uchun tashkil etilgan, o‘quv jarayonida kichik guruxlarda ishlashda (2 tadan – 8 tagacha ishtirokchi) faol rol o‘ynaydigan ishtirokchilarga qaratilgan ta’limni tashkil etish shaklidir. O‘qitish metodiga ko‘ra guruhni kichik guruhlarga, juftliklarga va guruhlarora shaklga bo‘lish mumkin. *Bir turdagi guruhli ish* o‘quv guruhlari uchun bir turdagi topshiriq bajarishni nazarda tutadi. *Tabaqalashgan guruhli ish* guruhlarda turli topshiriqlarni bajarishni nazarda tutadi.

**Yakka tartibdagi shaklda** - har bir ta’lim oluvchiga alohida- alohida mustaqil vazifalar beriladi, vazifaning bajarilishi nazorat qilinadi.

## II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA’LIM METODLARI

### **Blits–so‘rov metodi**

“Blits-so‘rov” (ing. “blits” –tezkor, bir zumda) metodi

### **Blits–so‘rov metodi**

“Blits-so‘rov” (ing. “blits” –tezkor, bir zumda) metodi berilgan savollarga qisqa, aniq va lo‘nda javob qaytarilishini taqozo etadigan metod sanaladi. Ta’lim muassasalarida ushbu metodga muvofiq savollar, asosan, o‘qituvchi tomonidan beriladi. Berilgan savollarga javoblar jamoaviy, guruhli, juftlik yoki individual tarzda qaytarilishi mumkin. Javob qaytarish shakli mashg‘ulot turi, o‘rganilayotgan mavzuning murakkabligi, talabalarning qamrab olinishiga ko‘ra belgilanadi.

Metodni qo‘llashda mavzuga doir tayanch so‘zlar va tushunchalar, asosiy g‘oyalarning mohiyati talabalar tomonidan og‘zaki, yozma yoki tasvir (jadval, diagramma) tarzida yoritilishi mumkin.

### **Mavzuga qo‘llanilishi:**

“Blits” so‘rov metodini qo‘llashda tingovchilarga qo‘yidagi savollar berildi?

1. Xayoliy modellashtirish nima?
2. Ko‘rgazmali modellashtirish nima?
3. Analogli modellashtirish nima?
4. Tilli modellashtirish nima?

5. Matematik modellashtirish nima?
6. Imitatsion modellashtirish nima?
7. Kombinatsiyalangan modellashtirish nima?
8. Real modellashtirish nima?
9. Shaxsiy kompyuterda tizimlarni modellashtirishning imkoniyatlari va samaradorligi.
10. Mashinali tajriba qanday rejalashtiriladi?
11. Ish hisoblarini o‘tkazish tartibi.

### **“5 DAQIQALI ESSE” METODI**

Esse metodi - fransuzcha tajriba, dastlabki loyiha, shaxsning biror mavzuga oid yozma ravishda ifodalangan dastlabki mustaqil erkin fikri. Bunda talaba o‘zining mavzu bo‘yicha taassurotlari, g‘oyasi va qarashlarini erkin tarzda bayon qiladi. Esse yozishda hayolga kelgan dastlabki fikrlarni zudlik bilan qog‘ozga tushirish, iloji boricha ruchkani qog‘ozdan uzmasdan - to‘xtamasdan yozish, so‘ngra matnni qayta tahlil qilib, takomillashtirish tavsiya etiladi. Mana shundagina yozilgan essening haqqoniy bo‘lishi e‘tirof etilgan. Esseni muayyan mavzu, tayanch tushuncha yoki erkin mavzuga bag‘ishlab yozish maqsadga muvofik. Ba‘zan, ayniqsa tarbiyaviy soatlarda ta‘lim oluvchilarga o‘zlariga yoqqan mavzu buyicha esse yozdirish ham yaxshi natija beradi.

- **Metodning mavzuga qo‘llanilishi:**

“-«Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari» ” modulio‘tilib bulgandan keyin tinlovchilarning bilimlarini mustahkamlash maqsadida 5 daqiqali esse yozish vazifasi berladi.

Vazifalarni bajarib bulganidan keyin har bir tinglovchi yozgan savollarini o‘qiydi va shu savolga guruxdagilar javobini aytadi. Shu tariq xar-bir berilgan savollarga javob olinadi.

### **III. NAZARIY MATERIALLAR**

#### **1-mavzu. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslarining tarixi va rivojlanish tendensiyalari.**

##### **Reja:**

- 1.1. Matematik modellashtirish
- 1.2. Modellashtirish tizimlari turlarining tasnifi
- 1.3. Shaxsiy kompyuterlarda tizimlarni modellashtirish imkoniyatlari va samaradorligi

##### **1.1. Matematik modellashtirish**

Kimyoviy texnologiyalarning jarayonlari – bu murakkab fizikaviy - kimyoviy tizimlar, ular ikki xil determinantli – stoxastik tabiatga hamda fa'zo va vaqtda o'zgaruvchi qiymatlarga egadir. Ularda qatnashuvchi moddaning oqimlari quyidagidek: ko'p fazali va ko'p komponentlidir. Fazaning har bir nuqtasida va fazalar chegarasida jarayon o'tish davrida impuls, energiya va massaning eltuvshi vazifasini bajaradi. Umuman butun jarayon konkret geometrik xarakteristikaga ega bo'lgan apparatda bo'lib o'tadi. O'z navbatida, bu xarakteristikalar jarayonning o'tish xarakteriga ta'sir etadi.

Kimyo-texnologik jarayonlarning muhim xossasi shundan iboratki, hodisalarni tashkil etuvchi majmui determinantli-stoxastik tabiatga egadir. Buning tabiati apparatdagi modda - issiqlik o'tkazish va kimyoviy o'zgarishlarga gidrodinamik muhitning stoxastik xossalarini qoplashida ayon bo'ladi. Bu fazalar komponentlarini tashkil etuvchilarining tasodifiy o'zaro ta'sirlashishi (zarrachalar to'qnashishi, ularni maydalanishi, koalesensiyasi, apparat hajmi bo'yicha tasodifiy tarqalishi bilan) yoki apparatdagi geometriya xarakterini chegaraviy shartlari (tartibsiz yotqizilgan nasadka elementlarining tasodifiy joylashishi, katalizatorning donalari, siljuvchi muhitlar fazalararo chegarasining ishlab chiqaruvchi orientatsiyasi va sh.o.) bilan izohlanadi.

Shunga o'xshash turli tizimlar va komponentlarning tashkil etuvchilarini o'ta murakkab o'zaro ta'sirlashishi bilan xarakterlanadi, buning natijasida ularni klassik determinantlangan moddani olib o'tish va saqlash qonunlar pozitsiyasidan o'rganish imkoni yo'q.

Kimyoviy-texnologik jarayonlarni qanday o'rganish mumkin? Bu muammoni yechish kalitini matematik modellash usuli beradi. Bu usul tizimli tahlil strategiyasiga asoslanadi. Bu strategiyaning mohiyati – jarayonni murakkab o'zaro ta'sirlanuvchi ierarxik tizim deb, uning strukturasi sifatli tahlillab, matematik ifodasini ishlab chiqish va noma'lum parametrlarini baholashdan iboratdir. Masalan, yaxlit suyuq muhitda zarralar, tomchilar yoki gaz pufakchalar ansamblini harakatlanish jarayonida paydo bo'layotgan hodisalar qaralganda, samaralar ierarxiasining beshta sathi ajratiladi:

- 1) atomar-molekular sathdagi hodisalar majmui;
- 2) molekular tashqi yoki globulyar strukturalar masshtabdagi samaralar;
- 3) fazalararo energiya va modda olib o'tish hodisalari va kimyoviy reaksiyalarni inobatga oladigan, dispersli fazani birlik ulanish harakatiga bog'liq bo'lgan ko'p fizikaviy-kimyoviy hodisalar to'plami;
- 4) yaxlit fazada ko'chib yuradigan aralashmalar ansamblidagi fizik-kimyoviy jarayonlar;
- 5) apparat masshtabida makrohidrodinamik muhitni aniqlaydigan jarayonlar majmui. Bunday yondashuv butun jarayonning hodisalari va ular orasidagi bog'lanishlar to'plamini to'la o'rnatishga imkon beradi.

Matematik model orqali obyektning xossalarini o'rganish matematik modellash deb tushuniladi. Jarayon o'tishi optimal sharoitlarini aniqlash, matematik model asosida uni boshqarish va obyektga natijalarini olib o'tish uning maqsadidir.

Matematik model tushunchasi matematik modellash usulining asosiy tushunchasidir. *Matematik model* deb matematik belgilash yordamida ifodalanuvchi, qandaydir hodisa yoki tashqi dunyo jarayonini taxminiy tavsifiga aytiladi.

Matematik modellash o'ziga uchta o'zaro bog'langan bosqichlarni qamrab oladi:

- 1) o'rganilayotgan obyektning matematik tavsifini tuzish;
- 2) matematik tavsifi tenglamalar tizimini yechish usulini tanlash va modellashtiruvchi dastur shaklida uni joriy qilish;
- 3) modelning obyektga monandligi (adekvatligi)ni aniqlash.

Matematik tavsifni tuzish bosqichida obyektga asosiy hodisa va elementlari avval ajratib olinadi va keyin ular orasidagi aloqalar aniqlanadi. Har bir ajratib olingan

element va hodisa uchun uning funksiyalanishini aks ettiradigan tenglama (yoki tenglamalar tizimi) yoziladi. Bundan tashqari, matematik tavsifiga turli ajratib olingan hodisalar orasiga aloqa tenglamalari kiritiladi. Jarayon nisbatiga qarab matematik tavsif algebraik, differensial, integral va integro-differensial tenglamalar sistemasi ko‘rinishida ifoda etilishi mumkin.

Yechim usulini tanlash va modellashtiradigan dasturni ishlab chiqish bosqichi mavjud usullar ichidan eng samarali (samarali deganda yechimning tezligi va aniqligi nazarda tutiladi) yechim usulini tanlash nazarda tutiladi va avval yechim algoritmi shaklida, keyin esa - uni EHMda hisoblashga yaroqli dastur shaklida amalga oshiriladi.

Fizik tushunchalar asosida qurilgan model modellashtirilayotgan jarayon xossalarini to‘g‘ri sifatli va miqdorli tavsiflashi ya‘ni u modellashtirilayotgan jarayonga monand bo‘lishi kerak. Real jarayonga matematik modelning monandligini tekshirish uchun jarayon o‘tishida obyektidan olingan o‘lchovlar natijasini o‘xshash sharoitlardagi model bashorati natijalari bilan taqqoslash kerak.

Modelning monandligini o‘rnatish bosqichi uni ishlab chiqish bosqichlari ketma-ketligining yakuniysidir. 1.1-rasmda matematik modelni ishlab chiqishning umumiy sxemasi ko‘rsatilgan.

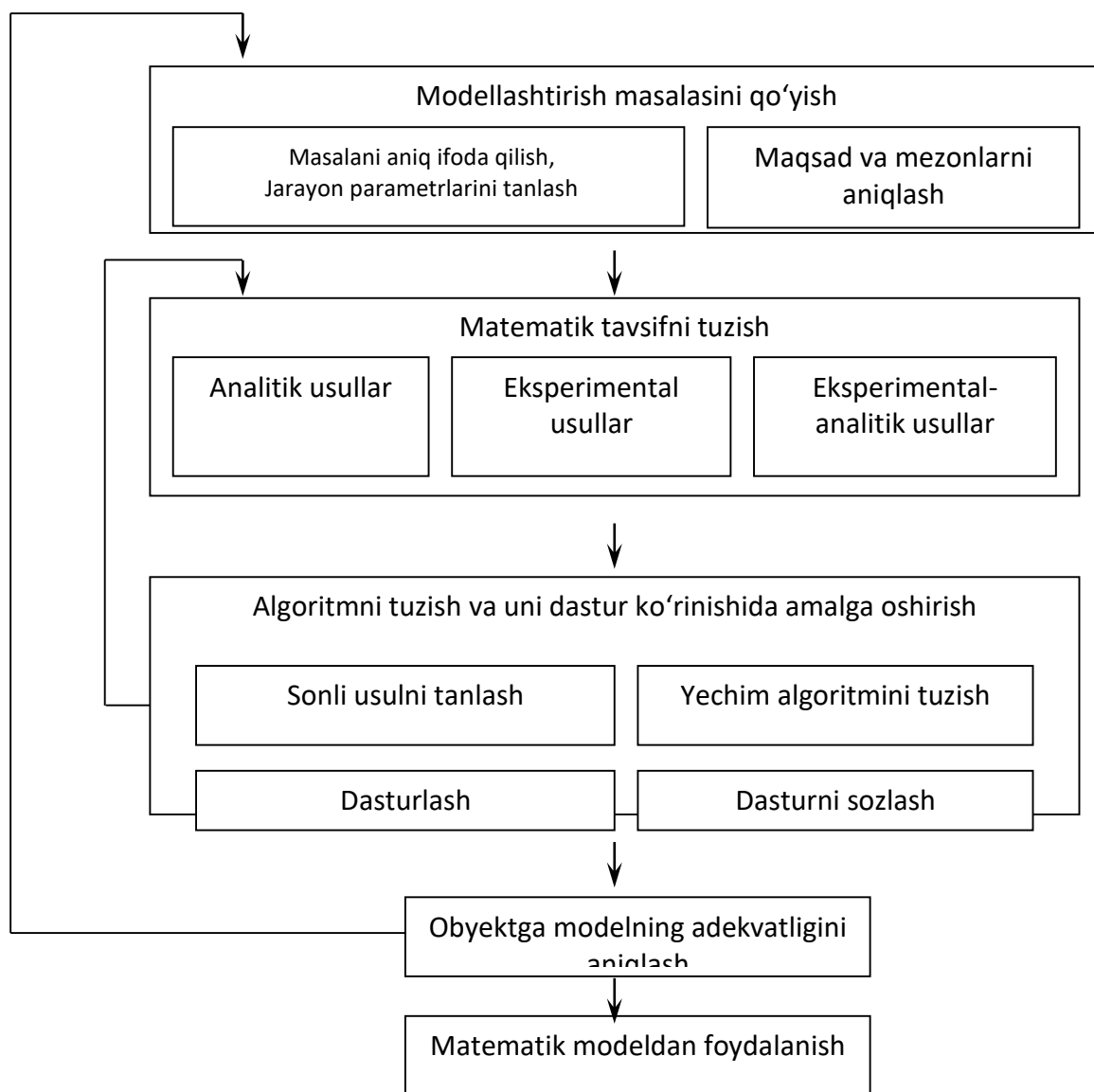
Matematik modelni qurilishida real hodisa soddalashtiriladi, sxemalashtiriladi va olingan sxema hodisalar murakkabligiga bog‘liq holda u yoki boshqa matematik apparat yordamida tavsiflanadi.

Tadqiqotning muvaffaqiyatliligi va olingan natijalarning ahamiyatliligi modelda o‘rganilayotgan jarayonning xarakterli xislatlarini hisobga to‘g‘ri olishga bog‘liq.

Jarayonga ta‘sir qiluvchi barcha eng muhim omillar modelda hisobga olingan bo‘lishi va shu bilan birga u ko‘plab kichik ikkinchi darajali omillar bilan ketma-ket bo‘lmasligi kerak, ularni hisobga olish faqat matematik tahlilni murakkablashtiradi va tadqiqotni o‘ta tiqilinch yoki umuman amalga oshmaydigan qilib qo‘yadi.

Jarayonlar uchun aniq matematik tavsifi bo‘lgan matematik modellash usulini aniq matematik jarayonlar xususiyatlarini o‘rganishda qo‘llashadi. Matematik tavsifi mukammallik darajasiga bog‘liqligiga qarab, ikkita chegaraviy hodisani ajratishimiz mumkin:





a) modellashtirilayotgan jarayonning barcha asosiy tomonlarini tavsiflaydigan tenglamalar to'la tizimi va bu tenglamalarning barcha soniy qiymatlari ma'lum;

b) jarayonning to'la matematik tavsifi yo'q.

Bu ikkinchi hodisa obyekt haqida to'la bo'lmagan axborotning borligida jarayonlarni boshqarish ishi bo'lganda va g'alayonlar ta'sir etganda masalalarni yechish uchun tipikdir. Tadqiq qilinayotgan hodisalar haqida yetarli axborot yo'qligida ularni o'rganish eng oddiy modellar qurishdan, lekin tadqiq qilinayotgan jarayonning asosiy(sifatli) spetsifikasini buzmasdan boshlanadi.

Shunday qilib, model bilan o'tkazilgan tajribalar natijalari bo'yicha biz ish sharoitidagi originalning xulqini miqdoriy bashorat qilishimiz kerak.

Ishlab chiqarishdagi modellashtirish obyektlari deganda quyidagilarni tushunish kerak:

1. Texnologik tizimlar (TT) – bu texnologik jihozlarning bo‘laklari, avtomatik liniyalar, moslashuvchan ishlab chiqarish tizimlar (MICHT).

2. Texnologik jarayonlar (TJ).

3. Texnologik uskunalar ishlayotganda yuz beradigan fizikaviy va kimyoviy jarayonlar (FKJ).

Modellashtirish originalning parametrlarini hisoblashda qo‘llaniladigan qoidasi bizga ma’lum bo‘lishi kerak. Busiz eng yaxshi modellashtirish ham befoyda bo‘lib qoladi.

Toza ko‘rinishda (alohida) berilgan obyektlarning matematik modellari kam qo‘llaniladi, ular quyidagidek kombinatsiyalangan. Masalan, TT matematik modellarida TJ matematik modellaridan foydalaniladi, ularda, o‘z navbatida, FJ, KJ va FKJ matematik modellaridan foydalaniladi.

Zamonaviy model termini bir necha ma’nolarda qo‘llaniladi.

O‘rganilayotgan obyekt tadqiqotning turli bosqichlarida o‘rnini bosuvchi qandaydir obyekt – bu modeldir.

Qo‘yilgan maqsadga erishish uchun eng muhim xossalarini aks ettiruvchi original obyektning maqsadli ko‘rinishi – bu modeldir.

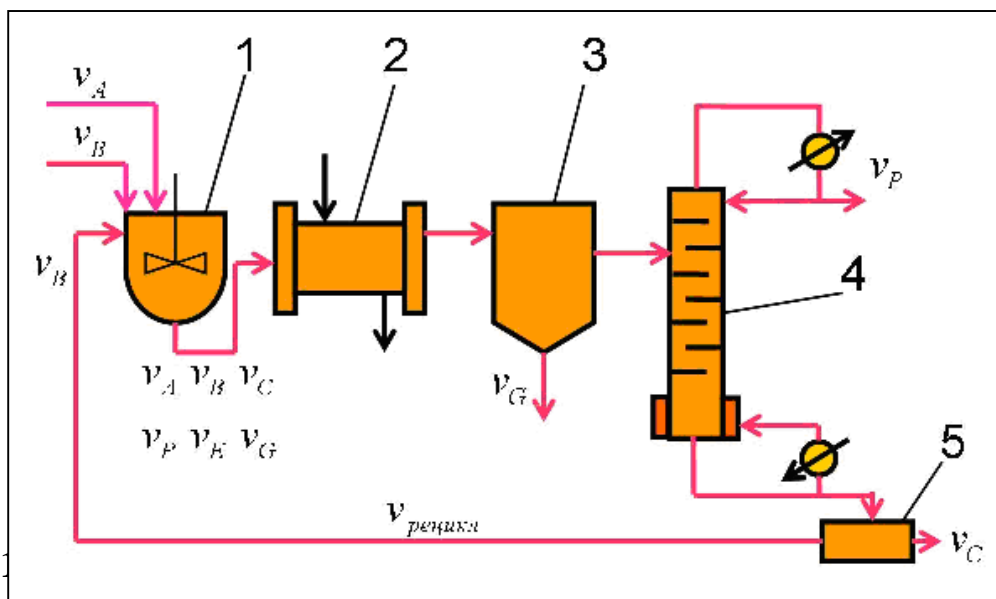
Model – bu xayoliy tasavvurdagi yoki moddiy amalga oshirilgan tizim bo‘lib, obyektning aks etishi yoki tadqiqot obyektini tiklashi hamda obyektning o‘rganish va u haqida yangi axborot keltirish maqsadida uni o‘rnini bosishi mumkin bo‘lgan tizim.

Shunday qilib, har bir modelni yaratish doim qandaydir maqsadni ko‘zlaydi.

Matematik modellar quyidagilar uchun ishlab chiqiladi:

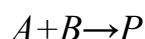
1. FJ, FKJ, TJ, TT larni tavsiflash.
2. FJ, FKJ, TJ, TT larni tadqiq qilish.
3. TJ, TT larni loyihalash.
4. TJ, TT larni loyihalashda optimallashtirish.
5. Avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlarini qurish.

Matematik modelning ko‘rinishi, tarkibi va murakkabligi qaysi obyektни tavsiflaydi va qaysi maqsadlar uchun ishlab chiqilganiga bog‘liqdir.

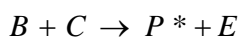
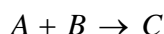


**Misol.**

P mahsulotni olish reaksiyasi:



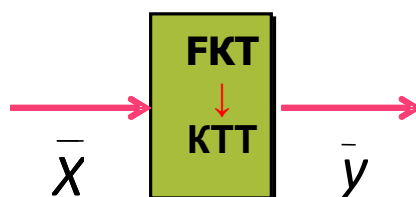
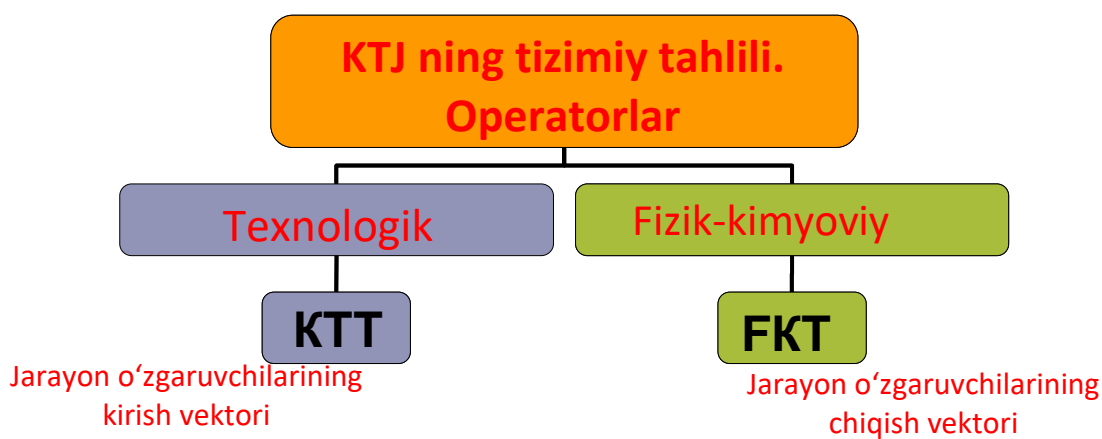
Asosiy bosqichlari:



Matematik modelni yaratish uchun TJKning tizimiy tahlilini bajarish lozim.

KTT – jarayonning texnologik sxemasi chambarchas bog‘langan, yagona ishlash maqsadiga ega va tizimiy tahlil prinsiplariga, xususan komplekslilik va ierarxik bo‘ysunuvchanlikka bo‘ysunadigan nimtizim (ayrim apparatlardagi jarayonlar) larning to‘plami sifatida ko‘riladi. Umumiy ko‘rinishda kimyo-texnologik jarayon (KTJ) fizik-kimyoviy tizim – FKT sifatida shakllanadi.

FKT – fazoda taqsimlangan vaqtda o‘zgaruvchan, gomogenlikning har bir nuqtasida va fazalar bo‘linish chegarasida modda, energiya va impulsni ularning manbalari (oqib tushishlar) borligida olib o‘tish ro‘y beradigan yaxlit ko‘p fazali ko‘p komponentli muhit hisoblanadi.



## 1.2. Modellashtirish tizimlari turlarining tasnifi

Modellashtirish asosida o'xshashlik nazariyasi yotadi, u shuni tasdiqlaydiki, mutlaq o'xshashlik bir obyektning boshqa xuddi shunday obyekt bilan almashtirish mavqeiga ega bo'lishi mumkin. Modellashtirishda mutlaq o'xshashlik o'rinli emas va shuning uchun obyektни tadqiq qilinayotgan ishlash tarafini yetarli, yaxshi aks ettirishga intilish kerak. Shuning uchun modellashtirish turlarini tasniflash alomatlardan biri sifatida – modelning to'ralik darajasini tanlash mumkin va modellarni shu alomatga muvofiq to'liq, to'liq bo'lmagan va taxminiylarga bo'lish mumkin. To'liq modellashtirish asosida nafaqat vaqtda, balki fazoda ham namoyon bo'ladigan to'liq o'xshashlik yotadi. To'liq bo'lmagan modellashtirish uchun o'rganilayotgan obyektga modelning to'liq bo'lmagan o'xshashligi xarakterlidir. Taxminiy modellashtirish asosida taxminiy o'xshashlik yotadi, bunda, real obyektning ba'zi ishlash taraflari mutlaq modellashtirishmaydi.

*S* tizimlarini modellashtirish turlarining tasnifi 1.3-rasmda keltirilgan. *S* tizimda o'rganilayotgan jarayonlar xarakteriga muvofiq modellashtirishning barcha turlari determinatlangan va stoxastik, statik va dinamik, diskret, uzluksiz va diskret – uzluksizlarga bo'linishi mumkin. *Determinatlangan modellashtirish* determinatlangan jarayonni aks ettiradi, ya'ni har qanday tasodifiy ta'sirlarning yo'qligi inobatga

oladigan jarayonlarni nazarda tutadi; *Stoxastik modellashtirish* ehtimollik jarayonlar va hodisalarni aks ettiradi. Bu holda tasodifiy jarayonning qator amalga oshirilishlari tahlillanadi va o'рта ta'riflar, ya'ni bir turdagi amalga oshirishlarning to'plami baholanadi. *Statik modellashtirish* qandaydir vaqt lahzasida obyekt xulqini tavsiflash uchun xizmat qiladi, *dinamik modellashtirish* esa vaqtda obyektning xulqini aks ettiradi. *Diskret modellashtirish* diskretliligi nazarda tutilgan jarayonlarni tavsiflash uchun xizmat qiladi va shunga muvofiq uzluksiz modellashtirish tizimlarda uzluksiz jarayonlarni aks ettirish uchun imkon beradi, *diskret – uzluksiz modellashtirishdan* esa diskret hamda uzluksiz jarayonlarni ajratib ko'rsatish zarur bo'lgan hollarda foydalaniladi.

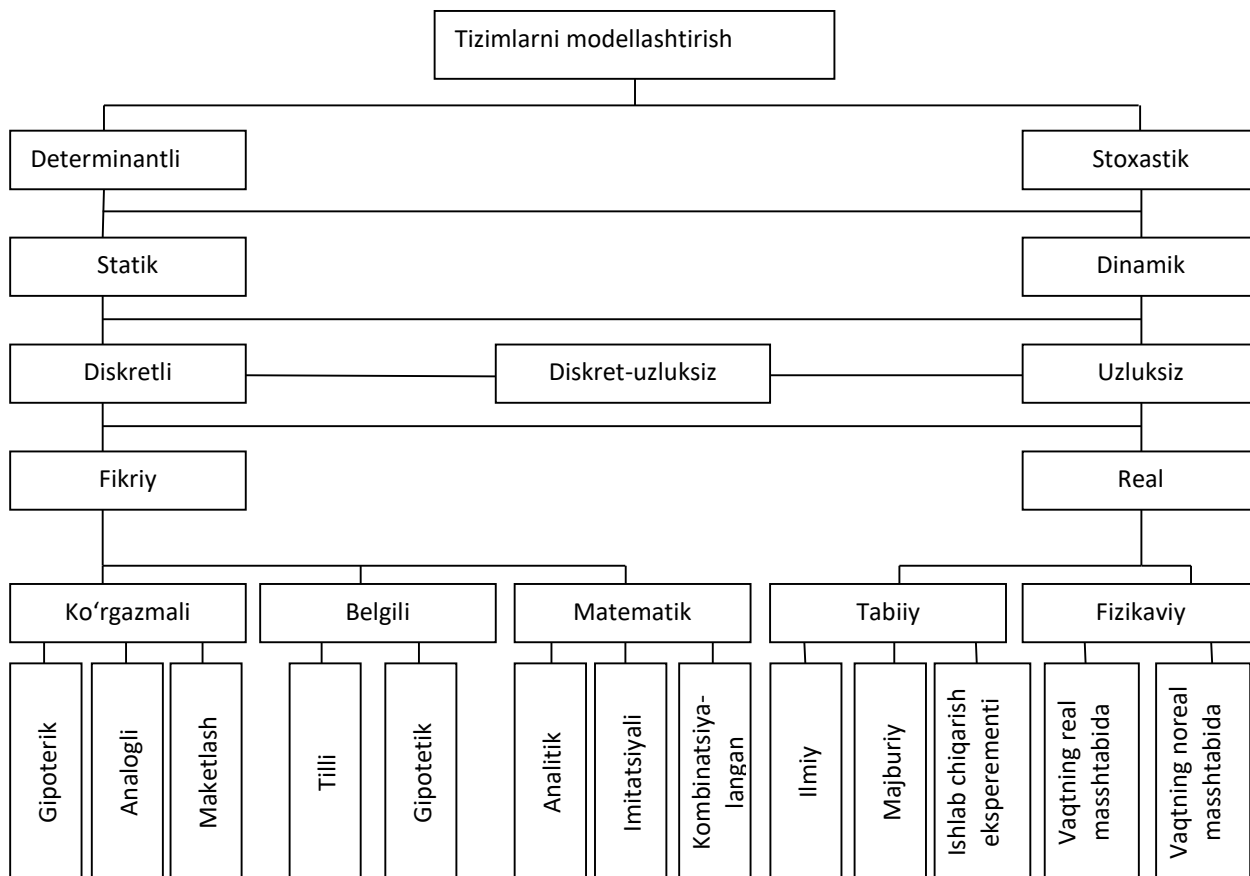
### **Xayoliy modellashtirish.**

*Xayoliy modellashtirish* ba'zi hollarda vaqtning berilgan oralig'ida amalga oshirib bo'lmaydigan yoki ularni jismoniy shartlaridan tashqarida yotganligi uchun obyektlarni modellashtirishning yagona usuli hisoblanadi. Masalan, xayoliy modellashtirish asosida mikroolamdagi fizik tajriba o'tkazishga imkon bermaydigan ko'p vaziyatlarni tahlillash mumkin. Xayoliy modellashtirish ayoniy, belgili va matematik ko'rinishda amalga oshirilishi mumkin.

Obyektni ( $S$  tizimni) taqdim etish shakliga muvofiq xayoliy va real modellashtirishni ajratish mumkin.

### **Ayoniy modellashtirish.**

*Ayoniy modellashtirishda*, obyektga o'tadigan hodisalar va jarayonlarni aks ettiruvchi real obyektlar haqida turli ayoniy modellar inson tushunchalari asosida yaratiladi. *Gipotetik modellashtirish* asosida real obyektga jarayonlar o'tish qonuniyatlari haqida tadqiqotchi qandaydir gipotezani asos qilib oladi. Bu gipoteza obyekt haqida tadqiqotchining bilim darajasini aks ettiradi va o'rganilayotgan obyektning kirish va chiqish orasidagi sabab - oqibat aloqalarga asoslanadi. Gipotetik modellashtirish formal modellarni qurish uchun obyekt haqidagi bilimlar yetishmayotganda ishlatiladi.



**1.3-rasm.** Tizimlarning modellashtirish turlarining tasnifi.

### **Analogli modellashtirish.**

*Analogli modellashtirish* turli darajadagi analogiyalarni qo'llashga asoslanadi. Faqat oddiy obyektlar uchun o'rinli bo'lgan eng yuqori darajalilari to'liq analogiya hisoblanadi. Obyektni murakkablashishi bilan keyingi darajalardagi analogiyalardan foydalaniladi, bunda, analogli model obyektning bir nechta yoki faqat bir tarafini aks ettiradi.

Xayoliy ayoniy modellashtirishda *maketlash* muhim o'rin ega. Xayoliy maket real obyektida o'tadigan jarayonlar fizikaviy modellashtirishga imkoni bo'lmagan yoki modellashtirishning boshqa turlarini o'tkazishdan oldin qo'llanilishi mumkin bo'lgan hollarda qo'llaniladi. Xayoliy maketlarni qurish asosida analogiyalar yotadi, biroq odatda obyektidagi hodisalar va jarayonlar orasidagi sabab – oqibat bog'lanishlarga asoslanadi. Agar ba'zi tushunchalar, ya'ni alomatlar belgilashni hamda alomatlar orasida ma'lum amallarni kiritsak, unda *alamatli modellashtirishni* amalga oshirish mumkin va alomatlar yordamida tushunchalar to'plamini aks ettirish mumkin, ya'ni so'zlardan ayrim gaplar va zanjirlar tuzish mumkin. Ko'plik nazariyasining

birlashtirish, kesishish va to'ldirish amallarini qo'llab, ayrim belgilar orqali real obyektlarga tavsiflar berish mumkin.

### **Tilli modellashtirish.**

*Tilli modellashtirish* asosida qandaydir tezaurus (bir tilning mukammal lug'ati) yotadi. U kiruvchi tushunchalar to'plamidan tashkil topadi, uning ustiga bu to'plam fiksatsiyalangan bo'lishi kerak. Shuni qayd etish kerakki, tezaurus va oddiy lug'at orasida prinsipial farqlar bor. Tezaurus – lug'at, bir xil bo'lmaganlikdan tozalangan, ya'ni unda har bir so'zga yagona tushuncha muvofiq bo'lishi kerak, garchi oddiy lug'atda bir so'zga bir nechta tushunchalar muvofiq bo'lishi mumkin.

*Belgili modellashtirish* real obyektning o'rnini bosadigan va uning munosabatlarini asosiy xossalari ma'lum alomatlar va belgilarning tizimi yordamida ifoda etadigan mantiqiy obyektning yaratishning sun'iy jarayonidir.

Ixtiyoriy S tizimlarning faoliyat ko'rsatish jarayoni xarakteristikasini tadqiq qilish uchun ushbu jarayonni formallashtirish kerak, ya'ni uning matematik modelini tuzish kerak.

### **Matematik modellashtirish.**

*Matematik modellashtirish* deganda – berilgan real obyektning ba'zi bir matematik obyektga muvofiqligini belgilash jarayoni tushuniladi. Bu matematik obyekt matematik model deb ataladi va bu modelni tadqiq qilish o'rganilayotgan real obyekt xarakteristikalarini olish imkonini beradi. Matematik modelning turi nafaqat real obyekt tabiatiga bog'liq, balki obyektning tadqiq masalalariga va talab qilinadigan ishonchlilik hamda masalani yechish aniqligiga bog'liq. Har qanday matematik model, boshqalarga o'xshab, haqiqatga yaqinlashishning ba'zi darajasi bilan real obyektning tavsiflaydi. Sistemalar ishlash jarayoni xarakteristikalarini tadqiq qilish uchun matematik modellashtirishni analitik, imitatsion va kombinatsionlarga bo'lish mumkin.

*Analitik modellashtirish* uchun shu narsa xarakterliki, tizim elementlarini ishlash jarayonlari qandaydir funksional munosabatlar (algebraik, integro - differensial, chekli – ayirmali va sh.o'.) yoki mantiqiy shartlar ko'rinishida yoziladi.

### **Analitik modelni tadqiqot usullari.**

*Analitik model* quyidagi usullar bilan tadqiq qilinishi mumkin:

a) analitik, bu usul izlanayotgan xarakteristikalar uchun umumiy ko‘rinishda aniq bog‘liqliklarni olish kerak bo‘lganda qo‘llaniladi;

b) sonli, bu usul umumiy ko‘rinishda tenglamalarni yechishni bilmasdan, aniq boshlang‘ich ma‘lumotlarda sonli natijalarni olish kerak bo‘lganda qo‘llaniladi;

d) sifatli, bu usul aniq ko‘rinishda yechimni olmasdan, yechimning ba‘zi xossalarini topish mumkin (masalan, yechimning turg‘unligini baholash) bo‘lganda qo‘llaniladi.

Agar  $S$  sistemaning izlanayotgan xarakteristikalarini boshlang‘ich sharoitlari, parametrlari va o‘zgaruvchanlarini bog‘layotgan aniq ifodalar ma‘lum bo‘lsa, tizimning ishlash jarayonini eng to‘liq tadqiqotini o‘tkazish mumkin. Lekin bunday bog‘liqliklarni olish faqatgina oddiy tizimlar uchun muvaffaqiyatli bo‘ladi. Tizimlar murakkablashganda ularni analitik usul bilan tadqiqlash katta qiyinchiliklarga olib keladi va ba‘zida bu qiyinchiliklarni yengib bo‘lmaydi. Shuning uchun, analitik usuldan foydalanishni istaganda tizimning loqal umumiy xususiyatlarini o‘rganish uchun birlamchi model ancha soddalashtiriladi.

Sonli usul analitik usulga nisbatan tizimlarning kengroq sinfini tadqiq qilishga imkon beradi, lekin bunda, olingan yechimlar xususiy xarakterga ega bo‘lib, SHK (shaxsiy kompyuter) dan foydalanganda sonli usul g‘oyat samaralidir. Ba‘zi bir hollarda tizim tadqiqotchisini matematik modelning sifatli usuli tahlilidan foydalanib olingan xulosalar qanoatlantirishi mumkin. Bunday sifatli usullar, masalan, boshqarish tizimlarning turli variantlarini samarasini baholash uchun avtomatik boshqarish nazariyasida keng qo‘llaniladi.

Hozirgi vaqtda katta tizimlarning ishlash jarayoni xarakteristikalarini tadqiq qilishda mashinali amalga oshirish usullari keng tarqalgan. EHM da matematik modelni amalga oshirish uchun unga muvofiq modellashtirish algoritmi qurish kerak.

### **Imitatsion modellashtirish.**

*Imitatsion modellashtirishda*  $S$  tizimning vaqt bo‘yicha ishlash jarayonini amalga oshiruvchi modelning algoritmi qayta ishlab chiqiladi va shu bilan birga elementar hodisalar imitatsiyalanadi. Ularning vaqt bo‘yicha yuz berishi hamda mantiqiy strukturalarini saqlagan holda tizim xarakteristikalarini baholash imkonini beruvchi,



vaqtning ma'lum momentlaridagi jarayonning holati haqidagi boshlang'ich ma'lumotlarni olish imkonini beradi.

Tahliliy modellashtirishga nisbatan imitatsion modellashtirishning asosiy afzalligi murakkabroq masalalarni yechish imkoni hisoblanadi. Imitatsion modellar diskret va uzluksiz elementlarning mavjudligi, tizim elementlarining egri chiziqli xarakteristikalarini, ko'plab tasodifiy ta'sirlar va boshqa tahliliy tadqiqotlarda qiyinchiliklarni tez-tez paydo qiladigan omillarni hisobga olish imkonini beradi. Hozirgi vaqtda imitatsion modellar – katta tizimlarni tadqiq qilishda eng samarali bo'lib, ba'zida tizimning xulqi haqida, ayniqsa, uni loyihalash bosqichida axborot olishni yagona amaliy ommabop usuli hisoblanadi.

$S$  tizimni ishlash jarayonini imitatsion modelda qayta ishlab chiqarish natijasida olingan natijalar, tasodifiy qiymatlar va funksiyalarning amalga oshirishlari bo'lganda, jarayon xarakteristikalarini olish uchun uni ko'p karra qayta ishlab chiqish talab qilinadi.. Keyin axborot statistik qayta ishlanadi va imitatsion modelning mashinali amalga oshirish usuli sifatida statistik modellashtirish usulidan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Avval statistik sinovlar usuli ishlab chiqiladi va u o'zi tasodifiy qiymatlar va funksiyalarni modellashtirish uchun qo'llaniladigan sonli usulni ifodalaydi hamda ularning ehtimollik xarakteristikalarini tahliliy masalalar yechimlari bilan mos tushadi (bunday protsedura Monte - Karlo usuli deb ataladi). Shundan keyin bu usuldan tasodifiy ta'sirlarga duchor bo'lgan tizimlarning ishlash jarayonlari xarakteristikalarini tadqiq qilish maqsadida mashinali imitatsiya uchun foydalana boshlashdi, ya'ni statistik modellashtirish usuli paydo bo'ldi.

Shunday qilib, statistik modellashtirish usulini keyingi bosqichlarda imitatsion modelning mashinali amalga oshirish usuli deb, statistik sinovlar usuli (Monte - Karlo) ni esa tahliliy masalani yechishning sonli usuli deb ataymiz.

Imitatsion modellashtirish usuli tizim strukturasi variantlarini, tizimni boshqarish turli algoritmlar samarasini, tizimning turli parametrlarini o'zgarishining ta'sirini baholash masalalarini inobatga olib,  $S$  katta tizimlar tahlili masalalarini yechishga imkon beradi. Samaradorlikni baholashning ba'zi mezonlari bo'yicha optimal bo'lgan ma'lum chegaralanishlarda berilgan xarakteristikalarini bilan tizimni

yaratish talab qilinganda imitatsion modellashtirish katta tizimlarning strukturaviy, algoritmik va parametrik sintezi asosida qo'yilishi mumkin.

Imitatsion modellar asosida tizimlarning mashinali sintezi masalalarini yechishda, qayd qilingan tizimning tahlili uchun modellashtirish algoritmlarini ishlab chiqishdan tashqari, tizimning optimal variantini qidirish algoritmini ham ishlab chiqish kerak. Mashinali modellashtirish uslubiyatini asosiy mazmuni berilgan modellashtirish algoritmlari bilan tizimlarning tahlili va sintezi masalalariga mos keluvchi ikkita asosiy bo'limga ajratamiz: statika va dinamika.

### **Kombinatsiyalangan modellashtirish.**

*Kombinatsiyalangan modellashtirish* (tahliliy-imitatsion) tizimlarning tahlili va sintezida tahliliy va imitatsion modellashtirishning fazilatlarini birlashtirishga imkon beradi. Kombinatsiyalangan modellarni qurishda obyektning ishlash jarayonini tashkil etuvchi nimjarayon uchun dastlabki dekompozitsiya o'tkaziladi va ular uchun imkon bo'lganda tahliliy modellar ishlatiladi, qolgan nimjarayonlar uchun esa imitatsion modellar quriladi. Bunday kombinatsiyalangan yondashuvda faqat tahliliy va imitatsion modellashtirishdan alohida foydalanish imkoni bo'lmaganda tizimlarning sifatli yangi sinflarini qamrab olishga imkon beradi.

### **Real modellashtirish.**

*Real modellashtirishda* yoki real obyektida butunlayin, yoki uning qismida turli xarakteristikalarini tadqiq qilish imkonidan foydalaniladi. Bunday tadqiqotlar nafaqat normal rejimlarda ishlayotgan obyektlarda o'tkazilishi mumkin, balki tadqiqotchini qiziqtirayotgan xarakteristikalarini baholash uchun maxsus rejimlarni tashkillashtirishda (o'zgaruvchilar va parametrlarning boshqa qiymatlarida, vaqtning boshqa masshtabida va h.k.) ham amalga oshirilishi mumkin. Real modellashtirish eng monand bo'lgan modellashtirish hisoblanadi, lekin real obyektlarning xossalarini hisobga olganda uning imkoniyatlari chegaralangan bo'lib qoladi. Masalan, korxonaning ABT (Avtomatik boshqarish tizimlari) ni real modellashtirish uchun, birinchidan, shunday ABTni yaratish, ikkinchidan esa, boshqariladigan obyektida tajribalar o'tkazish, ya'ni butun korxonada tajribalar o'tkazish talab qilinadi, lekin ko'p hollarda buning imkoni yo'q. Real modellashtirishning turli xilliligini ko'rib chiqamiz.

Modellashtirishda kibernetik modellashtirish o'ziga xos o'ringa ega. Kibernetik modellashtirishda modellarda kechayotgan fizik jarayonlarning obyektida bo'lib o'tayotgan jarayonlarga bevosita o'xshashligi bo'lmaydi. Bu holda qandaydir funksiyani aks ettirishga intilinadi va real obyekt «qora quti» sifatida qaraladi, unda qator kirishlar va chiqishlar bo'lib, ular orasidagi ba'zi bir aloqalar modellashtirishiriladi. Kibernetik modellardan foydalanganda ko'pincha tashqi muhitning ta'sirlaridagi obyektning xulq taraflari tahlil qilinadi.

Shunday qilib, kibernetik modellar asosida boshqarishning ba'zi bir axborot jarayonlarini aks ettirish yotadi, bu real obyektning xulqini baholashga imkon beradi. Bu holda imitatsion modelni qurish uchun real obyektning tadqiq qilinayotgan funksiyasini ajratish kerak, bu funksiyani kirishlar va chiqishlar orasidagi ayrim aloqa operatorlari ko'rinishida, mutlaq boshqa matematik bog'lanishlar bazasida hamda tabiiy, jarayonning boshqa holatlarda fizikaviy amalga oshiriladi.

### **1.3. Shaxsiy kompyuterlarda tizimlarni modellashtirish imkoniyatlari va samaradorligi**

Tadqiq qilinayotgan va loyihalashtirilayotgan  $S$  tizimlarda stoxastik jarayonlar o'tishini o'rganish zarurati bilan bog'langan yirik tizimlarni ishlash sifatining talab qilinayotgan ko'rsatkichlarini ta'mirlash, bir-birini o'zaro to'ldiruvchi nazariy va eksperimental tadqiqotlarning majmuini o'tkazish imkonini beradi. Yirik tizimlarni eksperimental tadqiq qilish samaradorligi real tizim bilan tabiiy eksperimentlarni o'tkazish talab qilganligi sababli yoki katta moddiy sarflarni va ko'p vaqtni talab qilganligini, yoki umuman amaliy iloji bo'lmaganligi sababli (masalan, loyihalashtirish bosqichida real tizim mavjud bo'lmaganda) ancha past bo'ladi. Nazariy tadqiqotlar samaradorligi amaliy nuqtayi nazaridan ularning natijalari talab qilinayotgan aniqlik darajasi va tahliliy bog'lanishlarning ishonchliligi ma'lum analitik tenglamalar yoki tadqiq qilinayotgan tizimlarning ishlash jarayoniga mos keluvchi xarakteristikalarini olish uchun tegishli modellashtiruvchi algoritmlar ko'rinishida taqdim etilgandagina ko'rinadi.

Zamonaviy kompyuterlarni paydo bo'lishi murakkab tizimlarini tadqiqot qilishga tahliliy usullarni keng joriy etishga hal qiluvchi zamin bo'ldi. Buning asosida modellar va usullar, masalan, matematik dasturlash, yirik tizimlarda boshqarish masalalarini

yechish uchun amaliy vosita bo‘lib qoldi. Haqiqatan, bu masalalarni yechish uchun yangi matematik usullarni yaratishda katta yutuqlarga erishilgan edi, lekin matematik dasturlash murakkab tizimlarning ishlash jarayonini tadqiq qilishning amaliy vositasi bo‘lib qolmadi, chunki matematik dasturlash modellari ulardan samarali foydalanish uchun takomillashmagan bo‘lib chiqdi. Tizimning stoxastik xossalarini hisobga olish zarurati, kirish axborotining aniqlovchi emasligi, o‘zgaruvchanlar va parametrlarning katta soni orasida korrelatsion aloqalarning mavjudligi, tizimlarda jarayonlarni xarakterlovchi, murakkab matematik modellar qurishga olib keladi va tahliliy usul bilan shunday tizimlarni tadqiq qilishda muhandislik amaliyotida qo‘llash imkonini bermaydi. Amaliy hisoblar uchun yaroqli tahliliy bog‘liqliklarni faqat soddalashtiruvchi va shu bilan birga tadqiq qilinayotgan haqiqiy jarayonning tasvirini buzadigan taxminlar mavjudligida olish imkonini beradi. Shuning uchun oxirgi vaqtlarda tizimlarni loyihalashtirish bosqichida monandroq modellarni tadqiq qilishga imkon beruvchi usullarni ishlab chiqarish zarurati sezilmoqda. Ko‘rsatilgan jihatlar shunga olib keladiki, yirik tizimlarni tadqiq qilishda imitatsion modellashtirish usullari kengroq qo‘llaniladi.

### **Nazorat savollar**

1. Xayoliy modellashtirish nima?
2. Ko‘rgazmali modellashtirish nima?
3. Analogli modellashtirish nima?
4. Tilli modellashtirish nima?
5. Matematik modellashtirish nima?
6. Imitatsion modellashtirish nima?
7. Kombinatsiyalangan modellashtirish nima?
8. Real modellashtirish nima?
9. Shaxsiy kompyutyerda tizimlarni modellashtirishning imkoniyatlari va samaradorligi.
10. Mashinali tajriba qanday rejalashtiriladi?

## Foydalangan adabiyotlar ruyxati

1. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П. *Technologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari*. Олий ўқув юртлари учун дарслик. 2-чи нашр: қайта ишланган ва тўлдирилган. –Т.: Фан ва технология, 2019.
2. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П. *Technologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari*. Олий ўқув юртлари учун дарслик. –Т.: Фан ва технология, 2015.
3. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П. *Technologik jarayonlarni modellashtirish va identifikatsiyalash*. Олий ўқув юртлари учун ўқув қўлланма. –Т.: Фан ва технология, 2019.
4. Luigi Bocola *Identifying Neutral Technology Shocks*. University of Pennsylvania, 2014
5. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. *Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: Учеб. пособие для вузов*. – М.:ИКЦ “Академкнига”, 2006. 416с.
6. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П., Базаров М.Б., Халилов Ж.А. *Бошқариш системаларини компьютерли моделлаштириш асослари*. Олий ўқув юртлари учун ўқув қўлланма. –Н.: Навоий-Голд-Сервес, 2009.
7. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П., Гулямов Ш.М. *Основы процессов разделения многокомпонентных смесей*. – Т: “Университет”, 2017.
8. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Мухитдинов Д.П., Авазов Ю.Ш. *Математическое моделирование процессов ректификации многокомпонентных смесей*. –Т.: ТашГТУ, 2014.

## **2-mavzu. Kimyoviy-texnologik jarayonlarni kopyuterli model-lashtirish prinsiplari. Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash**

### **Режа:**

- 2.1.** Oqimlar strukturasi tadqiqot usullari
- 2.2. Apparatda bo‘lish vaqti bo‘yicha oqim elementlari taqsimlanishining asosiy tavsiflari
- 2.3. Ideal aralashtirish va ideal siqib chiqarish modellari

Real apparatlarda oqimlarning xulqi shu qadar murakkabki, hozirgi vaqtda ularning qat'iy matematik tavsifini tuzishga ko'p hollarda imkon bo'lmaydi. Shu bilan bir vaqtda oqimlar tizimi kimyo-texnologik jarayonlar samaradorligiga jiddiy ta'sir ko'rsatishi ma'lum bo'lib, buning uchun ular jarayonlarni modellashtirishda hisobga olinishi kerak. Bunda oqimlar strukturasi matematik modellari qurilayotgan kimyo-texnologik jarayonni matematik tavsifining asosi sifatida qabul qilinadi. Real oqimlarni aniq tavsiflash (masalan, Nave-Stoks tenglamasi yordamida) yechilishi o'ta qiyin masalalarga olib kelishi oldinroq ko'rsatib o'tilgandi. Shuning uchun shu vaqtgacha ishlab chiqilgan apparatlarda oqimlar strukturasi modellari ancha sodda va yarim empirik xarakterga ega. Shunga qaramay, ular real fizik jarayonlarni yetarli darajada aniq aks ettiruvchi modellar (obyektga monand modellar) ni qurishga imkon beradi.

Kimyo-texnologik jarayonlarni o'tkazishda ko'pincha ularni yakunlash to'liqligi darajasini bilish muhimdir, bu esa o'z navbatida apparatda oqim zarralarini vaqt bo'yicha taqsimlanishiga bog'liq, modomiki apparatda oqimning ayrim ulushlari turib qolishi mumkin, boshqalari esa, aksincha, o'tib ketadi, bu esa kontakt vaqti va diffuziyaga bevosita bog'liq .

Apparatda oqim zarralarini vaqt bo'yicha taqsimlanishi (VBT) stoxastik tabiatga ega va statistik taqsimlanish bilan baholanadi.

Sanoat apparatlarida oqim zarralarini vaqt bo'yicha taqsimlanish notekisligining eng muhim manbalari quyidagilardir:

1) tizim tezliklar profilining notekisligi; 2) oqimlarning turbulizatsiyasi; 3) oqimda turg'unlik sohalar mavjudligi; 4) tizimda baypasli va kesishuvchi oqimlar kanallarining hosil bo'lishi; 5) harakatlanuvchi muhitlarning harorat gradiyentlari; 6) fazalar orasida issiqlik va modda almashuvi va shunga o'xshashlar.

Shunday bo'lib chiqishi mumkinki, diffuziya jarayonini bajarish uchun apparatda oqim zarralarini real bo'lish vaqti yetarli bo'lmay qoladi, bunga esa butun diffuziyali jarayonning samaradorligi bog'liq. Shuning uchun oqimlarning ichki strukturasi haqidagi modelli ifodalar yordamida apparatdagi (shuningdek, bo'lib o'tish vaqti bo'yicha) fazalar oqimining real strukturasi hisobga olish muhim hisoblanadi.

Modda almashuv jarayonlari uchun oqimlar strukturasi tavsiflash yana shu ma'noga egaki, u shu oqimlarda moddalarni joyini o'zgartirish va taqsimlanishini aniqlashga imkon beradi. Shuning uchun barcha oqimlarning gidrodinamik modellari ko'pincha oqimda modda konsentratsiyasini o'zgarishini ifodalovchi tenglamalar ko'rinishida yoziladi.

Keyinroq real apparatlarda oqimlar strukturasi tadqiqlashning tajriba usullari, oqimlar strukturasi eng ko'p tarqalgan matematik modellari va modellar parametrlarini aniqlash usullari ko'rib chiqiladi.

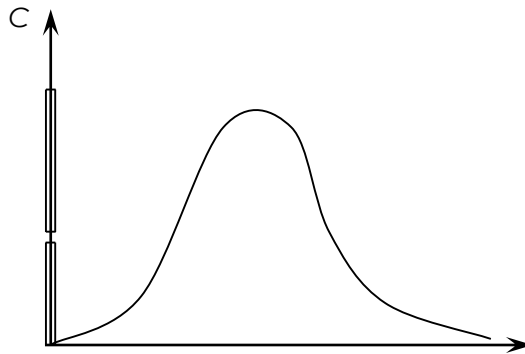
### **2.1. Oqimlar strukturasi tadqiqot usullari**

Ko'rsatilgan usullarning mohiyati oqimning apparatga kirishida unga qandaydir vosita bilan indikator kiritiladi, oqimning apparatdan chiqishida esa indikator konsentratsiyasini vaqtning funksiyasi sifatida o'lchashdan iborat. Bu chiqish egri chizig'i oqim tarkibi bo'yicha namunaviy g'alayonga tizimning javob funksiyasi deb ataladi. Indikatorlar sifatida bo'yoqlar, tuzlar va kislota eritmali, izotoplar va boshqa moddalardan foydalanadilar.

Indikatorga qo'yiladigan asosiy talab – apparatda indikator zarralarining xulqi oqim zarralarining xulqiga o'xshashi shart. Bu nuqtayi nazardan eng yaxshisi izotoplardir, chunki xossalari bo'yicha ular asosiy oqimdan kam farqlanadi. Amalda ko'pincha asosiy oqim bilan o'zaro ta'sirga tushmaydigan va oson o'lchanishi mumkin bo'lgan indikatorlar qo'llaniladi. Bunday indikatorlarga tuz eritmali tegishlidir. Apparatga indikator oqimning kirishidagi standart signallar ko'rinishida quyidagicha

kiritiladi: impulsli, pog‘onali va sikllik. G‘alayonlovchi signalning ko‘rinishiga muvofiq oqimlar strukturasi tadqiq qilishning quyidagi usullari farqlanadi: impulsli, pog‘onali va sikllik. Odatda oxirgi signal amaliyotda sinusoida shakliga ega bo‘ladi.

**Impulsli usul.** Bu usulga muvofiq oqimning apparatga kirishida amaliy bir onda indikatorning delta funktsiya shaklidagi ma’lum miqdori kiritiladi. Faraz qilaylik, ixtiyoriy murakkablik apparatga oqimni kirishiga amaliy bir onda indikator kiritdik va 2.1-rasmda tasvirlangan bu g‘alayonga javob funksiyasini aniqladik.



**2.1-rasm.** Impulsli g‘alayonga tizimning tipik javob funksiyasi.

pparat hajmini  $V$  deb va oqimning hajmli tezligini –  $v$  deb belgilaymiz.

Apparatda bo‘lish vaqti  $t$  dan  $t + dt$  gacha o‘zgaradigan indikatorning miqdori quyidagini tashkil etadi

$$dg = vC_E(t)dt. \quad (2.1)$$

$dg$  ning indikatorning umumiy miqdori  $g$  ga nisbati indikatorning apparatdan  $t$  dan  $t + dt$  vaqtda chiqqan ulushini ifodalaydi:

$$dp = \frac{dg}{g} = \frac{vC_E(t)dt}{g}. \quad (2.2)$$

Asosiy oqim xulqi apparatdagi indikatorning xulqiga o‘xshash bo‘lganligi uchun, (2.1) tenglama  $t$  dan  $t + dt$  bo‘lgan vaqtda oqimning ulushini ifoda etadi.

$C(\theta)$  o‘lchamsiz konsentratsiyani quyidagi formula bo‘yicha kiritamiz:

$$C(\theta) = \frac{C_E(t)}{C_0^E}, \quad (2.3)$$



bunda,  $C_0^E$  – oqimdagi boshlang‘ich konsentratsiya:

$$C_0^E = \frac{g}{V} \quad (2.4)$$

Shu vaqtning o‘zida  $\theta$  o‘lchamsiz vaqtni quyidagi formula bo‘yicha kiritamiz:

$$\theta = \frac{t}{\bar{t}}, \quad (2.5)$$

bunda,  $\bar{t}$  – oqim zarralarining apparatda o‘rtacha bo‘lish vaqti:

$$\bar{t} = \frac{V}{v} \quad (2.6)$$

Endi (2.2) tenglamani quyidagi ko‘rinishga keltirish mumkin:

$$\begin{aligned} dp &= \frac{vC_E(t)dt}{g} = v \frac{C_0^E C_E(t)}{C_0^E} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{\bar{t} dt}{\bar{t}} = \\ &= \frac{vC_0^E \bar{t}}{g} C(\theta) d\theta = \frac{vC_0^E V}{g} C(\theta) d\theta = C(\theta) d\theta \end{aligned} \quad (2.7)$$

Kiritilgan indikatorning umumiy miqdori quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$g = v \int_0^{\infty} C_E(t) dt. \quad (2.8)$$

U vaqtda (2.2), (2.7) tenglamalardan quyidagi ifoda kelib chiqadi

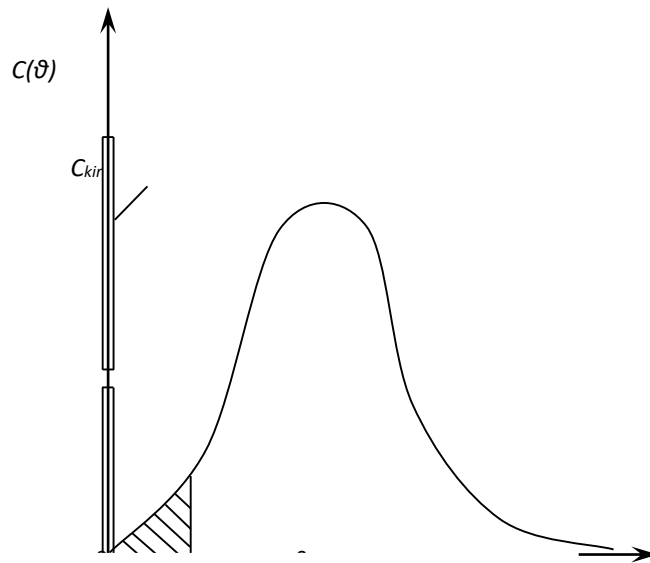
$$C(\theta) = \frac{vC_E(t)dt}{gd\theta} = v \frac{C_E(t)\bar{t}}{g} = \frac{C_E(t)}{\int_0^{\infty} C_E(t) dt}, \quad (2.9)$$

$$\text{unda ifoda } C(t) = \frac{C_E(t)}{\int_0^{\infty} C_E(t) dt} \quad (2.10)$$

me‘yorlangan  $S$  -egri chiziqni beradi.

( $\theta$ ) koordinatalarda tajriba egri chizig‘ini quramiz (2.2-rasm.). Bunday egri chiziq  $S$  -egri chizig‘i deb ataladi. Uni ostidagi shtrixlangan maydon quyidagiga teng

$$\int_0^{\infty} C(\theta) d\theta \quad (2.11)$$



**2.2-rasm.** Tipik C-egri chiziqli.

va 0 dan  $\theta$  gacha o'zgarish vaqtida apparatdagi oqim ulushini belgilaydi.  
Tabiiyki

$$\int_0^{\theta} C(\theta) d\theta = 1 \quad (2.12)$$

Shunday qilib,  $S$  -egri chizig'i apparatda vaqt bo'yicha oqim elementlarining taqsimlanishining tavsifidir.

Oqimning apparatda o'rtacha bo'lish vaqti quyidagini tashkil etadi

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} t dp. \quad (2.13)$$

Bu tenglamaga (3.2) tenglamadagi  $dp$  ni qo'yamiz va  $g = v \int_0^{\infty} C_E(t) dt$  dan

foydalansak, unda quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$\bar{t} = \frac{v \int_0^{\infty} t C_E(t) dt}{v \int_0^{\infty} C_E(t) dt} = \frac{\int_0^{\infty} t C_E(t) dt}{\int_0^{\infty} C_E(t) dt}. \quad (2.14)$$

**1-misol.** Apparatdagi oqimlarning gidrodinamikasini tadqiq qilishda impulsli usul qo‘llaniladi. Impulsli g‘alayonni berish (indikatorni impuls shaklida kiritish) natijasida apparat chiqishidagi indikatorning quyidagi konsentratsiya qiymatlari olindi (2.1-jad.).

2.1-jadval

Vaqt, min	0	5	10	15	20		25	30	35
Indikatorning konsentratsiyasi, g/m <sup>3</sup>	0	3	5	5	4		2	1	0

S- egri chiziqning taqsimlanishini qurish kerak.

**Yechim.**  $S(\theta)$  funksiyani aniqlash uchun dastlab (2.9) tenglamadagi  $C(t)$  qiymatlarini topamiz. Buning uchun probalar (tahlil uchun namuna) olish vaqtining intervalini  $\Delta t = 5$  daqiqa deb faraz qilib,  $\sum_i C_E(t)\Delta t$  qiymatlar yig‘indisini hisoblaymiz:

$$\int_0^{\infty} C_E(t)dt \approx \sum_i v \int_0^{\infty} C_i^E(t)\Delta t = (3 + 5 + 5 + 4 + 2 + 1) \cdot 5 = 100 \frac{g \cdot daq}{m^3}$$

$$C(t) = C_i^E(t) / \sum_i C_i^E(t)\Delta t \quad \text{me'yorlangan funksiyani vaqtga bog'liq}$$

qiymatlarini 2.2-jadval shakliga keltiramiz.

### C (t) me'yorlangan funksiyaning qiymatlari

2.2-jadval

t, daq.	0	5	10	15	20	25	30
$C(t) \text{ min}^{-1}$	0	0,03	0,05	0,05	0,04	0,02	0,01

$C(\theta)$  funksiyani olish uchun, vaqtni  $\theta$  va  $S$  ni o‘lchamsiz ko‘rinishga keltiramiz, ya’ni  $C(\theta)$  ko‘rinishga. Buning uchun apparatda o‘rtacha bo‘lish vaqtini (2.14) tenglamadan topamiz.

o‘lchamsiz vaqt quyidagini tashkil etadi:

$$\theta = \frac{t}{\bar{t}} = \frac{t}{15}$$

(2.9) tenglamadan foydalanib, quyidagiga ega bo‘lamiz

$$C(\theta) = \bar{t}C(t) \approx \frac{15 C_i^E(t)}{\sum_i C_i^E(t)\Delta t}$$

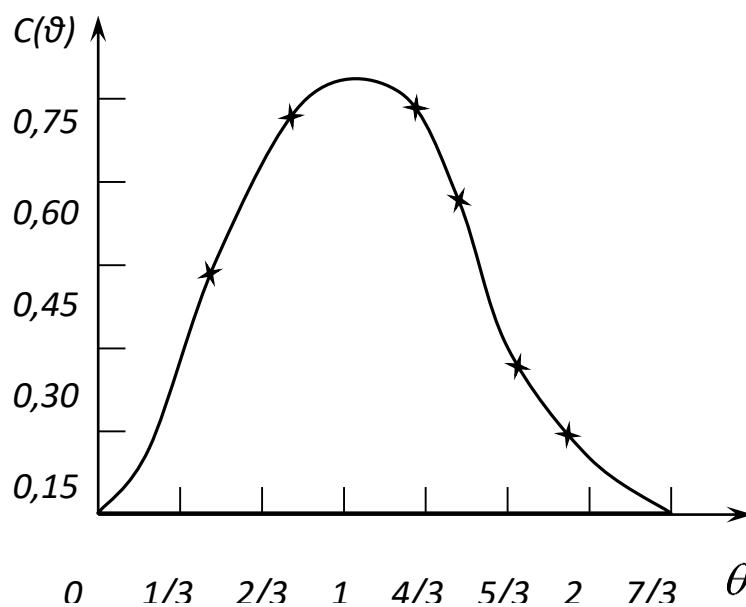
va  $t_i$ ,  $C_i^E$  qiymatlarni qo‘ygandan keyin,  $S(\theta)$  muvofiq qiymatlarini olamiz (2.3-jad.).

2.3-jadval

$S(\theta)$  o‘lchamsiz funksiyaning qiymatlari

$\theta$	0	1/3	2/3	1	4/3	5/3	2	7/3
$C(\theta)$	0	0,45	0,75	0,75	0,60	0,03	0,15	0

Bu ma’lumotlar bo‘yicha taqsimlanishning  $S$ -egri chizig‘ini quramiz (2.3-rasm).

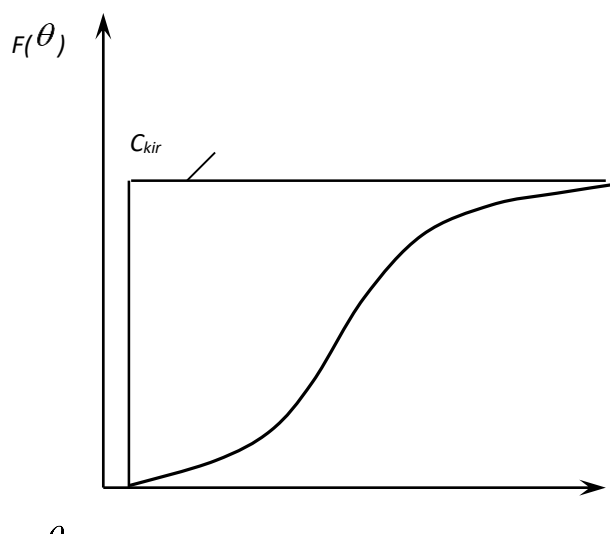


2.3-rasm. O‘lchamsiz  $S$ -egri chiziq.

**Pog‘onali g‘alayon usuli.** Bu usuldan foydalanishda apparatga kirayotgan va indikator bo‘lmagan suyuqlik oqimiga indikatorning ma’lum miqdori shunday

kiritiladiki, kirayotgan oqimda uning konsentratsiyasi sakrab noldan  $C_0$  ning ma'lum qiymatigacha o'zgaradi va shu sathda ushlab turiladi.

Signalning pog'onali shakliga mos keluvchi javob egri chizig'i 2.4-rasmda tasvirlangan ko'rinishga ega. Agar vaqt o'lchamsiz birliklarda ifodalangan bo'lsa, unda apparatdan chiqayotgan oqimdagi indikator konsentratsiyasining vaqt bo'yicha o'zgarish bog'liqligi  $F$ -egri chiziq deb ataladi. Kirayotgan oqimdagi  $F / F(\infty)$  nisbatga teng miqdor 0 dan 1 gacha o'zgaradi.



**2.4-rasm.** Tipik tajribaviy  $F$  – egri chiziq.

Oqim elementlarining apparatda bo'lish vaqti  $\theta$  dan  $\theta + d\theta$  gacha oraliqda bo'lsa, oqim elementlarining ulushi quyidagiga teng bo'ladi:

$$dF(\theta) = C(\theta)d\theta \quad (2.15)$$

Oqim elementlarining apparatda bo'lish vaqti  $\theta$  dan kichik bo'lsa, oqim elementlarining ulushi quyidagicha aniqlanadi:

$$F(\theta) = \int_0^{\theta} C(\theta)d\theta \quad (2.16)$$

Apparatdagi suyuqlikning barcha ulushlarini yig'indisi 1 ga tengligi bo'lganligi uchun  $S$ -egri chiziq tagidagi maydon 1 ga teng va  $\theta \rightarrow \infty$  da  $f(\theta) \rightarrow 1$ , ya'ni

$$\int_0^1 \theta dF(\theta) = \int_0^{\theta} \theta C(\theta)d\theta = 1 \quad (2.17)$$

Oqimning apparatda o'rtacha bo'lish vaqti quyidagini tashkil etadi:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t C_E(t) dt}{\int_0^{\infty} C_E(t) dt} = \int_0^{\infty} t C_E(t) dt = \int_0^{\infty} t dF = - \int_0^{\infty} t d(1 - F). \quad (2.18)$$

(2.18) ifodada oxirgi integralni topish uchun bo‘laklab integrallashdan foydalanamiz:

$$\int_0^{\infty} t d(1 - F) = t(1 - F) - \int_1^{\infty} (1 - F) dt \quad (2.19)$$

(2.19) tenglamadagi birinchi qo‘shiluvchi nolga teng. Bunda oqimning apparatda o‘rtacha bo‘lish vaqti apparatdan chiqishdagi oqim elementlarining taqsimlanish funksiyasi qiymatlari  $F(t) = F_E(t) / F_E(\infty)$  orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} (1 - F) dt \quad (2.20)$$

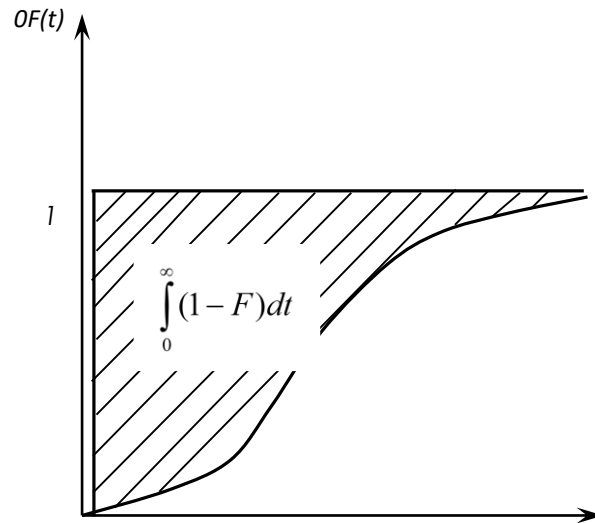
Quyidagi funksiyani kiritib

$$I(t) = 1 - F(t), \quad (2.21)$$

o‘rtacha bo‘lish vaqtini quyidagicha ifodalash mumkin

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} I(t) dt. \quad (2.22)$$

Geometrik jihatdan o‘rtacha bo‘lish vaqti  $F(t)$  egri chiziq ustidagi maydonga mos keladi (2.5-rasm).



**2.5-rasm.** O‘rtacha bo‘lish vaqtining geometrik talqini.

**Muvozanat holati usuli.** Bu usul bilan apparatda oqimlar strukturasi tadqiq qilganda apparatdan chiqish oqimiga doimiy tezlik bilan indikator kiritiladi va indikator konsentratsiyasining oqim harakatining teskariga yo‘nalgandagi o‘zgarishi aniqlanadi. Indikator zarrachalari apparatga oqimning teskari aralashtirishi hisobiga tushadi. Apparatning uzunligi bo‘yicha indikator konsentratsiyasining taqsimlanishi muvozanat rejimda aniqlanadi.

Diffuziyali model parametri - bo‘ylama aralashtirish koeffitsiyenti ( $D_l$ ) ni baholash uchun muvozanat holati usullaridan foydalanish misolini ko‘rib chiqamiz.

Diffuziyali modelning tenglamasi quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

$$\frac{d^2 C}{dz^2} - Pe \frac{dC}{dz} = 0 \quad (2.23)$$

bunda,  $z$  – o‘lchamsiz koordinata;  $S$  – konsentratsiya;  $Pe$  – Pekle soni. Quyidagi chegaraviy shartlarni yozamiz:

$$z = 1 \text{ da } C_k = 0, \quad C \frac{1}{Pe} \cdot \frac{dC}{dz} \quad (2.24)$$

$$z = 1 \text{ da } C = C_k \quad (2.25)$$

(2.23) tenglamaning umumiy yechimi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$C = A_1 + A_2 e^{Pe z}, \quad (2.26)$$

bundan quyidagi kelib chiqadi:

$$\frac{dC}{dz} = A_2 Pe * e^{Pe z} . \quad (3.27)$$

$z = 0$  dagi chegaraviy shartdan foydalanib,  $A_x$  qiymatini topamiz:

$$A_1 + A_2 e^0 = \frac{1}{Pe} * A_2 Pe * e^0; \quad A_1 = 0 \quad (2.28)$$

$z = 1$  dagi shartdan esa quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$C_k = A_2 e^{Pe}; \quad A_2 = C_k e^{-Pe} \quad (2.29)$$

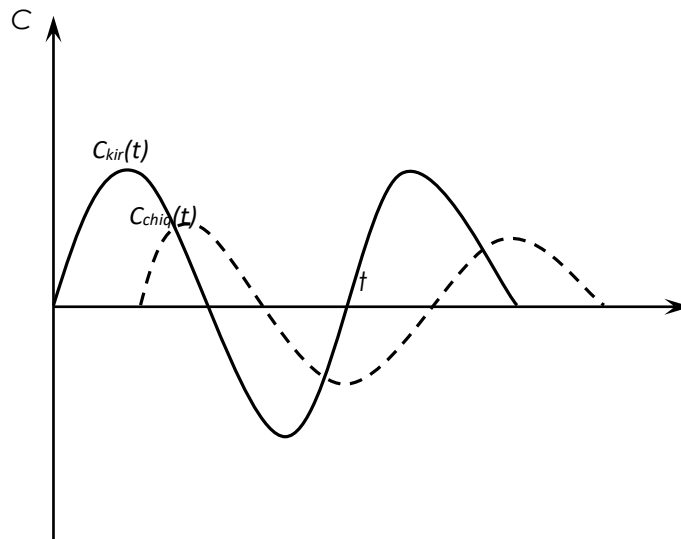
Shuning uchun ushbu ko‘rilayotgan holda diffuziyali model tenglamasining yechimi quyidagicha bo‘ladi:

$$C = C_k e^{Pe(z-1)}. \quad (2.30)$$

Apparatning qandaydir kesimida indikatorning konsentratsiyasini aniqlab,  $Re$  ni topish mumkin va apparatning bir necha kesimlarida konsentratsiyani o‘lchab, model monandligini tekshirish uchun foydalanish mumkin bo‘lgan ma’lumotlarni olamiz. Agar oqimda bo‘ylama aralashtirish koeffitsiyenti apparatning uzunligi bo‘yicha bir xil bo‘lsa, unda turli nuqtalarda olingan  $Re$  ning qiymatlari bir-biriga mos keladi.

***Sinusoidal g‘alayonlash usuli.*** Kiruvchi oqimga sinusoidal g‘alayon ta’sir ettirilsa, chiqishda o‘zida sinusoidani ifodalaydigan, lekin boshqa amplitudaga ega va faza bo‘yicha siljigan javob funksiyasi olinadi. Kirishdagi sinusoidal g‘alayon  $A_0$  amplituda va chastota  $\omega = 2\pi / T$  (rad/s) bilan aniqlanadi, bunda,  $T$  – tebranishlar davri. Chiqish sinusoidada amplituda o‘zgaradi va  $\varphi$  faza siljishi paydo bo‘ladi (2.6-rasm).

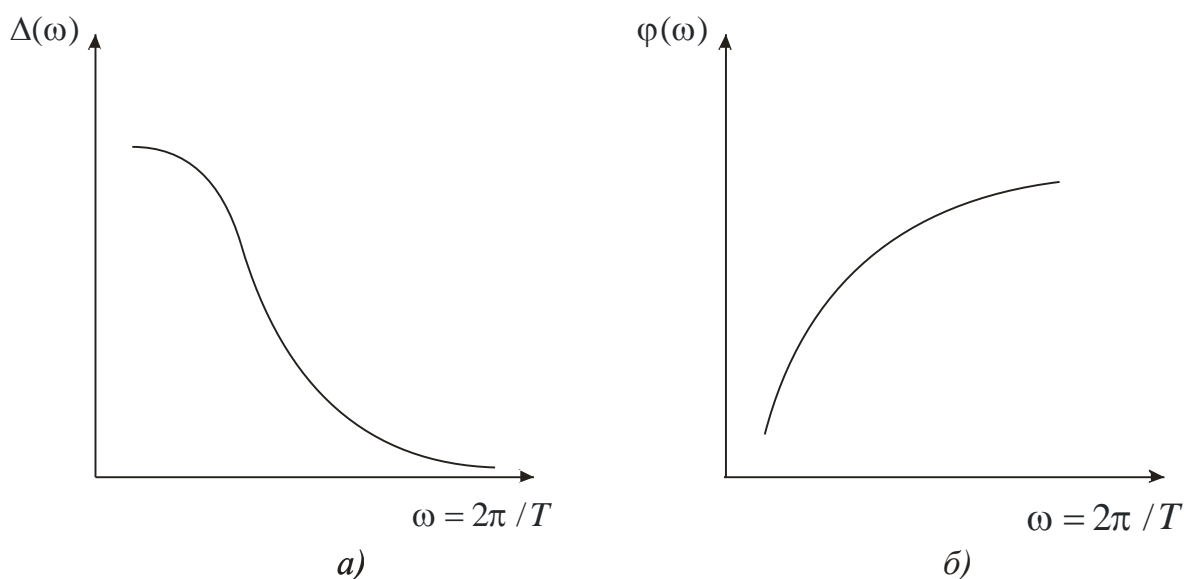




**2.6-rasm.** Trasserni sinusoidal berishda kirish va chiqish signallarning ko‘rinishi.

Bir obyekt uchun  $\varphi$  qiymat va amplitudaning o‘zgarishi g‘alayonlovchi signalning chastota funksiyalaridir. Kirish va chiqish sinusoidalarini solishtirish natijasida amplituda-chastota va faza- chastota tavsiflari olinadi (2.7-rasm).

Amplitudalar nisbati *kuchaytirish koeffitsiyenti*  $\Delta(\omega)$  deb ataladi.



**2.7-rasm.** Tizim javobining amplituda-chastota (a) va faza-chastota (b) tavsiflari.

Kirishga sinusoidal signal berilgandagi diffuziyali modelning bo‘ylama aralashtirish koeffitsiyenti  $D_1$  [(2.87) formulaga qarang] ni aniqlanishini ko‘rib chiqamiz. Chegaraviy shartlar quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$C(t,0) = C_0 A_0 \sin \omega t , \quad (2.31)$$

$$C(t, \infty) = C_0. \quad (2.32)$$

bunda,  $S_0$  – indikatorning o‘rtacha konsentratsiyasi;  $A_0 - z = 0$  dagi (apparatga kirishda) tebranishlar amplitudasi.

Diffuziyali model tenglamasi uchun Laplas o‘zgartirishini qo‘llab, (2.31), (2.32) chegaraviy shartlarni hisobga olgan holda apparat chiqishdagi indikator konsentratsiyasi uchun quyidagi ifodani olish mumkin:

$$C(t,1) = C_0 + A_0 e^{-B} \sin(\omega t - \varphi), \quad (2.33)$$

Bunda

$$B = \ln \frac{A_0}{A_l} = \frac{ul}{2D_l} \left\{ \sqrt[4]{1 + \left(\frac{4\omega D_l}{u^2}\right)^2 \cos \left[ \frac{\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{4\omega D_l}{u^2}\right)}{2}\right]} \right\} - 1, \quad (2.34)$$

$l$  — apparatning uzunligi;  $A_l$  — apparat chiqishdagi tebranishlar amplitudasi.

Ildiz ostidagi ifodani va trigonometrik funksiyani qatorga yoyib, yuqori darajali a‘zolarini inobatga olmasak, (2.34) tenglama quyidagi ko‘rinishga ega bo‘lishi mumkin:

$$B = \frac{l\omega^2 D_l}{u^3} - \frac{5l\omega^2 D_l^3}{u^7} \quad (2.35)$$

(2.35) tenglamaning ikkinchi a‘zosini inobatga olmasak, quyidagi ifodani olamiz:

$$B = \ln \frac{A_0}{A_l} = \frac{l\omega^2 D_l}{u^3} \quad (2.36)$$

Fazalar siljishini aniqlovchi tenglama quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\varphi = \frac{ul}{2D_l} \sqrt{\sqrt{\frac{1}{4} + \left(\frac{2D_l\omega}{u^2}\right)^2} - \frac{1}{2}} \quad (2.37)$$

Qatorga yoyib, yuqori darajali a‘zolarini chiqarib tashlagandan so‘ng, oxirgi tenglama quyidagi sodda ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$\varphi = \frac{\omega L}{u} \quad (2.38)$$

Endi fazalar siljishining tajriba qiymati  $f$  va  $A_0 / A_{-}$  amplitudalar nisbati bo'yicha (2.36), (2.37) tenglamalar asosida bo'ylama aralashtirish koeffitsiyenti  $D_l$  ning qiymatini baholash qiyin emas.

## 2.2. Apparatda bo'lish vaqti bo'yicha oqim elementlari taqsimlanishining asosiy tavsiflari

Oqim zarralarining apparatda bo'lish vaqtini taqsimlanishining hisobi momentlarning statistik tushunchasiga asoslangan va zichlik ehtimolligining taqsimlanishiga bog'liq. Taqsimlanishning eng muhim xossalarini aniqlaydigan tasodifiy kattalikni taqsimlanishining asosiy xossalarini bir necha sonli tavsiflar bilan tavsiflash mumkin. Bunday tavsiflar tizimi – tasodifiy kattalikni taqsimlanish momentlari hisoblanib, ular quyidagi uchta alomat bo'yicha tizimlanadi: moment  $r$  tartibi bo'yicha; tasodifiy kattalikni hisoblashning boshlanishi bo'yicha; tasodifiy kattalikning ko'rinishi bo'yicha.

$r$  momentning tartibi ixtiyoriy butun son bo'lishi mumkin. Amaliyotda esa nolunchi, birinchi, ikkinchi, uchinchi va to'rtinchi tartibli momentlar ko'riladi, ya'ni  $\beta = 0, 1, 2, 3, 4$ . Tasodifiy kattalik hisobini boshlashdan kelib chiqib, boshlang'ich va markaziy momentlar ajratiladi. Taqsimlash funksiyaning *boshlang'ich momentlarini* umumiy ko'rinishi quyidagicha:

$$M_{\beta} = \int_0^{\infty} t^{\beta} C(t) dt. \quad (2.39)$$

Momentlarning har biri ma'lum fizik mazmunga ega. Nolunchi moment – egri chiziq ostidagi maydonni; birinchi moment - o'rta miqdorni (bo'lishning o'rta vaqti), yoki bo'lish vaqtining tasodifiy kattaligining matematik kutilmasini tavsiflaydi. Matematik kutilmalardan hisoblanadigan tasodifiy kattaliklar *markazlashtirilgan* deb ataladi. Markazlashtirilgan kattalik momentlari *markazlashgan* deb ataladi. Markazlashgan momentlarning umumiy ko'rinishi quyidagicha:

$$M_{\beta} = \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^{\beta} C(t) dt. \quad (2.40)$$

Ikkinchi markazlashgan moment tasodifiy kattalikning o'rtacha bo'lish vaqtiga nisbatan yoyilishini tavsiflaydi va u *dispersiya* deb ataladi hamda  $\sigma_t^2$  orqali belgilanadi:

$$\sigma_t^2 = \mu_2 = \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^2 C(t) dt. \quad (2.41)$$

Uchinchi markazlashgan moment *asimmetrik* taqsimlanishni tavsiflaydi va quyidagiga teng:

$$\mu_3 = \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^3 C(t) dt. \quad (2.42)$$

To'rtinchi markazlashgan moment *o'tkir cho'qqili* taqsimlanishni ifodalaydi:

$$\mu_4 = \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^4 C(t) dt. \quad (2.43)$$

Apparatda oqim elementlarining harakatlari stoxastik tabiatga ega bo'lganligi sababli, ularni o'rtacha bo'lish vaqti ma'lum taqsimlanish zichligiga ega tasodifiy kattalik hisoblanadi. Apparatda bo'lish vaqti bo'yicha oqim elementlarini taqsimlash zichligi funksiyasining bahosi bo'lib, impulsli g'alayon ta'sirida apparatning chiqishida olinayotgan  $C$  – egri chiziq xizmat qilishi mumkin. Unda  $C$  – egri chiziqning momentlari oqim elementlarining apparatda bo'lish vaqti bo'yicha taqsimlashining asosiy tavsiflari hisoblanib, shu oqim strukturasi aniqlab beradi.

Endi me'yorlangan va o'lchamsiz  $C$  – egri chiziqning momentlar bog'liqligini ko'rib chiqamiz. Me'yorlangan  $C$  – egri chiziqning qiymatlari quyidagicha aniqlanadi:

$$C(t) = \frac{C_E(t)}{\int_0^{\infty} C_E(t) dt} \quad (2.44)$$

Me'yorlangan  $C$  – egri chiziqning  $\beta$  tartibli boshlang'ich momenti:

$$\mu_{\beta}^t = \int_0^{\infty} t^{\beta} C(t) dt \quad (2.45)$$

o'lchamsiz konsentratsiya  $C(\theta)$  va vaqt  $\theta$  ni kiritib,  $C(\theta) = C(t)t$  va  $\theta = \frac{t}{\bar{t}}$  ni hisobga olgan holda (2.45) tenglamaga qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\mu_{\beta}^t = \int_0^{\infty} (\theta \bar{t})^{\beta} \frac{C(\theta)}{t} \bar{t} d\theta = t^{-\beta} \int_0^{\infty} \theta^{\beta} C(\theta) d\theta \quad (2.46)$$

(2.46) tenglamaning o'ng qismidagi integral o'lchamsiz bo'lish vaqtining  $\beta$  tartibli boshlang'ich momenti  $M_3^{\theta}$  bo'yicha olinadi. Bundan  $\beta$  tartibli o'lchamli va o'lchamsiz boshlang'ich momentlar orasidagi quyidagi bog'lanish olinadi:

$$\mu_{\beta}^t = t^{-\beta} M_{\beta}^{\theta} \quad (2.47)$$

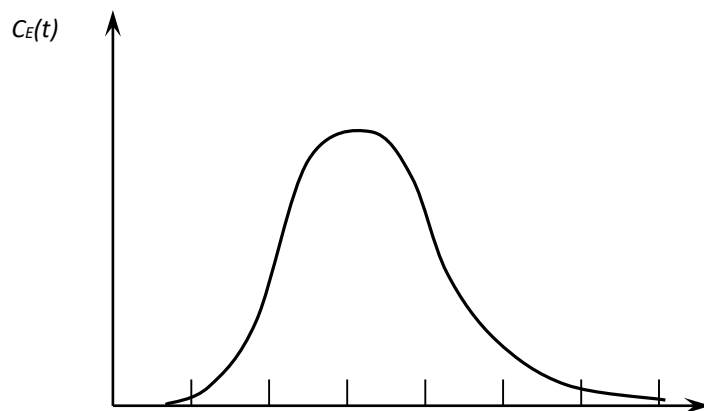
Shunga o'xshash holda me'yorlangan  $S$  – egri chiziqning  $\beta$  tartibli markaziy momenti  $\mu_{\beta}^t$  ning ifodasiga  $C(t) = C(\theta)/t$  va  $t = t(\theta)$  larni qo'yib, o'lchamli va o'lchamsiz markaziy momentlar orasida bog'lanishni olamiz:

$$\mu_{\beta}^t = t^{-\beta} M_{\beta}^{\theta} \quad (2.48)$$

***Momentlar usuli yordamida eksperimental  $S$  – egri chiziqlarni qayta ishlash.***  
Obyektni tadqiq qilish natijasida tajribaviy  $C$  – egri chiziq olingan bo'lsin (2.8-rasm). Tahliliy trapetsiyalar formulasidan foydalanib, berilgan  $C$  – egri chiziqning boshlang'ich momentlarni hisoblashni ko'rib chiqamiz. Tajribaviy  $C$  – egri chiziqning nolinchi tartibli boshlang'ich momenti egri chiziq tagidagi maydon bilan aniqlanadi:

$$M_0^t = \int_0^{\infty} C_E(t) dt \approx \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n-1} (C_j^E + C_{j+1}^E) \Delta t \quad (2.49)$$

bunda,  $n$  — tajribaviy  $C$  – egri chiziqning bo'linish nuqtalar soni.



## 2.8-rasm. Tajribaviy $C$ – egri chiziq.

Me'yorlangan  $C$  – egri chiziqning birinchi tartibli boshlang'ich momenti o'rtacha bo'lish vaqti  $t$  ni aniqlaydi. Me'yorlangan  $C$  – egri chiziqning ta'rifini hisobga olib, qo'yidagiga ega bo'lamiz:

$$M_1^t = \int_0^{\infty} tC(t)dt = \bar{t} \approx \frac{\sum_{j=1}^{n-1} (t_{j+1}C_{j+1}^E + t_jC_j^E)}{\sum_{j=1}^{n-1} (C_{j+1}^E + C_j^E)} \quad (2.50)$$

Umumiy holda me'yorlangan  $C$  – egri chiziqning  $s$  – tartibli boshlang'ich momenti  $M_s^t$  quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\begin{aligned} M_1^t &= \int_0^{\infty} t^s C(t)dt = \frac{1}{(s+1)} \int_0^{\infty} C(t)d(t^{s+1}) \approx \\ &\approx \frac{1}{s+1} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n-1} (t_{j+1}C_{j+1}^E)(t_{j+1}^{s+1} - t_j^{s+1})}{\sum_{j=1}^{n-1} (C_{j+1}^E + C_j^E)\Delta t} \end{aligned} \quad (2.51)$$

Markaziy momentlarni hisoblashda to'xtalamiz. Momentlar ta'rifidan foydalanib, quyidagi tenglamalarning haqqoniyligiga ishonch hosil qilamiz:

$$\mu_0^t = \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^0 C(t)dt = 1, \quad (2.52)$$

$$\mu_0^t = \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^0 C(t)dt = 0, \quad (2.53)$$

Ikkinchi tartibli markaziy moment  $\mu_2^t$   $C$  – egri chiziqning *dispersiyasi* deb ataladi va  $C$  o'rta qiymatga nisbatan bo'lish vaqti taqsimlashining yoyilish tavsifi bo'lib xizmat qiladi. Ikkinchi markaziy moment  $\mu_2^t$  ikkinchi boshlang'ich moment  $M_2^t$  va o'rtacha bo'lish vaqti  $t$  larning qiymatlari orqali ifodalanishi mumkin:

$$\begin{aligned} \mu_2^t &= \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^2 C(t) dt = \int_0^{\infty} t^2 C(t) dt - 2\bar{t} \int_0^{\infty} t C(t) dt + \\ &+ \bar{t}^2 \int_0^{\infty} C(t) dt = M_2^t - 2\bar{t}M_1 + \bar{t}^2 = M_2^t - \bar{t}^2. \end{aligned} \quad (2.54)$$

Umumiy holda me'yorlangan  $C$  – egri chiziqning  $s$  – tartibli markaziy momenti quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} \mu_2^t &= \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^s C(t) dt = \frac{1}{s+1} \int_0^{\infty} C(t) d(t - \bar{t})^{s+1} \approx \\ &\approx \frac{1}{s+1} \frac{\sum_{j=1}^{n-1} (C_{j+1}^E + C_j^E) [(t - \bar{t})_{j+1}^{s+1} - (t - \bar{t})_j^{s+1}]}{\sum_{j=1}^{n-1} (C_{j+1}^E + C_j^E) \Delta t} \end{aligned} \quad (2.55)$$

**Tajribaviy  $F$  – egri chiziqdagi ishlov berish.** Agar  $C$  – egri chiziq bo'lish vaqti bo'yicha oqim elementlarini taqsimlanish zichligi funksiyasining bahosi bo'lib xizmat qilsa, unda  $F$ - egri chiziq (pog'onali g'alayonga tizimning javobi) taqsimlanish funksiyasining bahosidir. Amalda tajribaviy  $F$ - egri chiziqdan  $F_e(t)$  me'yorlangan  $F(t)$  ga o'tish qulay bo'lib, u quyidagicha ifodalanadi:

$$F(t) = F_e / F(\infty). \quad (2.56)$$

Me'yorlangan  $F$  – egri chiziqning nolinch boshlang'ich momenti quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$M_0^t = \int_0^{\infty} C(t) dt = F(\infty). \quad (2.57)$$

Birinchi, ikkinchi, ... ,  $s$  – tartibli momentlar uchun ifodalarni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\begin{aligned} M_1^t &= \int_0^{\infty} t C(t) dt = \int_0^{\infty} t dF = - \int_0^{\infty} t d(1 - F) = \int_0^{\infty} (1 - F) dt \approx \\ &\approx \sum_{j=1}^{n-1} \frac{2 - F_{j+1} - F_j}{2} \Delta t, \end{aligned} \quad (2.58)$$

$$\begin{aligned}
M_2^t &= \int_0^{\infty} t^2 C(t) dt = \int_0^{\infty} t^2 dF = 2 \int_0^{\infty} t(1-F) dt \approx \\
&\approx \sum_{j=1}^{n-1} [t_{j+1}(1-F_{j+1}) + t_j(1-F_j)] \Delta t, \\
M_s^t &= s \int_0^{\infty} t^{s-1} (1-F) dt = \int_0^{\infty} (1-F) dt^2 \approx \sum_{j=1}^{n-1} \frac{2-F_{j+1}-F_j}{2} (t_{j+1}^s - t_j^s). \quad (2.59)
\end{aligned}$$

Markaziy momentlar quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$M_0^t = \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^0 C(t) dt = 1, \quad (2.60)$$

$$M_1^t = \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^1 C(t) dt = 0, \quad (2.61)$$

$$M_2^t = \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^2 C(t) dt = M_2^t - \bar{t}^2, \quad (2.62)$$

$$\begin{aligned}
M_s^t &= \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^s C(t) dt = 2 \int_0^{\infty} (1-F) d(t - \bar{t})^s + (-1)^s (\bar{t})^s \approx \\
&\approx \sum_{j=1}^{n-1} (2 - F_{j+1} - F_j) [(t_{j+1} - \bar{t})^s - (t_j - \bar{t})^s] + (-1)^s (\bar{t})^s \quad (2.63)
\end{aligned}$$

**Bo‘lish vaqti bo‘yicha oqim elementlarining taqsimlanish momentlarini obyektning uzatish funksiyasi orqali aniqlash.** Murakkab gidrodinamikali apparatlar uchun vaqt bo‘yicha bo‘lishning taqsimlanish funksiyasining momentlarini baholash o‘ta ko‘p mehnat talab qiladigan masalani ifodalaydi. Ko‘pincha bunday hollarda ko‘rilayotgan kanal bo‘yicha apparatning uzatish funksiyasidan foydalanish qulay. Umumiy holda uzatish funksiyasi chiqishdagi Laplas bo‘yicha o‘zgartirilgan signalni  $C(p)$  kirishdagi Laplas bo‘yicha o‘zgartirilgan signalga  $C_{kir}$  nisbati sifatida topish mumkin:



$$W(p) = \frac{\tilde{C}(p)}{\tilde{C}_{kir}(p)} \quad (2.64)$$

bu yerda Laplas o'zgartirishi quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$L[C(t)] = \int_0^{\infty} e^{-pt} C(t) dt, \quad (2.65)$$

$$P = \sigma + i\omega \quad (2.66)$$

Impulsi kirish funksiyasi uchun ( $\delta(t)$  delta funksiya) Laplas o'zgartirishi quyidagini beradi:

$$C_{kir}(p) = L[\delta(t)] = 1. \quad (2.67)$$

Unda apparatning impulsi kirish g'alayoni ta'siridagi uzatish funksiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$W(p) = \tilde{C}(p) \quad (2.68)$$

Impulsi g'alayon ta'sir etayotgan apparatning uzatish funksiyasini ko'rib chiqamiz:

$$W(p) = L[C(t)] = \int_0^{\infty} e^{-pt} C(t) dt. \quad (2.69)$$

(2.69) ifodada  $r = 0$  deb, quyidagini olamiz:

$$W(0) = \int_0^{\infty} C(t) dt = M_0^t. \quad (2.70)$$

Shunday qilib,  $r = 0$  ga teng bo'ganda apparatning uzatish funksiyasi impulsi g'alayonga javob bo'lgan funksiyaning nolinci boshlang'ich momentiga tengdir.

$r$  o'zgaruvchi bo'yicha  $W(r)$  uzatish funksiyasini differensiallaymiz va  $r = 0$  nuqtada hosilaning qiymatini ko'rib chiqamiz:

$$\begin{aligned} \frac{dW(p)}{dp} \Big|_{p=0} &= \left[ \int_0^{\infty} e^{-pt} C(t) dt \right] \Big|_{p=0} = \\ &= \int_0^{\infty} \frac{d}{dp} [e^{-pt} C(t)] \Big|_{p=0} = \int_0^{\infty} -tC(t) dt = -M_1. \end{aligned} \quad (2.71)$$

Shunday qilib, quyidagini olamiz:

$$W_p'(0) = -M_1. \quad (2.72)$$

Shunga o'xshash holda,  $r$  bo'yicha uzatish funksiyasi  $W(p)$  dan olingan ikkinchi tartibli hosilani ko'rib chiqamiz:

$$\left. \frac{d^2 W(p)}{dp^2} \right|_{p=0} = \int_0^{\infty} t^2 C(t) dt = M_2^t \quad (2.73)$$

yoki

$$W_p''(0) = -M_2^t. \quad (2.74)$$

Nihoyat, umumiy holda  $n$  – tartibli hosila uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$W_p^n(0) = (-1)^n M_n^t. \quad (2.75)$$

### 2.3. Ideal aralashtirish va ideal siqib chiqarish modellari

Bo'lib o'tishning vaqt bo'yicha taqsimlashini hisobga olib, barcha o'zaro ta'sirlashuvchi diffuziyali va issiqlik oqimlarning xilma-xilligini quyidagi tipik matematik modellar ko'rinishida shakllantirish mumkin: ideal aralashtirish, ideal siqib chiqarish, diffuziyali, yacheykali, sirkulyatsion va kombinatsiyalangan. Sanab o'tilgan tipik modellar quyidagi talablarga javob beradi:

1) ko'rilayotgan sharoitlarda real oqimning asosiy fizik qonuniyatlarini aks ettiradi;

2) yetarlicha soddadir;

3) tajribaviy yoki nazariy model parametrlarini aniqlashga imkon beradi;

4) konkret jarayonlarni hisoblash uchun ulardan foydalanishga imkon beradi.

Bu paragrafda ideal aralashtirish va ideal siqib chiqarish modellari ko'rib chiqiladi.

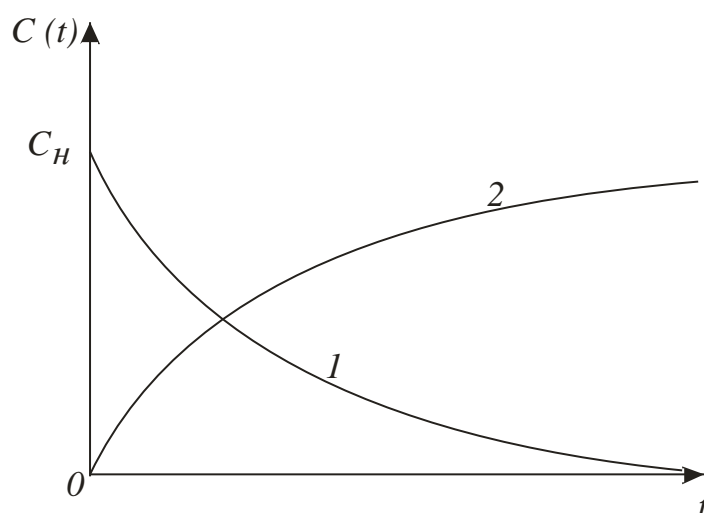
Ideal aralashtirish modeli apparatga kirayotgan modda uning butun hajmi bo'yicha bir onda taqsimlanadigan apparatga muvofiq keladi. Apparatning istalgan nuqtasida moddaning konsentratsiyasi uning chiqishdagi konsentratsiyasiga teng. Ideal aralashtirish modelining tenglamasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$V \frac{dC}{dt} = \nu(C_{kir} - C), \quad (2.76)$$

bunda,  $C_{kir}$  – moddaning kirishdagi konsentratsiyasi;  $C$  — moddaning apparatdagi va chiqishidagi konsentratsiyasi;  $V$  — apparatning hajmi;  $v$  – apparatdan o‘tayotgan oqimning hajmiy sarfi.

Yuvib ketish usuli uchun kirish g‘alayonga ideal aralashtirish modelining javobi  $C_n$  boshlang‘ich konsentratsiyali kamayuvchi eksponensial bog‘liqlikka muvofiqdir (2.9-rasmda 1-egri chiziq):

$$C(t) = C_n e^{-t/\bar{t}} \quad (2.77)$$



**2.9-rasm.** Ideal aralashtirish modeli uchun javob funksiyalari:

1- yuvib ketish usuli (indikatorni impulsli kiritish usuli);

2- indikatorni pog‘onali kiritish usuli.

Impulsli g‘alayonda tenglama o‘xshash ko‘rinishga ega, chunki  $g$  miqdorda kiritilgan indikator butun hajm bo‘yicha bir onda taqsimlanadi va uning yuvib ketilishi boshlanadi. Unda boshlang‘ich konsentratsiya  $C_n = g / V$  ga teng. Mos ravishda uning apparatdan chiqishidagi konsentratsiyasining o‘zgarishi (2.77) tenglama bilan tavsiflanadi (2.9-rasmdagi 1-egri chiziq).

Indikatorning pog‘onali kiritilganda konsentratsiyaning  $t = 0$  vaqt momentida  $C = 0$  dan  $C = C_{kir}$  gacha sakrash ko‘rinishidagi o‘zgarishiga bo‘lgan javob funksiyasi quyidagi ko‘rinishni qabul qiladi (2.9-rasmda 2-egri chiziq):

$$C(t) = C_{kir} (1 - e^{-t/\bar{t}}). \quad (2.78)$$

Ideal aralashtirish apparatining uzatish funksiyasi modelning kirish tenglamasini Laplas bo'yicha o'zgartirish yordamida aniqlanadi va quyidagi ko'rinishga ega:

$$W(p) = \frac{1}{1 + tp} \quad (2.79)$$

Ideal aralashtirish modeli ancha soddaligi bilan ajralib turadi. Shu bilan bir qator hollarda uning qo'llanishi to'la asoslangan. Bu birinchi navbatda akslantiruvchi to'siqlari bor jadal aralashtiruvchi apparatlarga tegishlidir (aralashtirgichli apparatlar, aralashtirish tezliklari katta bo'lgan sharoitlardagi osti sferalisilindrik apparatlar va h.k.).

Ideal siqib chiqarish modelining asosida harakatga perpendikular yo'nalishda bir maromda taqsimlangan moddaning aralashtirishsiz porshenli oqish farazi yotadi. Tizimda barcha zarralarning bo'lish vaqti bir xil va tizim hajmini suyuqlikning hajmiy sarfiga nisbatiga teng. Bunday oqim, masalan, quvurli apparatda suyuqlikning turbulentli oqish rejimida bo'lishi mumkin. Bu holda tezliklar profilini bir maromli, ya'ni oqimning ayrim elementlarini bo'lish vaqti bir xil deb hisoblasak bo'ladi. Ideal siqib chiqarish modelining tenglamasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\frac{dC}{dt} + u \frac{dC}{dx} = 0, \quad (2.80)$$

bunda,  $t$  — vaqt,  $x$  —  $i$  tezlik bilan bo'ylama bo'yicha ko'chayotgan moddaning koordinatasi.

Quyidagi boshlang'ich

$$t = 0, \quad 0 < x \leq 1 \text{ da } C(0, x) = C_b(x) \quad (2.81)$$

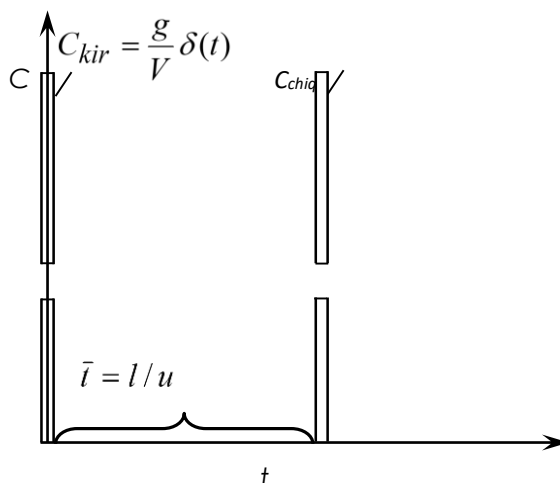
$$\text{va chegaraviy } x = 0, \quad t > 0 \text{ da } C(t, 0) = C_{kir}(x) \quad (2.82)$$

shartlarni qanoatlantiradigan (2.80) tenglamaning yechimi quyidagicha:

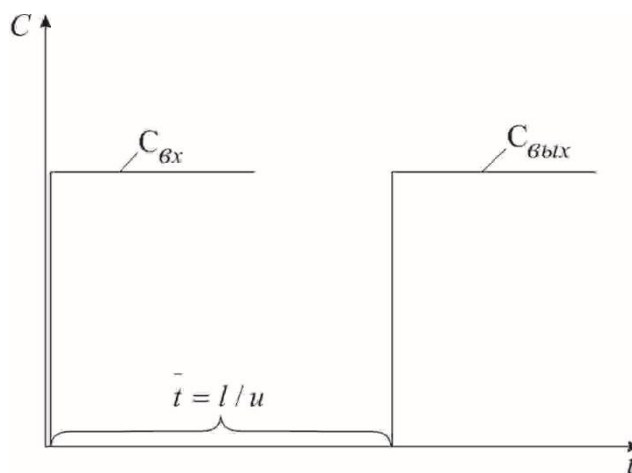
$$C(t, l) = \begin{cases} C_n(l - tu), & t < \frac{l}{u}, \\ C_{kir}(t - \frac{l}{u}), & t \geq \frac{l}{u}. \end{cases} \quad (2.83)$$

(2.83) tenglamaning yechimidan kelib chiqadiki, ideal siqib chiqarish apparati kirishidagi konsentratsiyaning ixtiyoriy o'zgarishi uning chiqishida o'rtacha bo'lish vaqti  $\bar{t} = l / u$  (bunda,  $l$  - apparat uzunligi) ga teng vaqtdan keyin sodir bo'ladi.

(2.83) tenglamaning yechimiga muvofiq ideal siqib chiqarish modeli uchun impulsli va pog'onali g'alayonlarga javoblar mos ravishda 2.10 va 2.11-rasmlarda ko'rsatilgan:



**2.10-rasm.** Ideal siqib chiqarish modeli uchun impulsli g'alayonga javob.



**.11-rasm.** Ideal siqib chiqarish modeli uchun pog'onali g'alayonga javob.

Ideal siqib chiqarish apparatlari uchun uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$W(p) = e^{-pt} . \quad (2.84)$$

Ideal siqib chiqarish modeliga birinchi yaqinlashish quvur uzunligining diametriga bo'lgan nisbati katta bo'lgan quvurli apparatlarda yuz beradigan jarayonlarga mos keladi.

### **Nazorat savollari**

1. Oqimlar strukturasi tadqiqot usullarini aytib o'ring.
2. Muvozanat holati usuli yordamida oqimlar strukturasi qanday tadqiq etiladi?
3. Sinusoidal g'alayonlash usuli yordamida oqimlar strukturasi qanday tadqiq etiladi?
4. Tasodifiy kattalik taqsimlanishining qanday xususiyatlarini bilasiz?
5. Momentlarning fizikaviy mazmunini tushuntiring.
6. Qanday turdagi momentlar bo'lishi mumkin?
7. Momentlarning statistik tushunchasi, momentning tartibi, boshlang'ich moment, markaziy moment, taqsimlanishning asimmetriyasi deganda nimani tushunasiz?
8. S-egri chiziqning boshlang'ich momentlari qay tarzda hisoblanadi?
9. S-egri chiziqning markaziy momentlari qay tarzda hisoblanadi?
10. Normallangan S-egri chiziq'i deganda nimani tushunasiz?
11. F- egri chiziqning boshlang'ich momentlari qay tarzda hisoblanadi?
12. Qanday qilib ob'ektning uzatish funksiyasi orqali momentlarni aniqlash mumkin?
13. Tipik matematik modellarni aytib o'ring.
14. Tipik modellarga quyiladigan talablarni aytib o'ring.
15. Ideal aralashtirish modelining tenglamasini yozing.
16. Ideal siqib chiqarish modelining tenglamasini yozing.
17. Bir parametrlilik diffuziyaviy modelning asosiy tenglamasini yozing.
18. Molekulyar diffuziya tenglamasini yozing.
19. Teskari aralashtirish koeffitsientiga tushuncha bering.
20. Turbulent diffuziya koeffitsientiga tushuncha bering.

### **Foydalangan adabiyotlar ruyxati**

1. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari. Oliy o'quv yurtlari uchun darslik. 2-chi nashr: qayta ishlangan va to'ldirilgan. –T.: Fan va texnologiya, 2019.

2. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari. Oliy o‘quv yurtlari uchun darslik. –T.: Fan va texnologiya, 2015.
3. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va identifikatsiyalash. Oliy o‘quv yurtlari uchun o‘quv qo‘llanma. –T.: Fan va texnologiya, 2019.
4. Luigi Bocola Identifying Neutral Technology Shocks. University of Pennsylvania, 2014
5. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P., Bazarov M.B., Xalilov J.A. Boshqarish sistemalarini kompyuterli modellashtirish asoslari. Oliy o‘quv yurtlari uchun o‘quv qo‘llanma. –N.: Navoiy-Gold-Serves, 2009.
6. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P., Gulyamov Sh.M. Основы процессов разделения многокомпонентных смесей. – T: “Universitet”, 2017.
7. Yusupbekov N.R., Gulyamov Sh.M., Muxitdinov D.P., Avazov Yu.Sh. Математическое моделирование процессов ректификации многокомпонентных смесей. –T.: TashGTU, 2014.

### **3-mavzu. Optimallashtirish masalasining qo‘yilishi. Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari**

#### **Режа:**

- 3.1. Optimallashtirish masalasining qo‘yilishi
- 3.2. Optimallashtiriladigan o‘zgaruvchilarning tavsifi
- 3.3. Optimallashtirish usullarining tafsiflanishi
- 3.4. Optimallashtirishning tajribaviy - statistik usuli

#### **3.1. Optimallashtirish masalasining qo‘yilishi**

Optimallashtirish – bu kimyoviy jarayonni amalga oshirishning eng yaxshi shartlarini topish protsedurasi.

Optimallashtirish masalasi xuddi ko‘p o‘zgaruvchili funksiyalarning ekstremumlarini qidirishning matematik masalasi kabi qaraladi. Ko‘p o‘zgaruvchilar uchun optimallashtirish masalasining ifodalanishi:

Optimallashtirilayotgan  $\bar{u}$  o'zgaruvchilarning (optimallashtirish resurslari)  $\bar{u}^{rux.et.}$  ta'rifining ruxsat etilgan sohasidagi, optimallik mezonining ekstremum (eng katta yoki eng kichik) kattaliklarini ta'minlovchi qiymatini topish lozim.

Natijada optimallashtirish masalasini quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$opt R(\bar{y})$$

$$\bar{u} \in \bar{u}^{rux.}$$

Chiqish o'zgaruvchisi  $\bar{y}$  bilan boshqa o'zgaruvchilarning bog'liqligi fizik - kimyoviy operatorli aks ettirish bilan beriladi:  $\bar{y} = \Omega(\bar{x})\Omega(\bar{u}, \bar{x})$

bu yerda modellashtirilayotgan obyektning holatini aniqlovchi kirish o'zgaruvchisi  $\bar{x}$  ikki guruhdagi o'zgaruvchilarga ajratiladi:  $\bar{u}$  – nazorat qilish va rostlash mumkin bo'lgan optimallashtiriluvchi o'zgaruvchi va  $\bar{x}$  – nazorat qilinadigan, lekin rostlanmaydigan o'zgaruvchi (xuddi optimallashtirish resurslari kabi ishlatib bo'lmaydi).

Natijada optimallashtirish masalasi quyidagi ko'rinishda keltiriladi:

$$opt R(\bar{u})$$

$$\bar{u} \in \bar{u}^{rux.}$$

Optimallashtirilayotgan  $\bar{u}$  o'zgaruvchi va  $\bar{y}$  chiqish o'zgaruvchilariga chegaralanishlar qo'yish mumkin (o'zgaruvchilarni faqat ma'lum chegaralarda o'zgartirish imkoni).

Amaliyotda optimallashtirish masalalarini yechishda  $\bar{y}$  chiqish o'zgaruvchilari yo tajriba ma'lumotlari – optimallashtirishning tajribaviy – statistika usulidan yo jarayonlarning matematik modellari – optimallashtirishning sonli usuli yordamida aniqlanadi.

Matematik modellar ushbu holda funksional operatorli aks ettirish yordamida ifodalanadi:

$$\bar{y} = \Phi(\bar{u}, \bar{x})$$

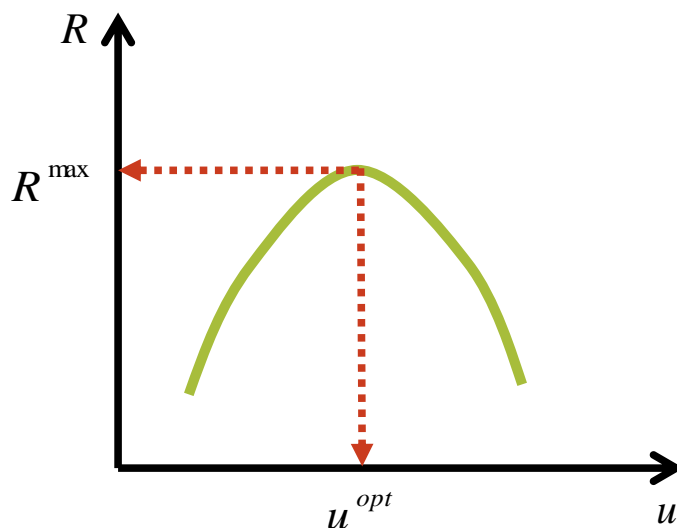
$\bar{y}$  chiqish o'zgaruvchilarining vektorini matematik modellar bo'yicha hisoblashda olingan  $\bar{y}$  chiqish o'zgaruvchilari baholarining vektoriga almashtirish



optimallashtirish masalasiga xuddi kompyuterda ko'p o'zgaruvchili funksiyalarning ekstremumlarini qidirishning matematik masalalari kabi qarash imkonini beradi.

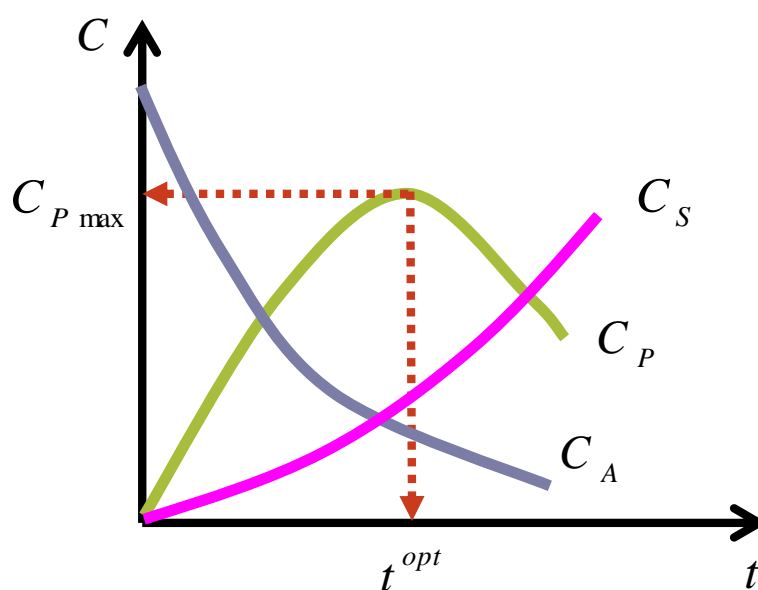
Masala:  $R = R(u)$  funksiyaning maksimumini aniqlash

Yechish natijalari:  $u^{opt}$ ,  $R^{max}$



**Misol:**

Quyidagi rasmda keltirilgan komponentlar konsentratsiyalarining o'zgarishini  $A \rightarrow P \rightarrow S$  ketma-ket reaksiyalari uchun quyidagi optimallashtirish masalasini ifodalash mumkin:  $R$  oraliq mahsulotning konsentratsiyasi maksimal bo'lganda reaksiyaning optimal vaqti ( $t_{opt}$ ) ni toping.



Optimallashtirish masalasini yechish uchun quyidagilar zarur:

- optimallik mezoni ( $R$ ) ni shakllantirish;
- optimallashtiriladigan o'zgaruvchilar ( $\bar{u}$ ) ni tanlash;
- optimallik mezoni qiymatini aniqlashning aniq usulini amalga oshirish (sonli yoki tajribaviy – statistik).

Optimallik mezoni jarayon shakllanishi sifatining miqdoriy tavsifi hisoblanadi.

Optimallik mezonlari fizik - kimyoviy (butun mahsulot, aralashma, mahsulot chiqishining konsentratsiyasi) va iqtisodiy (tannarx, foyda, rentabellik) ga farqlanadi.

Optimallik mezonining qiymati matematik model (optimallashtirishning taqribiy usuli) yordamida Optimallashtirishda avvalroq identifikatsiyalash masalasi yechilgandagi matematik modellar qo'llaniladi. Shunga mos ravishda modellarning koeffitsiyentlari quyidagi tenglikda ko'rsatilgan:  $\bar{y} = \Phi(\bar{u}, \bar{x})$

Agar jarayonning monand matematik modelini qurishning iloji bo'lmasa, unda  $\bar{y}$  chiqish o'zgaruvchining  $\bar{y} = \Omega(\bar{u}, \bar{x})$  tenglamadagi qiymati tajribalar (optimallashtirishning tajribaviy – statistik usuli) dan aniqlanadi. Bunday hollarda tajriba (faol tajriba) o'tkazishning optimal strategiyasi amalga oshiriladi.

Optimallik mezonlariga qo'yiladigan talablar:

- optimallik mezonlari miqdoriy bo'lishi kerak;
- optimallik mezonlari yagona bo'lishi kerak;
- optimallik mezonlari optimallashtirilayotgan o'zgaruvchilarga bog'liq holda monoton o'zgarishi kerak.

Shunday qilib, optimallik mezonini tanlashda uning funksiyasi bir ekstremumli unimodal funksiya bo'lishi va uzilish nuqtalaridan tashkil topmasligi kerak.

### **3.2. Optimallashtiriladigan o'zgaruvchilarning tavsifi**

Bu o'zgaruvchilar jarayonning kirish o'zgaruvchilari sonidan olinadi.

Agar optimallashtirilayotgan o'zgaruvchilarning soniga jarayonning konstruktiv tavsiflari (konstruksiyaning tipi, o'lchamlari va h.z.) kiritilgan bo'lsa, unda optimal loyihalash masalasi hal qilinadi.

Agar optimallashtiriladigan o'zgaruvchilar soniga jarayonning konstruktiv tavsiflari (konstruksiyalarning tiplari, o'lchamlari va h.z.) kiritilmagan bo'lsa, unda optimal boshqaruv masalasi hal qilinadi. Bunday hollarda hisoblanadigan chiqish o'zgaruvchisi  $U$  ga bog'liq. Optimallashtiriladigan o'zgaruvchilar boshqariluvchi o'zgaruvchilar deb ataladi va ularning optimal qiymatlarini qidirish jarayonlarni harakatga keltiruvchi eng yaxshi rejim parametrlarini aniqlash maqsadida amalga oshiriladi.

### 3.3. Optimallashtirish usullarining tafsiflanishi

Optimallashtiriladigan parametrlar soniga ko'ra optimallashtirish masalalari va usullari *bir o'lovli* ( $n = 1$ ) va *ko'p o'lovli* ( $n \geq 2$ ) larga tafsiflanadi.

$V$  zavisimosti ot xarakter a funksii i oblasti opredeleniya reshat mnogomernye zadachi minimizatsii mojno *analiticheski* (tochno) libo odnim iz *chislennyx* metodov (s zadannoy pogreshnostyu).

Pri *otsutstvii ogranicheniy* na optimiziruemye parametry zadachi optimizatsii i metody ix resheniya nazyvayutsya *bezuslovnymi* (t. e. bez usloviy, bez ogranicheniy).

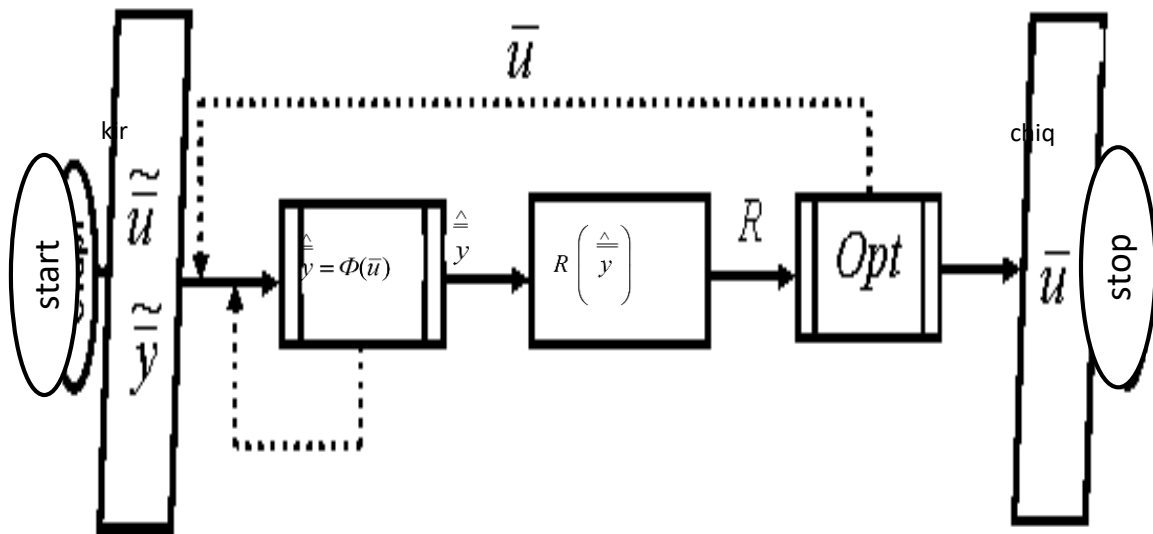
Pri *nalichii ogranicheniy* zadachi i metody nazyvayutsya *uslovnymi* (inache – s usloviyami). Dlya chislennogo resheniya zadach *s ogranicheniyami* ispolzuyutsya metody *matematishegogo programmirovaniya*.

Dlya resheniya *bezuslovnix* zadach minimizatsii analiticheskim metodom ispolzuetsya klassicheskiy apparat, zaklyuchayushiy v priravnivaniy nulyu chastnyx proizvodnyx selevoy funksii po vsem optimiziruemyx parametram i reshenii poluchennoy sistemy uravneniy. Analiticheskoe reshenie *uslovnix* zadach minimizatsii s ogranicheniyami daet metod neopredelennyx mnojiteley Lagranja. Analiticheskie metody imeyut ogranichennoe primenenie v injenernyx zadachax, t. k. trebuyut differensiruemosti issleduemoy funksii i nakladывayut osobye usloviya na ogranicheniya. Osnovnyimi metodami yavlyayutsya *chislennye*, uspeshnomu ispolzovaniyu kotoryx sposobstvuyut EVM.

Optimallashtirish masalalarini kompyuterda sonli usul bilan yechish uchun quyidagilarga ega bo'lish lozim:

- kompyuterda amalga oshiriladigan optimallashtiriluvchi jarayonning monand matematik modeli;
- optimallik mezonini nimdasturli hisobi;
- optimallashtirishning dasturli aniq usuli (gradiyentli usullar, simpleksli usullar va tasodifiy qidirishlar usuli).

**Sonli usul bilan optimallashtirishning umumlashtirilgan blok-sxemasi:**



**3.4. Optimallashtirishning tajribaviy - statistik usuli**

Bu usullar matematik modelni qurish imkoni bo'lmaganda qo'llanadi. Faqatgina  $\bar{x}$  faktorlar (optimallashtiriladigan o'zgaruvchilar) va chiqish o'zgaruvchisi  $u$  (optimallik mezon) larning tajriba yo'li bilan aniqlanadigan qiymatlari ma'lum bo'ladi.

Optimallashtirish masalalarining ifodalanishi:

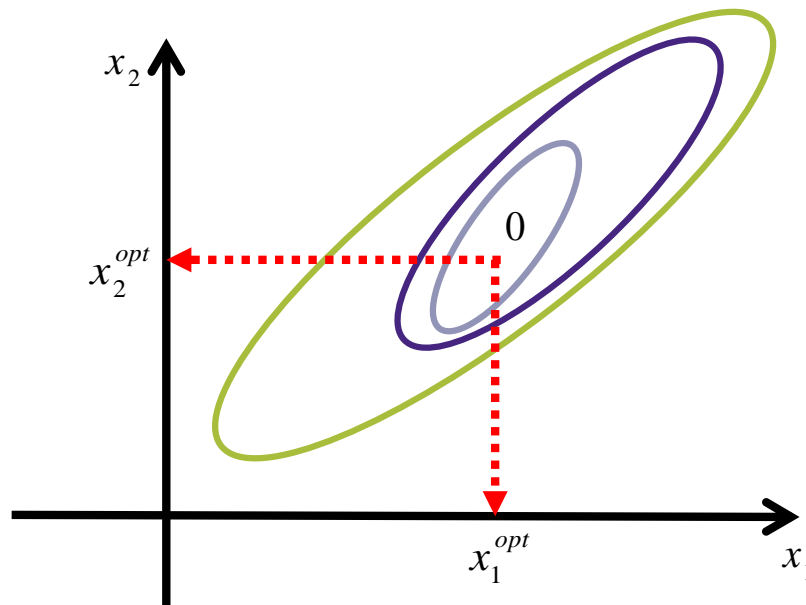
$$opt y(\bar{x})$$

$$\bar{x} \in \bar{X}^{mux}$$

Tajriba ma'lumotlaridan aniqlanadigan chiqish o'zgaruvchilari kabi ularning ekstremum qiymatlarini qidirish uchun ham tajribalashtirishning optimal strategiyasini amalga oshirish lozim. Ushbu holda optimallik mezonining funksiyasi

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

ni javobning yuzasi ko‘rinishida keltirish mumkin va ikki faktor  $(x_1, x_2)$  ning bir xil qiymatlari doimiy sathli ( $\bar{y} = const$ ) chiziqlar bilan tasvirlanadi. Bu chiziqlar javob yuzasining faktorlar tekisligiga kesishgan proyeksiyasi hisoblanadi. Javob yuzasining izlanayotgan ekstremum nuqtasi «0» nuqtaga mos keladi.



Ushbu holda javobning ekstremum qiymatini aniqlash maqsadida javob yuzasi bo‘yicha «qadamli» harakatlanish usuli ishlatiladi.

Bunda tajribani rejalashtirish ikki bosqichga ajratiladi:

- «deyarli statsionar sohalar» dagi faktorli fazoda harakatlanish;
- «deyarli statsionar sohalar» dagi ekstremum holatini aniqlash.

### 3.5. Bir o‘lchovli optimallashtirish usullari

#### 3.5.1. Dastlabki ma’lumotlar

Maqsad funksiyasi bir o‘zgaruvchiga bog‘liq bo‘lgan, ruxsat etilgan ko‘plik sifatida haqiqiy o‘qning  $[a, b]$  oralig‘idagi kesmasi qabul qilgan optimallashtirishning sodda misollari ko‘rib chiqilgan:

$$f(x) \rightarrow \min;$$

$$x \in [a, b].$$

#### Global minimum

Agar barcha  $x \in [a, b]$  lar uchun  $f(x^*) < f(x)$  bo'lsa,  $x^* \in [a, b]$  soni kesmadagi  $f(x)$  funksiyaning global (absolyut) optimum nuqtasi yoki shuncha ki optimum nuqtasi deb ataladi.

$f_{min} < f(x^*)$  funksiyaning  $[a, b]$  kesmadagi qiymatini  $f(x)$  funksiyaning global (absolyut) optimumi yoki shuncha ki optimum nuqtasi deb ataladi.

2.1 rasmda M nuqtasi - global minimum, N nuqtasi - global maksimum nuqtalari.

### Lokal optimum

$x^*$  ga yaqin barcha  $x \in [a, b]$  lar uchun  $f(x^*) < f(x)$  bo'lsa,  $x^* \in [a, b]$  soni  $[a, b]$  kesmadagi  $f(x)$  funksiyaning lokal optimum nuqtasi deb ataladi.

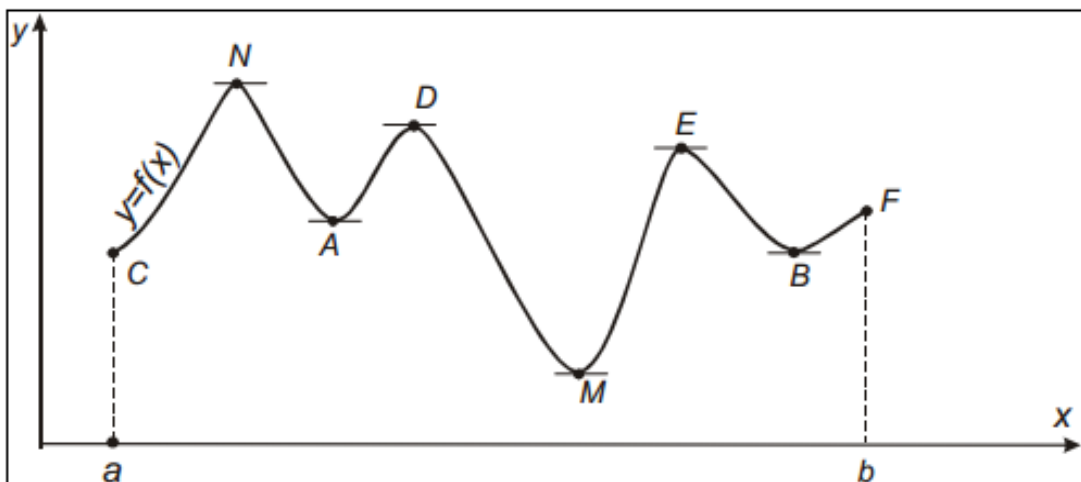
4.1 rasmda A va V nuqtalar - lokal optimumlar.

$x^*$  nuqtadagi bir o'zgaruvchan optimumining zarur sharti

$$f'(x^*) = 0 \quad (4.1)$$

$x^*$  nuqtadagi bir o'zgaruvchan optimumining etarli sharti

$$\begin{aligned} f'(x^*) &= 0 \\ f''(x^*) &= 0 \end{aligned} \quad (4.2)$$



**4.1 rasm.** A va V nuqtalar - lokal optimumlar

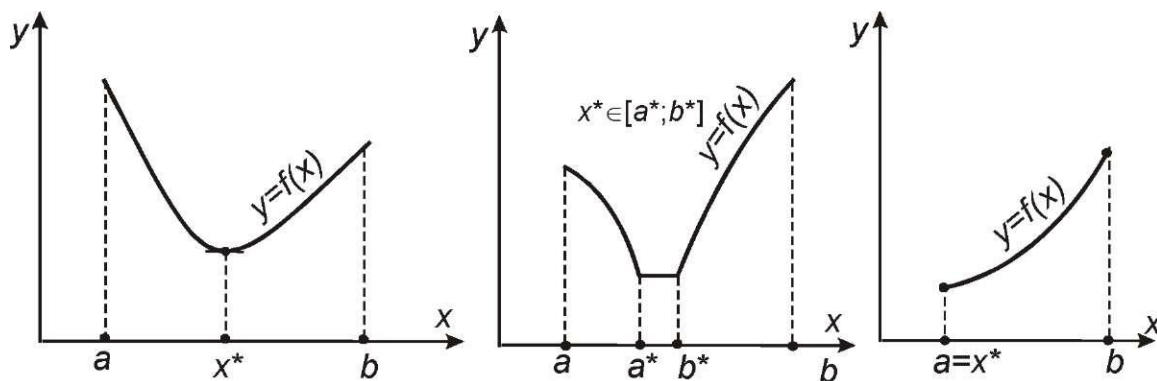
### Unimodal funksiyalar

$f(x)$  ning optimum nuqtasini qidirish usullarining ko'pchiligi faqat lokal optimumi bir vaqtning o'zida ham global bo'lgan funksiyalar uchun mo'ljallangan. Ushbu hususiyat unimodal funksiyalarga hos.

Agar  $x^*$  chap tomonida  $x$  ning oshishi bilan funksiya  $f(x)$  monoton ravishda kamayib, o'ng tomonida esa - monoton ravishda oshib borsa, demak funksiya  $f(x)$

unimodal deb ataladi. 4.2 rasmda unimodal funksiyalarning grafiklari keltirilgan.

Unimodal bo‘lmagan funksiyaning misoli 4.1. rasmda keltirilgan.



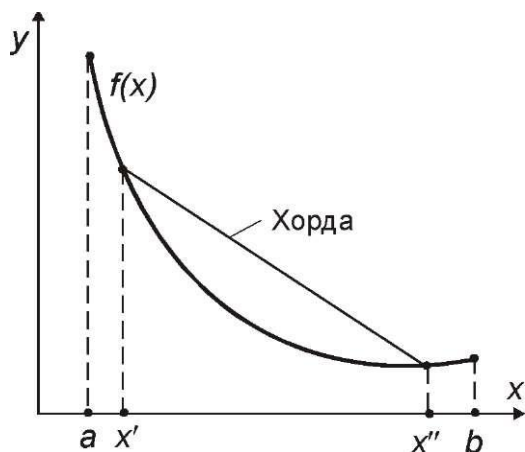
**Rasm. 4.2.** Unimodal funksiyalarning grafiklari

### Qavariq funksiyalar

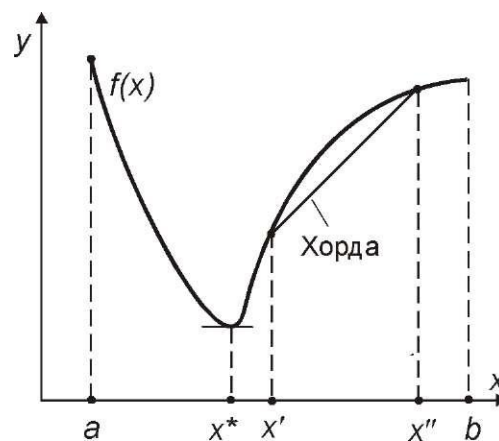
archa  $x', x'' \in [a, b]$  va ixtiyoriy son  $\mu \in [0; 1]$  uchun quyidagi tengsizlik bajarilsa,  $[a, b]$  kesmada berilgan funksiya  $f(x)$  ushbu kesmada qavariq deb nomlanadi

$$f(\mu \cdot x' + (1 - \mu) \cdot x'') \leq \mu \cdot f(x') + (1 - \mu) \cdot f(x''). \quad (4.3)$$

Funksiya  $f(x)$   $[a, b]$  da qavariq bo‘lsa,  $[x', x''] \in [a, b]$  har qanday kesmada uning grafigi absissalari  $x'$  va  $x''$  bo‘lgan grafik nuqtalaridan o‘tkazilgan vatardan yuqori bo‘lmaydi (4.3 rasm).



**Rasm. 4.3.-** Qavariq funksiya grafigi va xordaning o‘zaro joylashuvi



**Rasm. 4.4.-** Unimodal, ammo qavariq bo‘lmagan funksiyaning grafigi

Ko‘rsatish joiz ki,  $[a, b]$  kesmada uzluksiz bo‘lgan har qanday qavariq funksiya unimodal bo‘ladi. Teskarisi esa umuman noto‘g‘ri (2.4 rasm).

## Lipshits sharti

[a,b] tegishli barcha  $x_1$  va  $x_2$  uchun quyidagi ifoda bajarilishi uchun  $L$  soni (Lipshits doimiy) mavjud bo'lganida

$$|f(x_1) - f(x_2)| \leq L \cdot |x_1 - x_2| \quad (4.4)$$

ya'ni maqsad funksiya  $f(x)$  ning o'zgarish tezligi ma'lum bo'lgan va kesmadagi barcha qismlar uchun bir hil bo'lgan  $L$  soni bilan chegaralanganida, [a, b] kesmasida funksiya  $f(x)$  Lipshits shartiga mos keladi.

Uslovie (4.4) oznachaet, chto modul uglovogo koeffitsienta lyuboy xordy grafika ne prevosxodit  $L$ . Krome togo, esli v nekotroy toчке sushchestvuet kasatel'naya k grafiku  $f(x)$ , to modul ee uglovogo koeffitsienta takje ne mojet prevyishat  $L$ . Tak, funksiya  $f(x) = \sqrt{x}$  na otrezke [0; 1] usloviyu Lipshitsa ne udovletvoryaet, potomu chto pri  $x \rightarrow 0$  uglovoy koeffitsient kasatel'noy k ee grafiku neogranichenno vozrastaet (2.5 rasm).

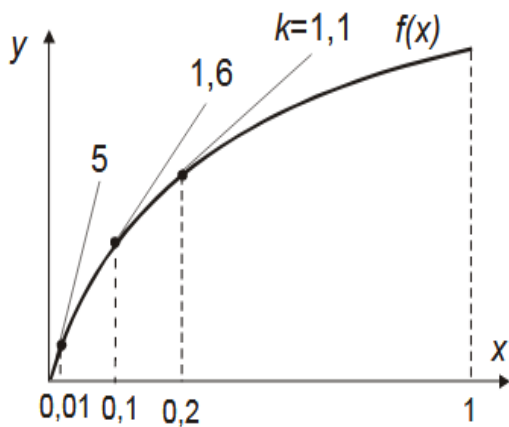
**Raqamli usullar**, analitik usullardan farqli *tahminiy* echim beradilar. Optimum nuqtasi  $x^*$  va funksiya qiymati minimumi  $f_{min}$  ni hisoblashning aniqligi usulga ko'ra iteratsiyalar hisobi (qadamlari) bilan aniqlanadi.

Raqamli usul yordamida (optimumni) **qidigish strategiyasi** – bu funkiya qiymatlari ketma-ket hisoblanadigan [a, b] dagi nuqtalarni tanlash algoritmidir. Berilgan aniqlikda funksiyani hisoblashning eng kam miqdorini talab qiladigani eng yaxshi strategiya deb xisoblanadi. Turli usullar turlicha strategiyaga ega.

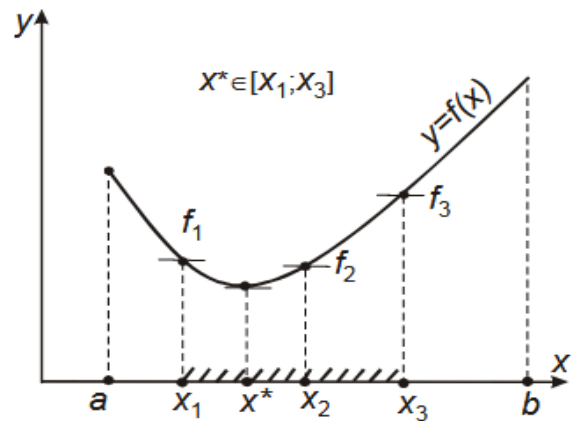
### Sonlarning “muvaffaqiyatli” uchligi usuli

$f(x_2) \leq \min\{f(x_1), f(x_3)\}$  va  $f(x_2) < \max\{f(x_1), f(x_3)\}$  bo'lsa sonlar uchligi  $x_1 < x_2 < x_3$  “muvaffaqiyatli” deb hisoblanadi (4.6 rasm). Uning “muvaffaqiyatli” hisoblanishi bois ushbu nuqtalarni qamrab olgan kesma  $[x_1, x_3]$ , albatta optimal nuqtani ham o'z ichiga qamrab oladi!





**4.5.-rasm.** Lipshtits shartini bajarmaydigan funksiya  $f(x) = \sqrt{x}$  grafigi  $x \in [0; 1]$



**4.6-rasm.**  $(x_1, x_2, x_3)$  - sonlarning “muvaffaqiyatli” uchligi

### 3.5.2. Bir o‘lchamli optimallashtirishning raqamli usullarining sinflanishi

bir o‘zgaruvchan funksiyasining optimumini aniqlashning barcha raqamli usullarini bevosita usullar (nolinchi darajali, faqat funksiya qiymatidan foydalanadigan va uning hosilasini olishni talab qilmaydigan usullar) va hosiladan foydalanadigan birinchi va yuqori darajali usullarga ajratish mumkin.

*Bevosita usullarning afzalliklari:*

- barcha sinfdagi maqsadli funksiyalarni hatto differensiallanmaydigan funksiyalarni tahlil qilish imkonini beradilar;
- optimallashtirishning sodda algoritmlari va dasturlariga ega;
- mashinaviy hotiraning kichik hajmini talab qiladi.

*Bevosita usullarning kamchiliklari:*

- qidirish strategiyasi eng yaxshigacha uzoq bo‘lgani hisobiga EHMda uzoq vaqt ishlanishini talab qiladi;
- yuqori aniqlikdagi echimlarni olish uchun funksiyani hisoblash sonining oshishiga olib keladi; funksiyani hisoblash soniga cheklovlar mavjud bo‘lganida (masalan, funksiyaning eksperimental aniqlanganligi hisobiga) bevosita usullarning aniqligi past bo‘ladi.

*Bevosita usullar:*

- *saralash* usuli;
- *razryad bo‘yicha qidirish* usuli;

- *kesmalarni ayrboshlash usuli;*
- *parabollalar usuli va h.k.*

*Kesmalarni ayrboshlash usullari:*

- *dixotomiya usuli (kesmani ikkiga bo‘lishning birinchi usuli);*
- *kesmani ikkiga bo‘lishning ikkinchi usuli;*
- *Fibonachchi usuli;*
- *«Oltin kesim» usuli va boshqalar.*

*Funksiyaning hosilasidan foydalanadigan usullar:*

- *o‘rtacha nuqta usuli;*
- *metod xordalar usuli;*
- *metod Nyuton usuli;*
- *uchinchi darajali approksimatsiyalash usuli va boshqalar.*

**3.5.3. Kesmalarni ayrboshlash usullari:**

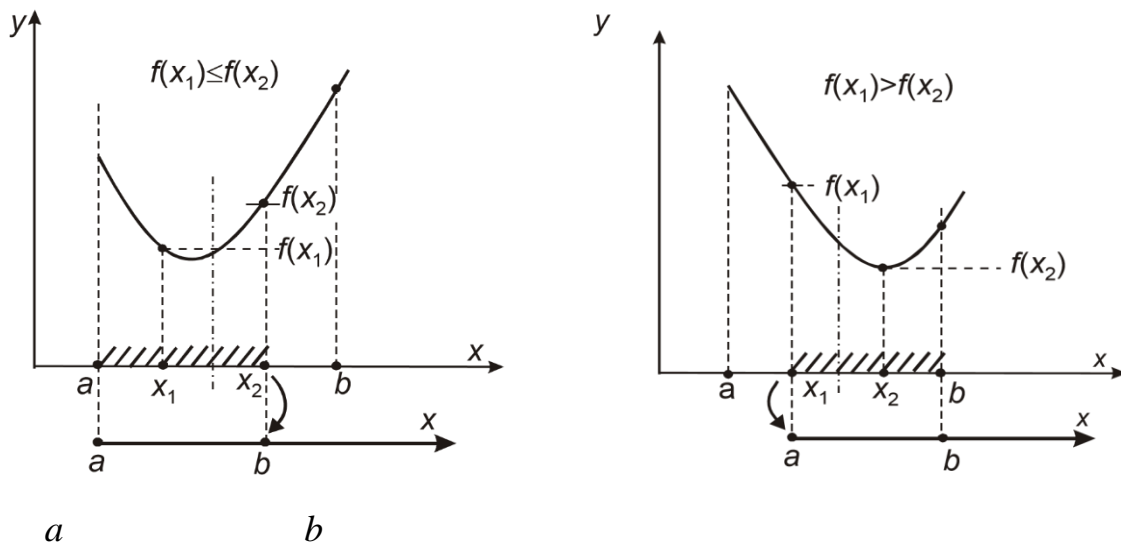
Kesmalarni ayrboshlashning barcha usullari quyidagi algoritm bo‘yicha ishlaydilar:  $[a, b]$  da unimodal bo‘lgan funksiya  $f(x)$  uchun har bir iteratsiyada  $a < x_1 < x_2 < b$  tengsizlik bajarilishi uchun  $x_1$  va  $x_2$  nuqtalari aniqlanadi.  $x_1$  va  $x_2$  nuqtalarini “sinov” nuqtalari deb nomlaydilar. Ushbu nuqtalarda  $f(x)$  qiymatlari aniqlanadi (4.7 rasm).

Agar  $f(x_1) \leq f(x_2)$  bo‘lsa (4.7, a rasm), demak keyinchalik hisoblash uchun  $[a, x_2]$  qoldiriladi, ya’ni keyingi iteratsiyada  $b$  nuqtasi  $x_2$  ga o‘tadi.

Agar  $f(x_1) > f(x_2)$  bo‘lsa (4.7, b rasm), demak  $x^*$  ning optimum nuqtasi  $[x_1, b]$  kesmada joylashgan, ya’ni keyingi iteratsiyada  $a$  nuqtasi  $x_1$  ga o‘tadi.

$x_1$  va  $x_2$  nuqtalarni tanlashda quyidagilarga e’tibor berish lozim:

- 1) iteratsiyalardagi kesimning nisbatan kichrayishi keyingi hisoblardan chiqarib yuborilgan qism ( $[a; x_1]$  yoki  $(x_2; b]$ ) ga bog‘liq bo‘lmasligi uchun  $x_1$  va  $x_2$  nuqtalari  $[a; b]$  kesmasining o‘rtasiga nisbatan simmetrik joylashgan bo‘lishlari kerak;
- 2) qidiruv maydonini maksimal ravishda toraytirish uchun  $x_1$  va  $x_2$  nuqtalari kesmaning o‘rtasiga yaqin bo‘lishlari kerak;
- 3) funksiyalarni aniqlash sonini kamaytirish uchun keyingi iteratsiyalarda sinov nuqtalarining ( $x_1$  yoki  $x_2$ ) biridan foydalanish maqsadga muvofiq.



**4.7. rasm-** Kesmalarni ayrboshlash usullarining grafik ko‘rinishi

#### 4.5.4. Matematik tahlil usuli (klassik usul)

Ushbu usul aniq echim berib, funktsiyani differensiallanuvchi bo‘lishini talab qiladi.

Ma’lum bir  $x^*$  da bir o‘zgaruvchan funksiya **optimumining zarur sharti** quyidagicha ifodalanadi:

$$f'(x^*) = 0. \quad (4.5)$$

Ma’lum bir  $x^*$  da bir o‘zgaruvchan funksiya **optimumining etarli sharti**:

$$1) \quad f'(x^*) = 0;$$

$$2) \quad f''(x^*) > 0. \quad (4.6)$$

#### **Klasik usul yordamida optimallashtirishning ketma ketligi**

1.  $x \in [a, b]$  intervalida ildizlari funksiyaning joiz ekstremumining nuqtalari (*statsionar nuqtalari*) bo‘lmish  $f'(x) = 0$  tenglamani echamiz.

2. Barcha statsionar nuqtalarda va kesim  $[a, b]$  uchlarida funksiya qiymatlarini hisoblaymiz .

3. Funktsiyaning minimal qiymatini  $f_{\min}$  va unga tegishli  $x^*$  qiymatini tanlaymiz.

#### **Misol**

$$f(x) = x^3 - 3 \cdot x + 1 \rightarrow \min, \quad x \in [-3, 3].$$

### ***Echim***

1.  $f'(x) = 3 \cdot x^2 - 3; 3 \cdot x^2 - 3 = 0.$

2. Statsionar nuqtalar:  $x_1 = -1; x_2 = 1.$

3. Statsionar nuqtalarda va kesim uchlarida funksiya qiymatlarini hisoblaymiz:

$$x = -3; f(-3) = (-3)^3 - 3 \cdot (-3) + 1 = -17;$$

$$x = -1; f(-1) = 3; x = 1; f(1) = -1; x = 3;$$

$$f(3) = 1.$$

3. Funksiyaning minimal qiymati

$$f_{\min} = \min\{-17, 3, -1, 1\} = -17; \text{ minimum nuqtasi } x^*.$$

*Izoh.* Ushbu masala uchun ikkinchi hosilani aniqlash murakkab bo'lmaydi  $f''(x) = 6 \cdot x$ , shuning uchun lokal minimum nuqtasini uning ishorasi bo'yicha aniqlash mumkin.

Statsionar nuqtalarda ikkinchi hosilaning ishorasini aniqlaymiz:

$$f''(-1) = 6 \cdot (-1) = -6 < 0 - \text{ maksimum nuqtasi};$$

$$f''(1) = 6 \cdot (1) = 6 > 0 - \text{ minimum nuqtasi}.$$

Optimum nuqtaladida va kesim uchlarida funksiya qiymatlarini aniqlab eng kichigini aniqlaymiz  $x^* = -3$  nuqtada  $f_{\min} = -17$ .

### **4.5.5. Saralash usuli**

Saralash usuli – bevosita usullardan eng sodda usuldir (bu uning *afzalligi*).

Usulning mohiyati:

1)  $x_i = a + i \cdot (b - a) / n, i = 0, 1, \dots, n$  nuqtalar bilan  $[a, b]$  kesmasini  $n$  teng qismlarga bo'lamiz;

2)  $x_i$  nuqtada  $f(x)$  qiymatini aniqlaymiz;

3)  $f(x_i)$  qiymatlarni o'zaro taqqoslab  $x_m$  nuqtasini aniqlaymiz,  $0 \leq m \leq n$ , bu erda dlya katoroy  $f(x_m) = \min f(x_i), 0 \leq i \leq n$ ;

4)  $x^* = x_m$  deb qabul qilamiz;  $f_{\min} = f(x_m)$ .

Optimum nuqtasini aniqlash hatoligi quyidagidan oshmaydi

$$\varepsilon_n = (b - a) / n$$

yoki

$$\varepsilon_N = (b - a)/(N - 1).$$

Bu erda va kelasida:  $N$  – funksiyaning hisoblashlar soni;  $n$  – iteratsiyalar soni.  
Saralash usuli uchun

$$n = N - 1.$$

#### 4.5.6. Dixotomiya usuli (kesmani ikkiga bo‘lishning birinchi usuli)

Dixotomiya usuli kesmalarni ayirboshlash usullaridan biridir.  $x_1$  va  $x_2$  nuqtalari  $[a, b]$  kesmada juda yaqin joylashadilar:

$$x_1 = \frac{a+b-\delta}{2}; \quad x_2 = \frac{a+b+\delta}{2}$$

bu erda  $\delta$  – diapazon  $[0, 2\varepsilon]$  dan tanlanadigan kichik son;  
 $\varepsilon - x^*$  ni hisoblash hatoligi.

Yangi va dastlabki kesmalarning nisbati  $\frac{1}{2}$  ga yaqin, shundan ham usulning nomlanishi kelib chiqqan.

Dixotomiya usulining algoritmi 2.10 rasmida keltirilgan.

Optimum nuqtasini  $n$  iteratsiyalardan keyin aniqlash hatoligi quyidagicha aniqlanadi

$$\varepsilon_n \approx \frac{b-a}{2^{n+1}},$$

bu erda  $a$  va  $b$  – dastlabki kesma koordinatalari.

Funksiyaning aniqlash soni  $N$  ma’lum bo‘lganida, hatolik quyidagicha aniqlanadi

$$\varepsilon_N \approx \frac{b-a}{2^{\frac{N}{2}+1}}$$

bu erda dixotomiya usuli uchun  $n = N/2$ .

#### 3.5.7. «Oltin» kesim usuli

«Oltin» kesim usuli – kesmalarni ayirboshlash usullari orasidagi eng ommabop usuldir. Fibonachchi usulidan so‘ng optimum nuqtasini qidirishning eng yaxshi strategiyasiga ega, chunki sinov nuqtalaridan biri ( $x_1$  yoki  $x_2$ ) keyingi iteratsiyaga o‘tadi va shuning uchun algoritmlarning barcha qadamlarida birinchisidan tashqari, funksiyaning faqat bitta hisoblanishini talab qiladi.

Algoritmga ko‘ra  $x_1$  va  $x_2$  nuqtalarning har biri  $[a, b]$  kesmani kesmaning uning eng katta qismiga nisbati katta va kichik qismlarning nisbatiga teng ikki teng bo‘lmagan qismga bo‘ladi:

$$\frac{(b-a)}{(x_2-a)} = \frac{(x_2-a)}{(x_1-1)} \quad (4.7)$$

Ushbu hususiyatga ega nuqtalar  $[a, b]$  kesmaning “oltin” kesimi nuqtalari deb nomlaydilar.

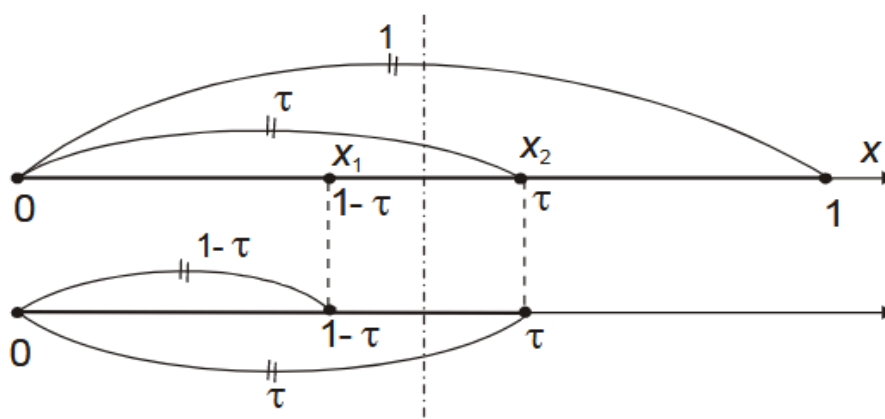
$[0;1]$  kesmani ko‘rib chiqamiz (4.8 rasm.). Pust  $x_2$  nuqtasi uni ma’lum bir son  $\tau$  ga nisbatan bo‘lsin, ya’ni  $x_2 = \tau$ , unda unga simmetrik joylashgan nuqta  $x_1 = 1 - \tau$ .  $a = 0$ ;  $b = 1$  hamda  $x_1$  i  $x_2$  qiymatlarni (4.7) ga quyamiz:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{\tau}{1 - \tau}$$

Kvadrat tenglamani echamiz:  $\tau^2 = 1 - \tau$ ;  $\tau_{1,2} = \tau_{1,2} \frac{-1 \pm \sqrt{5}}{2}$

Tenglamaning musbat ildizi  $\tau = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2} = 0,61803\dots$  “oltin” kesim usulining barcha iteratsiyasida  $[a, b]$  kesmaning  $x_1$  va  $x_2$  nuqtalari koordinatalarini aniqlash imkonini beradi:

$$x_1 = a + (1 - \tau) \cdot (b - a); \quad x_2 = a + \tau \cdot (b - a) .$$



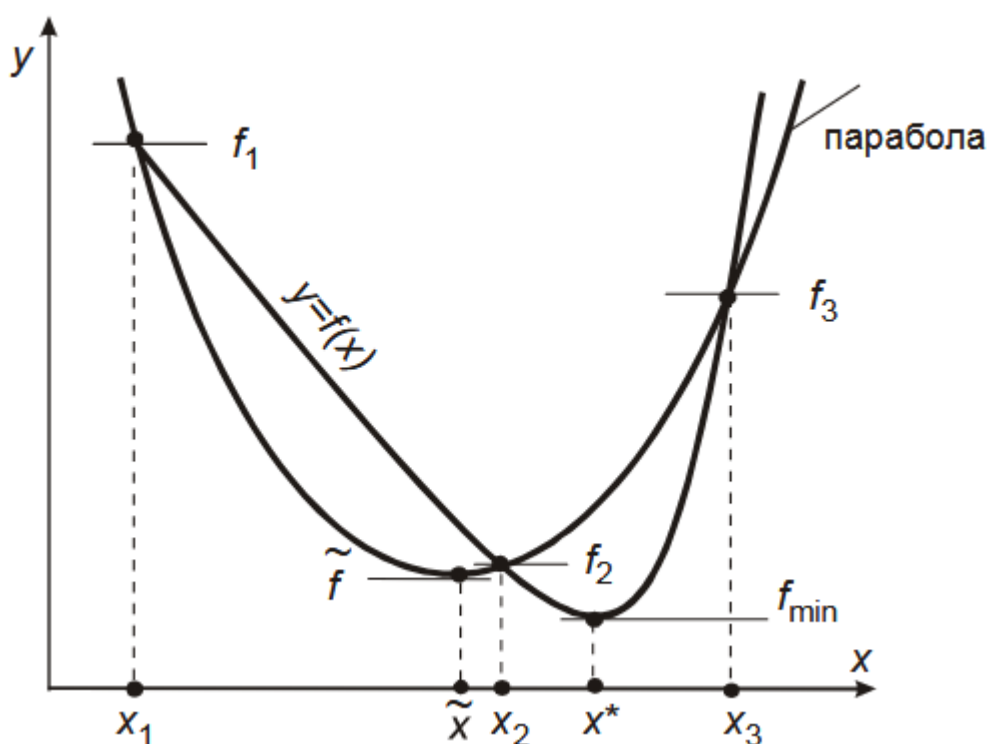
**4.8. rasm.-**  $x_1$  va  $x_2$  nuqtalar bilan birlik kesmaning «oltin» kesimi

### 3.5.8. Parabolalar usuli

Polinomial approssimatsiyalash usulidir. Polinomial approssimatsiyalash

usullarining g'oyasi funksiya  $f(x)$  uchun aproksimatsiyalanadigan ko'phad qurilishidan iborat uning optimum nuqtasi esa  $x^*$  ga yaqinlashuv deb olinadi. Usul *unimodal* va etarli darajada *silliq* (hech bo'lmaganda, *uzluksiz*) funksiyalar uchun samarali. Parabolalar usuli – polinomial approksimatsiyalash usullarining eng soddasi bo'lib ikkinchi darajali polinomlardan foydalanadi.

Parabolalar usulining har bir iteratsiyasida funksiya  $y = f(x)$  grafigining uch tanlangan nuqtasidan o'tadigan grafi (parabolasi) ga ega kvadrat uchhad quriladi. Parabolaning optimum nuqtasi  $\tilde{x}$  o'rganayotgan funksiya optimumi nuqtasining navbatdagi yaqinlashuvidir (4.9. rasm).



**4.9. rasm-** Funksiya  $y = f(x)$  grafigi va parabolaning o'zaro joylashuvi

#### Parabolalar usuli algoritmi

Funksiya  $f(x)$   $[a, b]$  da unimodal bo'lib kesmaning ichki nuqtasida optimumga erishsin.

1. Quyidagi tengsizlini bajaradigan uch nuqta  $x_1, x_2, x_3$  ni tanlaymiz

$$x_1 < x_2 < x_3; f_1 \geq f_2 \geq f_3.$$

$f(x)$  unimodalligidan  $x^* \in [x_1, x_3]$  kelib chiqadi.

2. Grafigi uch nuqta  $A_1(x_1, f_1)$ ;  $A_2(x_2, f_2)$ ;  $A_3(x_3, f_3)$  dan o'tadigan kvadrat uchhadni quramiz

$$q(x) = a_0 + a_1 \cdot (x - x_1) + a_2 \cdot (x - x_1) \cdot (x - x_2).$$

Koeffitsientlar  $a_1, a_2, a_3$  ni formulalar bo'yicha aniqlaymiz

$$a_0 = f_1;$$

$$a_1 = \frac{f_2 - f_1}{x_2 - x_1};$$

$$a_2 = \frac{1}{x_3 - x_2} \cdot \left( \frac{f_3 - f_1}{x_3 - x_1} - \frac{f_2 - f_1}{x_2 - x_1} \right).$$

3. Kvadrat uchhad (parabola) ning optimum nuqtasini an

$$\tilde{x} = \frac{1}{2} \cdot \left( x_1 + x_2 - \frac{a_1}{a_2} \right)$$

va funksiyaning bu nuqtadagi qiymati  $\tilde{f} = f(\tilde{x})$  ni aniqlaymiz

4. Nuqtalar  $x_1, x_2, x_3$  va  $\tilde{x}$  dan yangi «muvaffaqiyatli» sonlar uchligini aniqlaymiz (4.10.rasm.).

**I holat.**  $x_1 \leq x \leq x_2$ :

a)  $\tilde{f} \geq f_2$  bo'lsa, demak  $x^* \in [\tilde{x}, x_3]$ , ya'ni

$$x_1 = \tilde{x}, \quad f_1 = \tilde{f};$$

$$x_2 = x_2;$$

$$x_3 = x_3.$$

b)  $\tilde{f} < f_2$  bo'lsa, demak  $x^* \in [x_1, x_2]$ , ya'ni

$$x_1 = x_1;$$

$$x_2 = \tilde{x}, \quad f_2 = \tilde{f};$$

$$x_3 = x_2, \quad f_3 = f_2.$$

**II holat.**  $x_2 \leq \tilde{x} \leq x_3$ :

a)  $\tilde{f} \geq f_2$  bo'lsa, demak  $x^* \in [x_1, \tilde{x}]$ , ya'ni

$$x_1 = x_1;$$

$$x_2 = x_2;$$



$$x_3 = \tilde{x}, \quad f_3 = \tilde{f};$$

b)  $f < f_2$  bo'lsa, demak  $x^* \in [x_2, x_3]$ , ya'ni

$$x_1 = x_2; \quad f_1 = f_2;$$

$$x_2 = \tilde{x}; \quad f_2 = \tilde{f};$$

$$x_3 = x_3.$$

5. 2-chi qadam dan boshlab algoritni takrorlaymiz.

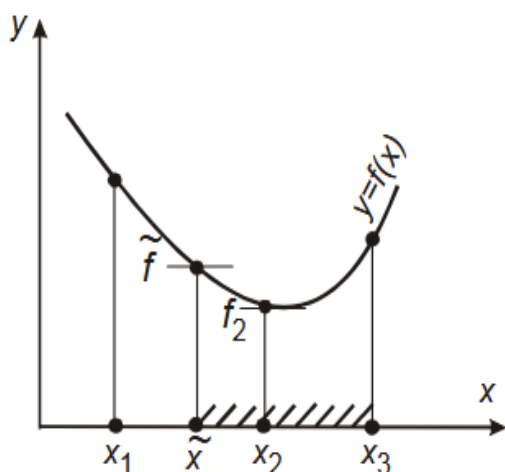
Quyidagi ayirmaning nolga yaqinligi qidiruvning yakunini belgilaydi

$$\Delta = |x^{k+1} - x^k|$$

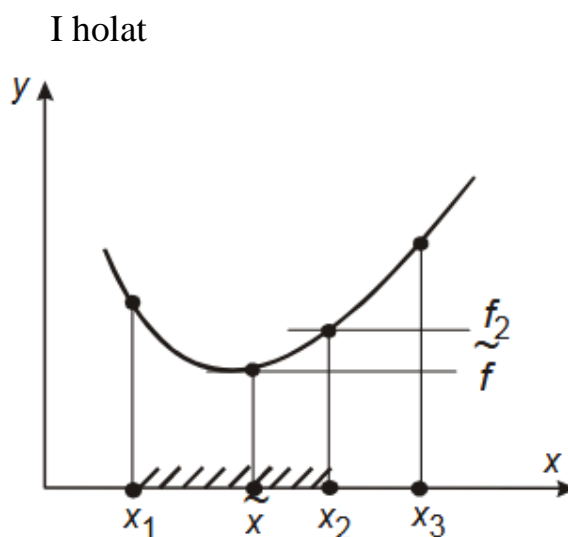
$\tilde{x}$  – shu va oldingi iteratsiyada olingan sonlar ayirmasi, ya'ni tengsizlik

$$\Delta \leq \varepsilon,$$

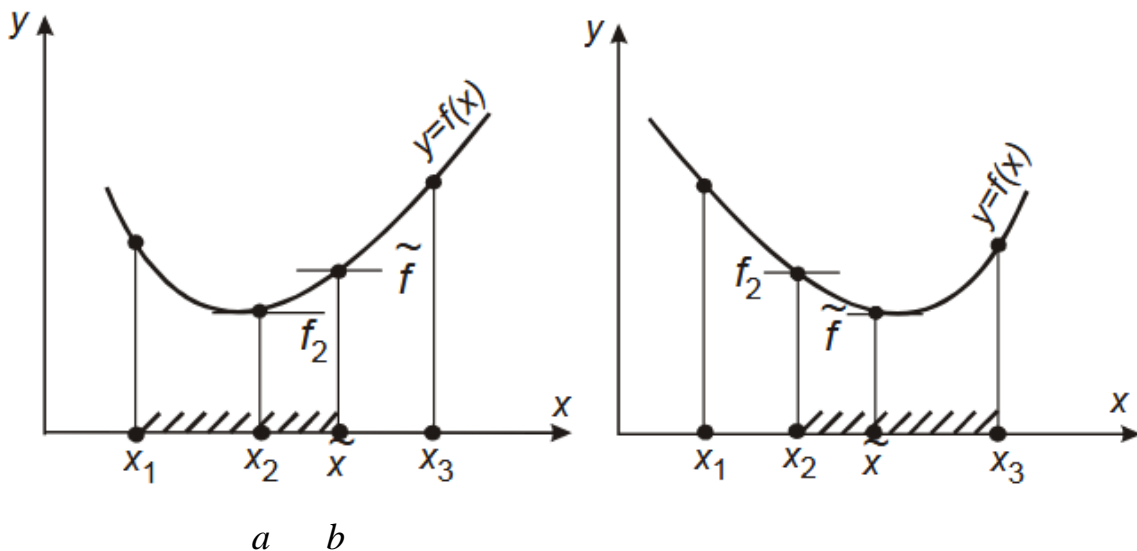
bu erda  $\varepsilon$  – hisoblash hatoligi.



a b



II holat



**4.10. rasm-** Parabolalar usulining navbatdagi iteratsiyasi uchun «muvaffaqiyatli» uchlikni tanlash

### Nazorat savollar

1. Optimallashtirilayotgan o'zgaruvchilarga chegaralanishlar qo'yilgan va chegaralanishlari bo'lmagan optimallashtirish masalalarining ifodalanishiga aniq misollar keltiring.

2. Optimallik mezonlariga bo'lgan asosiy talablarni sanang.

3. Optimal loyihalash va boshqarish masalalari qanday ifodalandi?

4. Kompyuterda jarayonni optimallashtirish masalasi qanday yechiladi?

5. Sizga optimallashtirishning qanday usullari ma'lum? Ularning qanday ishlashini esga oling.

6. Qachon funksiya ekstremumini qidirishning optimallik mezoni o'rniga tenglamalar tizimi yechiladi?

7. Optimal tajribalashtirishning qanaqa strategiyasi mavjud? Uning natijalarini qayta ishlash uchun kompyuterdan qanday foydalaniladi?

8. To'liq faktorli tajriba qanday o'tkaziladi va uning natijalari qanday qayta ishlanadi?

9. Tajribani ortogonal markaziy kompozitsion rejalashtirish va uning natijalarini qayta ishlash qanday amalga oshiriladi?

10. To'liq faktorli tajribalarda modellarning koeffitsiyentlari qanday aniqlanadi?

### Foydalangan adabiyotlar ruyxati

1. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va

optimallashtirish asoslari. Oliy o‘quv yurtlari uchun darslik. 2-chi nashr: qayta ishlangan va to‘ldirilgan. –T.: Fan va texnologiya, 2019.

2. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari. Oliy o‘quv yurtlari uchun darslik. –T.: Fan va texnologiya, 2015.

3. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va identifikatsiyalash. Oliy o‘quv yurtlari uchun o‘quv qo‘llanma. –T.: Fan va texnologiya, 2019.

4. Luigi Bocola Identifying Neutral Technology Shocks. University of Pennsylvania, 2014

5. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P., Bazarov M.B., Xalilov J.A. Boshqarish sistemalarini kompyuterli modellashtirish asoslari. Oliy o‘quv yurtlari uchun o‘quv qo‘llanma. –N.: Navoiy-Gold-Serves, 2009.

6. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P., Gulyamov Sh.M. Основы процессов разделения многокомпонентных смесей. – T: “Universitet”, 2017.

7. Yusupbekov N.R., Gulyamov Sh.M., Muxitdinov D.P., Avazov Yu.Sh. Математическое моделирование процессов ректификации многокомпонентных смесей. –T.: TashGTU, 2014.

#### **4-mavzu. Kimyoviy texnologiya tipik apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish**

##### **Режа:**

4.1. Issiqlik almashish apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish

4.1.2. Issiqlik almashish jarayonini tavsiflashda qatnashuvchi stoxastik tashkil etuvchilar hisobi

4.1.3. Rekuperativ issiqlik almashish apparatlarining ishlashini modellashtirish

4.1.4. Issiqlik almashish apparatlarini hisoblash va algoritmlashtirish

#### 4.1.5 Quvurli reaktorlarni hisoblash va algoritmlashtirish

Haroratning fazaviy bir jinsli bo‘lmagan maydonlari ta’siri ostida yuzaga keladigan, issiqliklarni tashishning o‘z - o‘zidan yuz beradigan jarayoniga *issiqlik almashish jarayoni* deyiladi.

Issiqlik tashishning miqdoriy o‘lchami o‘tish yo‘nalishiga perpendikular bo‘lgan birlik yuzadan birlik vaqt ichida o‘tadigan issiqlik miqdoriga teng va o‘tish yo‘nalishini ko‘rsatuvchi  $q$  issiqlik oqimi zichligining vektori hisoblanadi.

Issiqlik almashish apparatlarini hisoblashning muhim masalasi harorat maydonlari  $T(t, x, u, z)$  ni aniqlash, shuningdek, issiqlik oqimlari  $q(t, x, u, z)$  ni topish hisoblanadi. Agar  $q$  oqim maydonining zichligi ma’lum bo‘lsa, unda issiqlik tashishning yig‘indisi  $Q$  ni ixtiyoriy sirt orqali hisoblash qiyin emas:

$$Q = \int (\vec{q}_F \cdot \vec{n}_F) \partial F \quad (5.1)$$

bu yerda,  $\vec{n}_F$  — sirtga perpendikular bo‘lgan birlik vektor. Odatda qattiq devorlar, suyri issiqlik tashuvchilar va fazalar qismlarining yuzalari (kondensatsiya va bug‘lanishda) yuza (sirt) sifatida qaraladi.

Issiqlik almashish masalasining matematik ifodalanishi tashish va saqlanish qonunlariga asoslanadi. Mos chegaraviy shartlar tadqiq etilayotgan obyektning boshlang‘ich holati va uning atrof- muhit bilan o‘zaro ta’sirini belgilaydi.

Issiqlik almashish nazariyasi uzluksiz (tutash) muhitlar modellariga asoslanadi. Bu molekulalar o‘rtasidagi masofa qaralayotgan tizimning, hattoki uning elementar hajmlarining xarakterli o‘lchamlaridan juda kichikligini bildiradi.

Energiya tashish qonunlarini ko‘rib chiqamiz. Ko‘rsatib o‘tganimizdek energiya oqimi turli jinsli harorat maydonlari natijasida yuzaga keladi. Harorat maydonining fazaviy o‘lchami haroratning maksimal o‘sishi yo‘nalishini ko‘rsatuvchi harorat gradiyenti  $gradT$  hisoblanadi va haroratning shu yo‘nalish bo‘yicha olingan hosilalariga miqdor jihatidan teng bo‘ladi:

$$gradT = \vec{n}_0 \frac{\partial T}{\partial n} = \vec{i} \frac{\partial T}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial T}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial T}{\partial z} \quad (5.2)$$

bu yerda,  $\vec{n}_0$  – izometrik yuza normalining birlik vektori;

$T(t, x, u, z) = const$  , harorat o'sishi tomonga yo'naltirilganlik;

$\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z}$  – harorat gradientining to'g'ri burchakli koordinata o'qlariga proektsiyalari.

Issiqlik o'tkazuvchanlik nazariyasida o'rganiladigan deformatsiyalanmaydigan bir komponentli muhitlarda issiqlik tashish uchun bir tomondan issiqlik oqimi boshqa tomondan harorat gradienti bilan molekulalar o'rtasidagi bog'liqlikni o'rnatadi. Amaliyotda yuzaga keladigan ko'pgina masalalarda ushbu kattaliklar o'rtasida Furiyening issiqlik o'tkazuvchanlik qonuni bilan o'rnatiladigan chiziqli munosabat to'g'ri:

$$q_T = -\lambda gradT \quad (5.3)$$

bu yerda,  $\lambda$  — muhitning issiqlik o'tkazuvchanligi.

Harakatlanuvchi gaz va suyuqliklarda konvektiv issiqlik almashish jarayoni yuz beradi. Bu yerda molekular tashishga konveksiya – bir qancha  $i$  tezliklar bilan ko'chuvchi makroskopik hajmli muhitlar energiyasi, impulsi va moddalarining ko'chishi ham qo'shiladi. Bunda tezlik vektori xuddi sarf tavsiflari kabi qo'yiladi: uning miqdoriy qiymati tezlik yo'nalishiga perpendikular bo'lgan birlik yuzadan birlik vaqt ichida tashilgan moddaning hajmiga teng. Tezlik  $i$  ni issiqlik miqdorining zichligi (entalpiya)  $ph$  ga ko'paytirib, issiqlikning konvektiv oqimi  $q_k$  ni olamiz:

$$q_k = phu \quad (5.4)$$

bu yerda.  $\rho$  — moddaning zichligi;  $h$  —entalpiya.

Shunday qilib, konvektiv issiqlik almashishda issiqlik oqimi  $q$  ning zichligi molekular va konvektiv tashkil etuvchilarning yig'indisi bilan aniqlanadi:

$$q = q_k + q_T = \lambda gradT + phu \quad (5.5)$$

Energiya o'tkazishning ko'rib chiqilgan turlari bilan bir qatorda energiyani elektromagnit to'lqinlar bilan o'tkazish ham mavjud. Bunda issiqlik o'tkazish jismlarga yutilgan nur energiyasi jismning issiqlik holatini o'zgartirishi bilan amalga oshiriladi,

shuningdek, nurlanish jismning issiqlik holati (harorati) bilan aniqlanadi. Agar muhit issiqlik nurlanish uchun ochiq bo‘lgan turli haroratli yuzalarga ajralsa, unda radiatsion va konvektiv issiqlik almashishlar bir-biridan mustaqil holda parallel ro‘y beradi. Ushbu holda nurlanish energiyasining natijaviy oqimi faqatgina jism yuzasining geometriyasi, harorati va radiatsiyaviy xususiyatlari bilan aniqlanadi.

Muhit kuchli yutuvchi va nurlanuvchi bo‘lgan hollarda energiya oqimining radiatsiyaviy tashkil etuvchisi uchun gradiyent tipidagi ifoda to‘g‘ri:

$$q_{rad} \approx grad (T^4) (5.6)$$

Energiya o‘tkazishning uchta mexanizmi, ya‘ni issiqlik o‘tkazuvchanlik, konveksiya va nurlanish qatnashadigan qo‘shma (kombinatsiyali) issiqlik o‘tkazish *murakkab issiqlik almashish* deb ataladi.

#### **4.1.2. Issiqlik almashish jarayonini tavsiflashda qatnashuvchi stoxastik tashkil etuvchilar hisobi**

Real sharoitlarni hisobga olib issiqlik almashishni hisoblash va tavsiflashning murakkabligi ko‘pincha quyidagi dalillar bilan tushuntiriladi, hozirgi vaqtda issiqlik almashish apparatlari issiqlik tashuvchilarning to‘la almashishi yoki uning aralashish rejimi bilan amalga oshiriluvchi modellari bo‘yicha hisoblanadi. Ushbu oxirgi hollardagi rejimlar davomida issiqlik almashish apparatlarining konstruksiyalari va issiqlik berish turlarini aniqlash uchun issiqlik tashuvchilarga asoslaniladi. Biroq ko‘p hollarda issiqlik tashuvchilarni aralashtirish va almashtirishning ideal modellaridan foydalanish hisoblashda xatolik beradi. Shundan kelib chiqib, issiqlik tashuvchilar harakatining yanada realroq va shu bilan bir vaqtda yetarlicha sodda bo‘lgan modellaridan foydalanish lozim.

Real issiqlik almashish apparatlarida jarayonning stoxastik tabiatiga ko‘ra oqim elementlarining vaqt bo‘yicha taqsimlanishi notekisdir. Bunday notekislikning mavjudligini quyidagi manbalar orqali ko‘rsatish mumkin: tizimlarning kesimlaridagi tezliklarning turli o‘lchamliligi; oqimlarning turbulentlashishi; oqimlarda turg‘un sohalarning mavjudligi; tizimda baypas oqimlar va kanallarning vujudga kelishi. Oqimlarning notekisligini baholash uchun bo‘lish vaqti bo‘yicha taqsimlanish funksiyasi kiritiladi va bu funksiya tizimlarning impulsi, pog‘onali yoki chastotali

g'alayonlarga javobidan aniqlanadi va real oqimning ideal aralashtirish va almashtirish modellaridan og'ishini miqdoriy baholash imkonini beradi. Tizimlarning g'alayonlarga bo'lgan javobining miqdoriy tavsiflari (o'rtacha qiymat, dispersiya va h.z.) modellarning (diffuziyali va yacheykali) jarayonning stoxastik tabiatida qatnashuvchi parametrlarini hisoblash imkonini beradi. Suyuqliklar oqimidagi uning harakatini yuzaga keltiruvchi haroratning taqsimlanishini oqimlar harakatining ilgari ko'rib chiqilgan modellari yordamida monand tavsiflash mumkin. Bunda oqimdagi moddaning konsentratsiyasi boshqa tavsif – harorat bilan almashtiriladi. «Quvur ichida quvur» apparati tizimida oqimni kondensatsiyalanuvchi bug' bilan  $T_1$  haroratda qizdirishni ko'rib chiqamiz. Issiqlik almashish apparatining sxemasi 5.1 rasmda keltirilgan.

*Ideal o'rin almashish modeli.* Bu modelning asosida quyidagi farazlar yotadi:

1) ko'ndalang kesimlarda haroratlar doimiy; 2) bo'ylama almashinish mavjud emas.

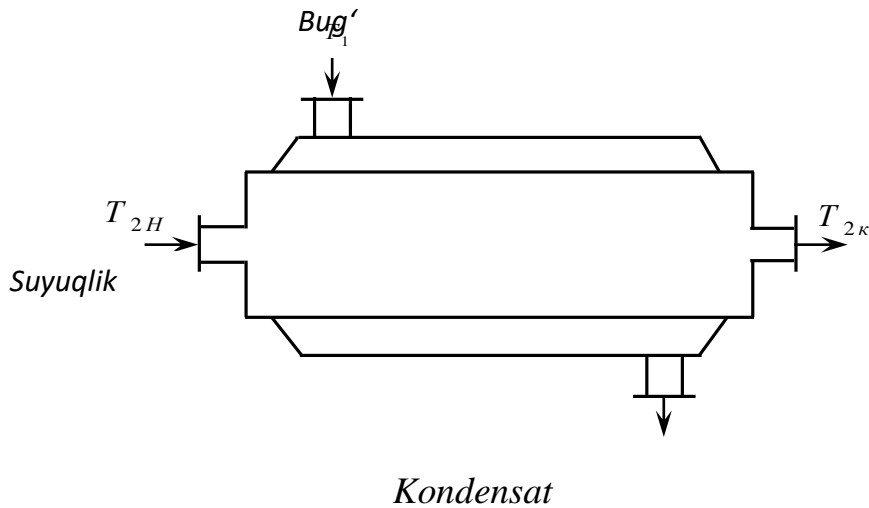
Modellarning matematik tavsiflari quyidagi ko'rinishga ega:

$$\nu_2 \frac{dt}{dx} = \frac{KP(T_1 - T)}{Sc_{p_2}} \quad (5.7)$$

bu yerda,  $\nu_2$  — qizdirilayotgan sovuq agentning oqish tezligi;  $K$  – issiqlik uzatish koeffitsiyenti;  $P$  va  $S$  – qizdirilayotgan yuza perimetri va ichki quvurning ko'ndalang kesim yuzasi;  $c_{p_2}$  – sovuq agentning issiqlik sig'imi;  $\chi$  – issiqlik apparatining kirishigacha bo'lgan masofa.

(5.7) tenglamani integrallash kirishdan  $\chi$  masofada bo'lgan sovuq agentning harorati uchun quyidagi ifodani beradi:

$$T = T_1 - (T_1 - T_{2H}) e^{-\frac{KP}{Sc_{p_2} \nu_2} \chi} \quad (5.8)$$



**5.1-rasm.** Issiqlik almashish apparatining sxemasi.

Ideal aralashmaning modeli. Bu model sovuq agentning to'liq aralashishida amalga oshiriladi. Shuning uchun ham uning temperaturasi issiqlik almashish apparatining uzunligi bo'yicha o'zgarmaydi. Sovuq agentni qizdirishgacha bo'lgan harorat quyidagi issiqlik balans tenglamasidan aniqlanadi:

$$G_2 c_{p_2} (T_{2K} - T_{2H}) = KF (T_1 - T_{2K}) \quad (5.9)$$

*Yacheykali model.* Bu yerda sovuq agent oqimi ideal aralashishning ketma-ket bog'langan yacheykalari qatorlariga ajratilgan ko'rinishida keltiriladi. Modellarning matematik tavsifi yacheykalarining har biri uchun issiqlik balans tenglamasini o'z ichiga oladi:

$$\begin{aligned}
 G_2 c_{p_2} (T_2^{(1)} - T_{2H}) &= \frac{KF}{n} (T_1 - T_2^{(1)}) \\
 G_2 c_{p_2} (T_2^{(2)} - T_2^{(1)}) &= \frac{KF}{n} (T_1 - T_2^{(2)}) \quad (5.10) \\
 &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\
 G_2 c_{p_2} (T_{2K} - T_2^{(n-1)}) &= \frac{KF}{n} (T_1 - T_{2K})
 \end{aligned}$$

(5.10) tenglamalar tizimining yechimi yacheykalar bo'yicha harorat o'zgarishini hisoblash imkonini beradi.

*Diffuziyali model.* Matematik modellarni tuzishda murakkab teskari aralashishli ideal o'rin almashish modeli asos bo'lib xizmat qiladi.



$$-D_1 \frac{d^2 T}{dx^2} + v_2 \frac{dT}{dx} = \frac{KP(T_1 - T)}{Sc_{p_2}} \quad (5.11)$$

bu yerda,  $D_1$  – issiqlik tashuvchi oqimidagi bo‘ylama aralashish koeffitsiyenti. (5.11) tenglamaning yechimi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$T = C_1 e^{s_1 x} + C_2 e^{s_2 x} + T_1 \quad (5.12)$$

bu yerda,

$$s_{1,2} = \frac{-v_2 \pm \sqrt{v_2^2 + 4D_1 \frac{KP}{Sc_{p_2}}}}{-2D_1} \quad (5.13)$$

$C_1, C_2$  o‘zgarmaslarni quyidagi  $X = 0$  da  $T = T_{2H}$  chegara shartdan topish mumkin,

$$X = 0 \text{ da } \frac{dT}{dx} = 0 \quad (5.14)$$

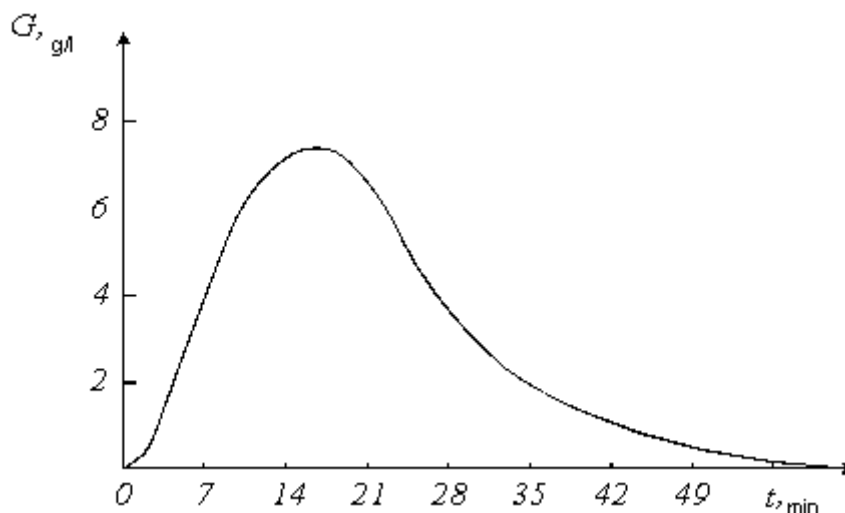
Natijada quyidagilarni olamiz

$$C_1 = T_{2H} - T_1 - \frac{s_1 e^{s_1 L} (T_1 - T_{2H})}{s_2 e^{s_2 L} - s_1 e^{s_1 L}} \quad (5.15)$$

$$C_2 = \frac{s_1 e^{s_1 L} (T_1 - T_{2H})}{s_2 e^{s_2 L} - s_1 e^{s_1 L}} \quad (5.16)$$

*Misol.* Endi sovuq agent harakatining turli modellaridan kelib chiqib, suyuqliklar kondensatsiyalanuvchi bug‘ bilan qizdiriladigan holatlar uchun sovuq agentning kesimlardagi haroratlarini baholaymiz . Issiqlik almashish sharoiti quyidagicha: suyuqlik sarfi  $G_2 = 1000 \text{ kg/soat}$  ni tashkil qiladi; uning issiqlik sig‘imi  $c_{p_2} = 2520 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$  ; zichligi  $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$  . Qizdirish  $T_1 = 120^\circ \text{C}$  haroratli to‘yingan suv bug‘i bilan amalga oshiriladi. Issiqlik almashishning silindrik yuzasining diametri  $D_T = 0,5 \text{ m}$  ga teng. Issiqlik uzatish koeffitsiyenti

$K = 600 \text{ Wt} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ni tashkil etadi. Issiqlik almashish apparatining uzunligi 1,5 m .



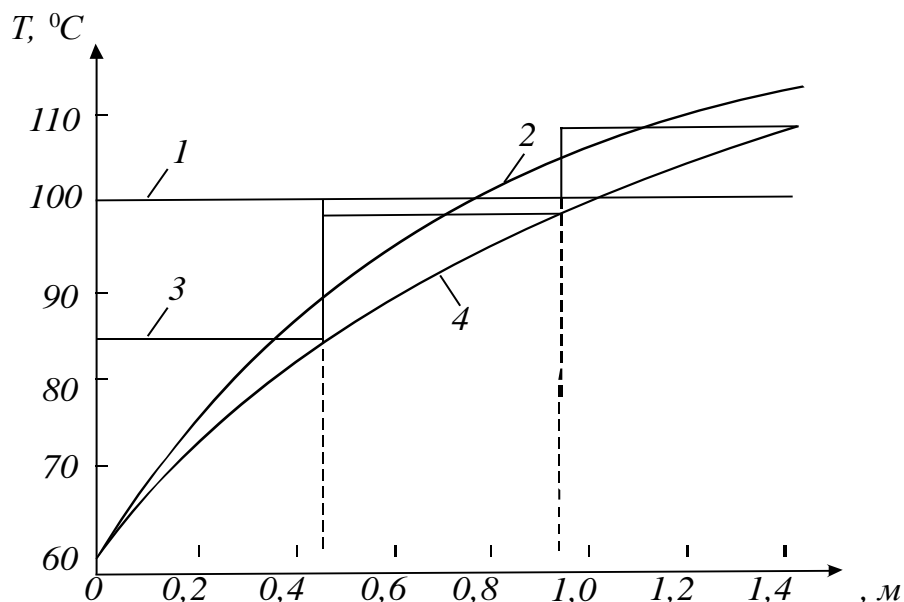
**5.2-rasm.** Tizim javobining S egri chizig‘i.

Issiqlik almashish apparatida qizdirilayotgan suyuqlik oqimining strukturasi baholash uchun tajribada tizimlar javobining S egri chizig‘i olindi (5.2-rasm) va bunda, oldin hisoblangan yacheykali va diffuziyali modellarning parametrlaridan foydalanildi:

$$p = 3 \text{ va } D_L = 3.54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s} .$$

Keyin keltirilgan modellar bo‘yicha sovuq agentning issiqlik almashish apparatining uzunligi bo‘yicha haroratlarini taqsimlanishi hisoblandi. Natijalar 5.3-rasmda ko‘rsatilgan.

Ular turli modellar uchun olingan haroratlarning sezilarli tarqalishi haqida ma’lumot beradi. Shunday qilib, ideal o‘rin almashish modeli yuqori haroratlar ( $T_{2K} = 112 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) ni beradi, to‘liq aralashish modeli esa past haroratlar ( $T_{2K} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) ni beradi. Issiqlik almashish apparatidagi harorat o‘zgarishining yanada realroq xarakterini yacheykali va diffuziyali modellar aks ettiradi ( $T_{2K} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). Bunda berilgan modellar uchun chekli haroratlar amaliy jihatdan mos keladi, lekin juda kichik kesimlardagi haroratlar farq qiladi. Ideal o‘rin almashish va diffuziyali modellar uchun issiqlik apparatlarini hisoblashda chekli haroratlarning farqi  $5^\circ$  (5% ga yaqin) ni tashkil etadi. Sovuq agentning o‘rin almashish va to‘liq aralashish modellari yanada katta farqni beradi.



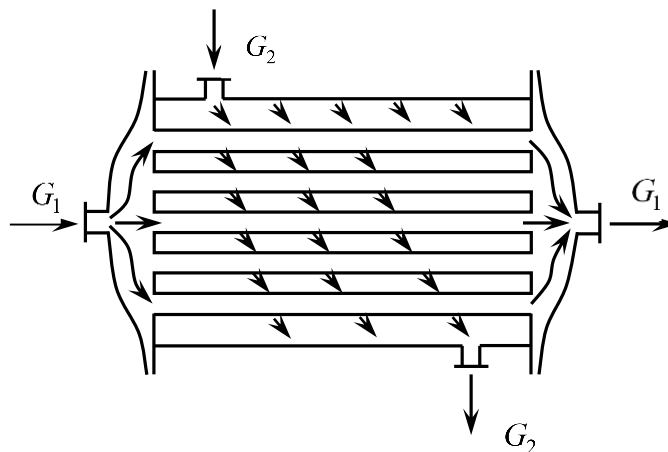
**5.3-rasm.** Turli modellar bo'yicha harorat profilining hisobi:  
 1-ideal aralashish; 2-ideal siqib chiqarish; 3-yacheykali model;  
 4-diffuziyali model.

Keltirilgan natijalar shuni ko'rsatadiki, issiqlik tashuvchilarining real oqimlarini to'la o'rin almashish va aralashish rejimlaridan og'ishini o'rganish muhim hisoblanadi.

#### **4.1.3. Rekuperativ issiqlik almashish apparatlarining ishlashini modellashtirish**

Umumiy munosabat. Issiqlik almashish apparatlarining berilgan turi kimyo sanoatida keng tarqalgan; unga birinchi navbatda rekuperativ obi quvurli issiqlik almashish apparatlari tegishli (5.4- rasm).

Issiqlik almashish apparatlarining hisobi odatda kerakli miqdordagi issiqlik  $Q$  uzatish uchun lozim bo'ladigan issiqlik almashish sirti  $F$  ning maydonini aniqlash maqsadida (loyihaviy hisob) yoki berilgan konstruksiyali va issiqlik almashish yuzali issiqlik almashish apparatlaridagi issiqlik tashuvchilarning harorati va issiqlik miqdorini aniqlash maqsadida (tekshiruv hisobi) amalga oshiriladi. Bu variantlarning prinsipial farqlari yo'q, shuning uchun ham kelgusida loyihaviy hisobni ko'rib chiqamiz.



**5.4-rasm.** Obi quvurli issiqlik almashish apparatidagi issiqlik tashuvchilar oqimlarining sxemasi.

evor bilan ajratilgan, turli haroratli ikki issiqlik tashuvchilar o'rtasidagi issiqlik uzatish jarayonini ko'rib chiqamiz. Elementar  $df$  issiqlik almashish maydoni orqali o'tadigan issiqlik miqdori  $dQ$

$$dQ = K(T_1 - T_2)df \quad (5.17)$$

ni tashkil etadi.

Bu yerda  $T_1$  va  $T_2$  – issiqlik tashuvchilarning issiqlik almashish yuzasiga perpendikular bo'lgan o'rtacha haroratlari;  $K$  – termik o'tkazuvchanlik mohiyatiga ega bo'lgan proporsionallik koeffitsiyenti va u issiqlik tashuvchilar haroratlarining farqi  $1^\circ$  bo'lganda birlik issiqlik almashish yuzasi orqali birlik vaqt ichida o'tuvchi issiqlik miqdoriga teng.

Termik o'tkazuvchanlikka teskari kattalik termik qarshilik bo'lib, issiqlik oqimi yo'nalishidagi bir-biriga bog'liq termik qarshiliklardan, aynan u: qattiq devor yuzasining birinchi issiqlik tashuvchining issiqlik o'tkazishini asosiy massasiga bo'lgan termik qarshiligi  $1/\alpha_1$ ; qattiq devorning xususiy qarshiligi  $\left( \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} \right)$ , devor yuzasining ikkinchi issiqlik tashuvchining asosiy massasiga bo'lgan termik qarshilik  $\left( \frac{1}{\alpha_2} \right)$  lardan tashkil topadi. Termik qarshiliklar qo'shimcha ravishda issiqlik tashuvchilardan issiqlik o'tkazish yuzasiga tushadigan turli jinsli cho'kindilarga ham ega. Bunday qo'shimcha qatlamlarning termik qarshiligi ularning qalinligi  $\delta_i$  va issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti  $\lambda_i$  bilan ifodalanadi.

Yassi issiqlik almashish yuzalari uchun issiqlik uzatish koeffitsiyentining qiymati xususiy termik qarshilik orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$K = \left( \frac{1}{a_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_2} \right)^{-1} \quad (5.18)$$

Endi kinetik va issiqlikning fizik koeffitsiyentlari o‘zgaras bo‘lgan hollardagi issiqlik almashish apparatining hisobini ko‘rib chiqamiz.

Issiqlik almashish sirtining zaruriy maydoni (5.17) differensial tenglamani izlanayotgan butun  $F$  sirt bo‘yicha integrallab aniqlanadi:

$$F = \int_0^F \frac{dQ}{K(T_1 - T_2)} \quad (5.19)$$

Shunday qilib, integral ostidagi funksiya issiqlik tashuvchining harorati va integrallashning noma’lum yuqori chegarasiga bog‘liq bo‘ladi va (5.19) tenglamani integrallash issiqlik tashuvchilarning o‘zgaruvchan haroratlariga nisbatan amalga oshiriladi.  $df$  elementar issiqlik almashish yuzasidagi issiqlik tashuvchilar uchun issiqlik balansining tenglamasini yozib quyidagini olamiz (issiqlik tashuvchilar teskari oqimli bo‘lgan hollar uchun):

$$dQ = -c_1 G_1 dT_1 = -c_2 G_2 dT \quad (5.20)$$

bu yerda,  $c_1, c_2, G_1, G_2$  – birinchi va ikkinchi issiqlik tashuvchilarning issiqlik sig‘imlari va massaviy sarflari.

(5.20) munosabat faqatgina molekular issiqlik o‘tkazuvchanlik va turbulent o‘tish tufayli ko‘ndalang o‘tgan issiqlik miqdori konvektiv o‘tishdagi bilan solishtirilganda ahamiyatsiz darajada bo‘lganda to‘g‘ridir. (5.20) tenglamadan quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$d(T_1 - T_2) = \left( \frac{1}{\omega_1} - \frac{1}{\omega_2} \right) K(T_1 - T_2) df \quad (5.21)$$

bu yerda  $\omega_1 = c_1 G_1$ ,  $\omega_2 = c_2 G_2$  – issiqlik tashuvchilarning suvdagi ekvivalentlari.

$T_1$  va  $T_2$  haroratlar o'zgarishining kichik diapazonlarida kattaliklarni o'zgarimas deb qabul qilish mumkin. Unda (5.21) tenglama integrallansa, issiqlik tashuvchilarning bo'ylama issiqlik almashish yuzasi bo'yicha haroratlarining o'zgarish farqi eksponensial ko'rinishga o'tadi:

$$T_1 - T_2 = \Delta T_1 \exp \left[ -K \left( \frac{1}{\omega_1} - \frac{1}{\omega_2} \right) f \right] \quad (5.22)$$

bu yerda,  $\Delta T_1$  – issiqlik tashuvchilarning  $f = 0$  dagi haroratlarining farqi.

(5.22) tenglamadan yuza bo'yicha haroratlarning o'rtacha farqi  $\Delta T_{o'r}$  quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta T_{o'r} = \frac{1}{F} \int_0^F \Delta T_1 \exp \left[ K \left( \frac{1}{\omega_1} - \frac{1}{\omega_2} \right) f \right] df = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (5.23)$$

$\Delta T_2 - f = F$  bo'lganda issiqlik almashish apparatining ikkinchi oxiridagi issiqlik tashuvchilar haroratlarining farqlari.

Issiqlik sig'imi va issiqlik berish koeffitsiyentlari o'zgarimas bo'lgan hollarni ko'rib chiqamiz. (5.17) tenglamani  $K = const$  shartga ko'ra integrallab quyidagini olamiz:

$$Q = \int_0^F K (T_1 - T_2) df = K \Delta T_{o'r} F \quad (5.24)$$

Issiqlik balansi tenglamasi

$$W_1 (T_{1H} - T_1) = W_2 (T_{2K} - T_1) \quad (5.25)$$

ni hisobga olib issiqlik almashish apparatining ixtiyoriy kesimi uchun issiqlik tashuvchilar haroratlarining bog'liqligini olish qiyin emas:

$$T_1 = T_{2K} + \frac{W_2}{W_1} \left\{ T_{1H} + \Delta T_1 \exp \left[ K \left( \frac{1}{\omega_1} - \frac{1}{\omega_2} \right) f \right] \right\} \quad (5.26)$$

O'xshash tarzda ikkinchi issiqlik tashuvchilar haroratlarining taqsimlanishi topiladi. Devorlarning tashqi yuzalaridagi harorat  $T_c$  issiq harorat tashuvchining devor va termik qarshiliklarning butun tizimi orqali tashiydigan miqdorlarining tengligidan aniqlanadi:

$$a_1(T_1 - T_{c1}) = K(T_1 - T_2) \quad (5.27)$$

Issiqlik almashish apparatidagi ixtiyoriy kesim uchun  $T_{c2}$  yuqoridagiga o'xshash tarzda topiladi. Shunday qilib, ushbu holdagi issiqlik apparatining ichidagi barcha haroratlarning taqsimlanishini oson topish mumkin.

Issiqlik almashish apparatini hisoblashning ko'rib chiqilgan usullarining asosiy kamchiligi devorning  $a_1$  va  $a_2$  haroratlariga bo'lgan ta'sirning hisobga olinmasligi hisoblanadi.

Amaliyotda issiqlik almashish apparaturalarini hisoblashning butun issiqlik almashish yuzasi bo'yicha issiqlik tashuvchilarning issiqlik sig'imi va issiqlik uzatish koeffitsiyentlari o'zgarmas deb olingan usullari keng tarqalgan, biroq bu yerda boshlang'ich usullardan farqli ravishda issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $K$  ning qiymati issiqlik almashish yuzasi bo'yicha olingan o'rtacha  $\bar{T}_1, \bar{T}_{c1}, \bar{T}_{c2}, \bar{T}_2$  larning qiymatlariga bog'liq. Shunday qilib  $\bar{T}_{c1}, \bar{T}_{c2}$  berilmagan bo'lib, ularning o'zi issiqlik almashishning o'rnatilgan jadalligiga bog'liq bo'ladi, ya'ni ular interativ usulda aniqlaniladi. Ushbu usul bo'yicha hisoblash algoritmi quyidagilardan tarkib topadi.

Issiqlik almashish apparatining oxirida issiqlik tashuvchining ma'lum harorati bo'yicha haroratlarning o'rtacha farqi  $\Delta T_{o'r}$  hisoblaniladi ((5.23) tenglama). Suv ekvivalenti katta issiqlik tashuvchilar uchun apparaturalarning uzunligi bo'yicha haroratlarning o'rtacha yaqinlashish qiymati  $\bar{T}_1 = 0.5(\bar{T}_{1H} + T_{1K})$  hisoblanadi. Ikkinchi issiqlik tashuvchi uchun o'rtacha harorat  $\bar{T}_2 = \bar{T}_1 - \Delta T_{o'r}$  kabi hisoblanadi.

Devorning birinchi issiqlik tashuvchi tomonidagi boshlang'ich yaqinlashish harorati  $\bar{T}_{c1}$   $\bar{T}_1 - \bar{T}_2$  diapazonda tanlandi. Keyinchalik birinchi issiqlik tashuvchining

devorga issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha_1$  ni baholash mumkin. Unda birinchi issiqlik tashuvchidan devorga beriluvchi issiqlik oqimi  $q_1$  quyidagini tashkil etadi:

$$q_1 = \alpha_1(\bar{T}_1 - \bar{T}_2)(5.28)$$

Ifloslangan devorning ma'lum termik qarshiligi  $\left(r_T + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}}\right)$  bo'yicha devorning ikkinchi issiqlik tashuvchi tomonidagi yuzasining harorati aniqlanadi, ya'ni

$$\bar{T}_{C2} = \bar{T}_{C1} - q \left( r_T + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} \right) (5.29)$$

Issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati ma'lum  $\bar{T}_{C2}$  va  $\bar{T}_2$  lar bo'yicha hisoblanadi. Nihoyat, devordan ikkinchi issiqlik tashuvchi tomonga beriladigan issiqlik oqimi topiladi:

$$q_2 = \alpha_2(\bar{T}_{C2} - \bar{T}_2)(5.30)$$

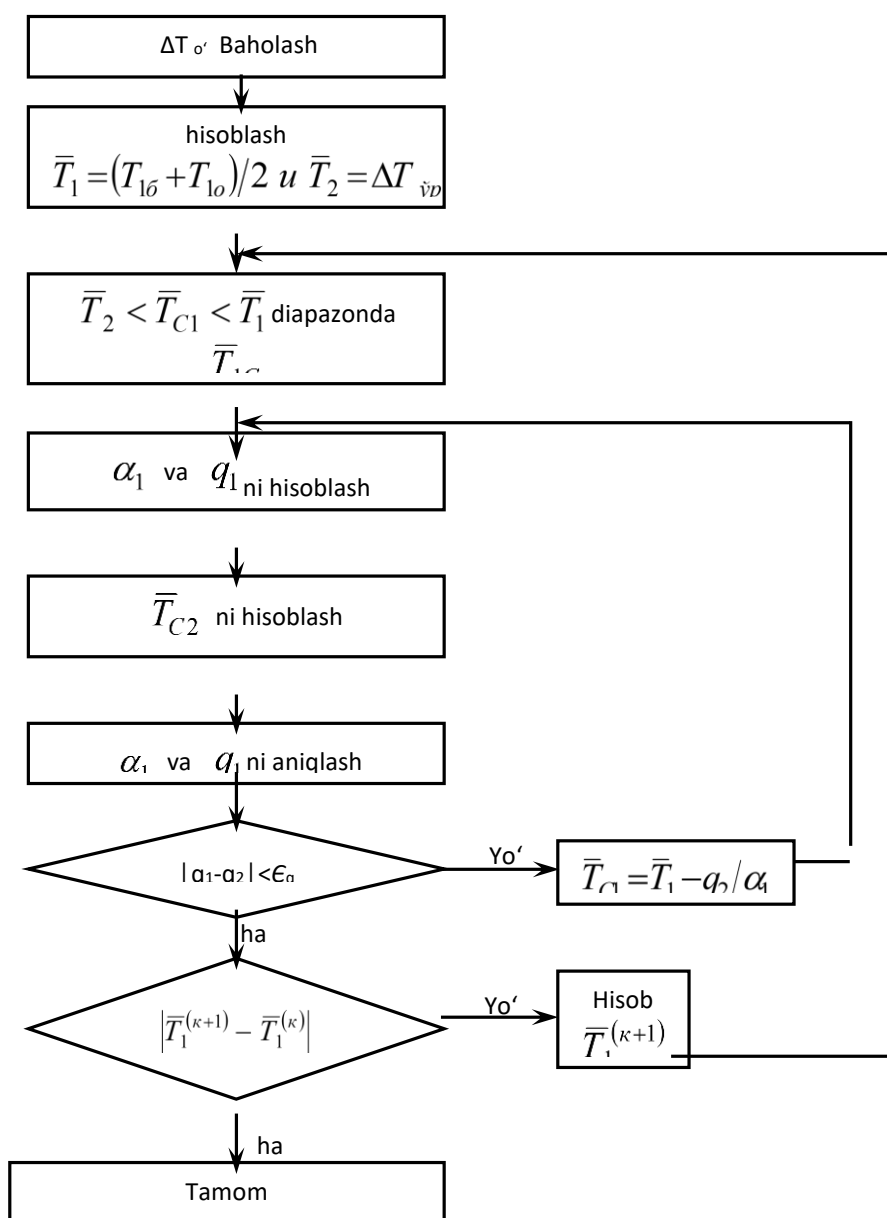
Statsionar issiqlik uzatishda  $q_1$  va  $q_2$  issiqlik oqimlari bir-biriga teng bo'lishi kerak. Ko'rinib turibdiki, boshlang'ich iteratsiyalarda bu shart bajarilmaydi va o'rtacha harorat taxminiy beriladi. Bunday holda devor harorati  $\bar{T}_{C1}$  quyidagi shartdan kelib chiqib aniqlanadi:

$$q_1 = \alpha_1(\bar{T}_1 - \bar{T}_{C1})(5.31)$$

$q_1$  va  $q_2$  oqimlar hisobining berilgan aniqligiga erishishda issiqlik almashish sirtining maydoni  $G'$  va issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $K$  ning qiymatlari hisoblanadi. Olingan  $G'$  va  $K$  larning qiymatlari birinchi issiqlik tashuvchining ((5.26) tenglamaga asosan) o'rtacha harorati  $\bar{T}_1$  ni aniqlash imkonini beradi. Keyin ikkinchi issiqlik tashuvchining o'rtacha harorati  $\bar{T}_2$  aniqlanadi va iteratsiya jarayoni toki ikkita ketma-ket iteratsiyalardagi o'rtacha haroratlarning farqlari berilgan aniqlikdan kam bo'lmaguncha davom ettiriladi.



Qaynatgichlar yoki kondensatorlarni hisoblashda issiqlik tashuvchilardan birining harorati o'zgarmas bo'lsa, issiqlik tashuvchilarning bo'yama issiqlik o'tkazish yuzasidagi o'rtacha harorati bo'yicha amalga oshiriladigan iteratsiya sikli qatnashmaydi, umumiy qilib aytganda, masala osonlashtiriladi. 5.5 rasmda bo'yama issiqlik almashish yuzasining o'rtacha parametrlari bo'yicha hisoblanadigan issiqlik almashish apparatlarini hisoblash algoritmining blok - sxemasi keltirilgan.



**5.5-rasm.** O'rtacha parametrli issiqlik almashishning bo'yama yuzasi bo'yicha issiqlik almashish apparatini hisoblash algoritmining blok – sxemasi.

Endi issiqlik sig'imi va issiqlik berish koeffitsiyentlari o'zgaruvchan bo'lgan hollarni ko'rib chiqamiz. Ko'pgina amaliy hollarda issiqlik sig'imi va issiqlik berish koeffitsiyentlari issiqlik tashuvchilarning harorati va devor yuzasiga bog'liq bo'ladi.

Bularga bog‘liq holda ilgari ko‘rib o‘tilgan issiqlik almashishning o‘rtacha parametrlari bo‘yicha issiqlik almashish apparatlarini hisoblash algoritmini issiqlik tashuvchilar haroratlarining o‘zgarishi katta bo‘lmagan hollar uchun qo‘llab ko‘ramiz. Ko‘rsatilgan mulohaza issiqlik almashish apparaturalarini hisoblashning intervalli usuli deb ataluvchi usul sifatida o‘rganiladi. Usulning mohiyati quyida keltirilgan.

$[T_{1H}, T_{1K}]$  issiqlik tashuvchilardan biri ega bo‘lgan harorat o‘zgarishining diapazoni bir necha sondagi intervallarga bo‘linadi va har bir interval chegaralarida issiqlik tashuvchilar va devorning haroratlarini o‘zgarmaydi deb hisoblash mumkin.

Birinchi issiqlik tashuvchining harorati tanlangan intervallarning birinchisini oxirida  $T_1^1$  ni tashkil qilsin. Ushbu issiqlik tashuvchining birinchi interval chegaralaridagi haroratini doimiy va  $\bar{T}_1 = 0.5(T_{1H} + T_1^1)$  ga teng deb qabul qilish mumkin. Ikkinchi issiqlik tashuvchining birinchi interval oxiridagi haroratini (misol to‘g‘ri oqim hollari uchun qaralmoqda) issiqlik balansi tenglamasidan oson aniqlash mumkin

$$T_2^1 = T_{2H} + \frac{c_1 G_1}{c_1 G_1} (T_{1H} - T_1^1) \quad (5.32)$$

va mos ravishda ikkinchi issiqlik tashuvchining birinchi hududdagi harorati quyidagi tenglikni qabul qilishi mumkin

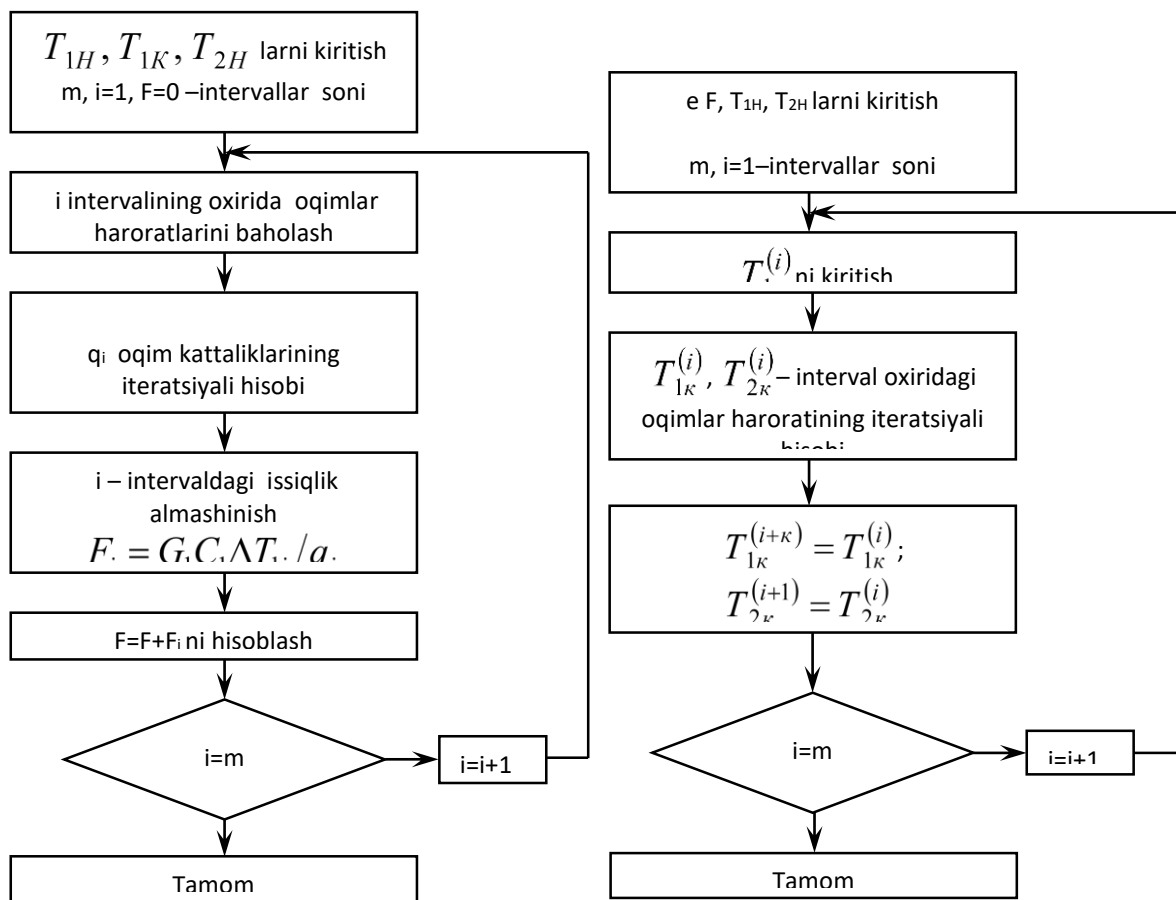
$$\bar{T}_2^1 = 0.5(T_{2H} + T_2^1) \quad (5.33)$$

Endi birinchi intervalga yuqorida ko‘rib o‘tilgan issiqlik almashishni o‘rtacha parametrlar bo‘yicha hisoblash algoritmini qo‘llash mumkin, ya‘ni  $\bar{T}_1^1 \div \bar{T}_2^1$  harorat intervalida devorning  $T_{C1}^1$  haroratiga boshlang‘ich yaqinlashish tanlanadi va  $\alpha_1^1, q_1^1, T_{C2}^1, \alpha_2^1, q_2^1$  qiymatlar iteratsion usulda hisoblanadi.

Hisobning berilgan aniqligi ( $|q_1 - q_2| < \xi$ ) ga erishilgandan so‘ng berilgan issiqlik miqdorini o‘tkazishni ta‘minlovchi issiqlik almashish yuzasining maydoni aniqlanadi.

Keyin ketma-ket ravishda issiqlik tashuvchi harorati o‘zgarishining ikkinchi va undan keyingi intervallari  $T_{1K}$  gacha hisoblanadi. Har bir interval uchun olingan

issiqlik almashish yuzalarining barchasi qo‘shiladi va bu yig‘indi issiqlik almashish apparatining oxirlarida issiqlik tashuvchilarning berilgan haroratida talab qilinadigan issiqlik almashish yuzasini beradi. 5.6-rasmda issiqlik almashish apparatini intervalli hisoblashning blok - sxemasi keltirilgan.



**5.6-rasm.** Issiqlik almashish apparatining tekshiruv o‘tkazishdagi hisoblash algoritmining intervalli hisoblash algoritmining blok-sxemasi blok - sxemasi.

Issiqlik apparatlarini intervalli hisoblash algoritmlari yordamida tekshiruv hisoblari (issiqlik almashish yuzasi ma’lum va issiqlik tashuvchining chiqishdagi haroratini topish talab qilinadi) issiqlik almashish yuzalarini intervallarga bo‘lish bilan amalga oshiriladi. Keyin issiqlik tashuvchilardan birining interval chiqishidagi haroratining qiymati beriladi va iteratsion yo‘l bilan issiqlik tashuvchilarning interval chiqishidagi haroratlari aniqlanadi, shundan so‘ng keyingi intervalga o‘tiladi. Issiqlik almashish apparatining tekshiruv o‘tkazishdagi intervalli hisoblash algoritmi 5.7-rasmda keltirilgan.

Issiqlik tashuvchilarning ikkalasini ham agregat holati o'zgaradigan issiqlik apparatlarining hisobi. Qaralayotgan issiqlik almashish apparatlarida odatda bir issiqlik tashuvchi bug'larining kondensatsiyalanishi va ikkinchi suyuq issiqlik tashuvchining qaynashi amalga oshiriladi (masalan, rektifikatsiya kolonnalarining qaynatgichlari, bug'latish apparatlarining yonish kameralari). Ushbu issiqlik almashish jarayonlarining asosiy xususiyati issiqlik tashuvchilarning bo'yлама issiqlik almashish yuzasi bo'yicha harorati o'zgarmas va buning natijasida issiqlik tashuvchilarning xossalari va issiqlik uzatish koeffitsiyenti ham o'zgarmasdir.

Issiqlik almashish apparatlari bir yo'lli obi quvurli bo'lgan hollarda issiqlik almashish yuzasini hisoblash algoritmini ko'rib chiqamiz.

Quvur devoridan qaynaydigan suyuqlik quvuriga issiqlik uzatish koeffitsiyenti

$$\alpha_{quv} = 780 \frac{\lambda_j^{1.3} \rho_j^{0.5} \rho_p^{0.06} q^{0.6}}{\sigma_j^{0.5} r_j^{0.6} \rho_0^{0.6} c_j^{0.3} \mu_j^{0.3}} = Aq^{0.6} \quad (5.34)$$

formula bo'yicha aniqlanadi,

bu yerda,  $q$  – solishtirma issiqlik oqimi,  $Vt/m^2$ ;  $\rho_0$  – suyuqlik bug'larining atmosfera bosimidagi zichligi;  $g$  – bug' hosil bo'lishining solishtirma issiqligi;  $\sigma_j$  – sirt tarangligi;  $c_j$  – issiqlik sig'imi;  $\mu_j$  – qovushqoqlik;  $\lambda_j$  – issiqlik o'tkazuvchanlik. (5.34) formuladagi barcha kattaliklar qaynash haroratida berilgan.

Quvurning tashqi yuzasida kondensatsiyalanuvchi bug'ning issiqlik berish koeffitsiyenti solishtirma issiqlik yuklamasining bog'liqligi ko'rinishida ifodalanishi mumkin:

$$\alpha_{M,quv} = 1.2 \lambda_k \left( \frac{\rho_k^2 r_k g}{\mu_k H q} \right)^{1/3} = Bq^{-1/3} \quad (5.35)$$

bu yerda,  $g_k$  – kondensatsiyalanishning solishtirma issiqligi;  $\lambda_k, \rho_k, \mu_k$  mos ravishda kondensatning issiqlik o'tkazuvchanligi, zichligi va qovushqoqligi;  $N$  – quvurning balandligi.

Solishtirma issiqlik oqimi  $q$  ni topish uchun issiqlik uzatish yuzasi

$$F = Q/q \quad (5.36)$$

va issiqlik uzatishning asosiy tenglamasi

$$q = K\Delta T \quad (5.37)$$

dan foydalanib uni quyidagi ko‘rinishga keltiramiz,

$$\frac{1}{K} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{\alpha_{quv}} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{quv.or}} \quad (5.38)$$

bu yerda,  $K$  – issiqlik uzatish koeffitsiyenti;  $\Delta T$  – issiqlik tashuvchilar haroratlarining farqi;  $\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + r_{z1} + r_{z2}$  - quvur devori va iflos cho‘kmalarning termik qarshiliklari yig‘indisi;  $Q$  – apparatning issiqlik balansidan aniqlanadigan issiqlik yuklamasi.

(5.38) tenglamaga (5.34) va (5.35) ifodalar qo‘yilgandan so‘ng u quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$f(q) = \frac{1}{A} q^{0.4} + \left( \sum \frac{\delta}{\lambda} \right) q + \frac{1}{B} q^{4/3} - \Delta T = 0 \quad (5.39)$$

Oxirgi tenglamani solishtirma issiqlik yuklamasi  $q$  ga nisbatan yechishni yarmiga bo‘lish usuli bilan amalga oshirish mumkin (5.11 rasm). Usulning g‘oyasi  $[a_i, b_i]$  kesmani ketma-ket qisqartirishdan iborat bo‘lib, qisqartirish izlanayotgan  $q^*$  ildizga olib boruvchi bu kesmani ikkiga bo‘lish yordamida amalga oshiriladi:

$$c_i = \frac{a_i + b_i}{2} \quad (5.40)$$

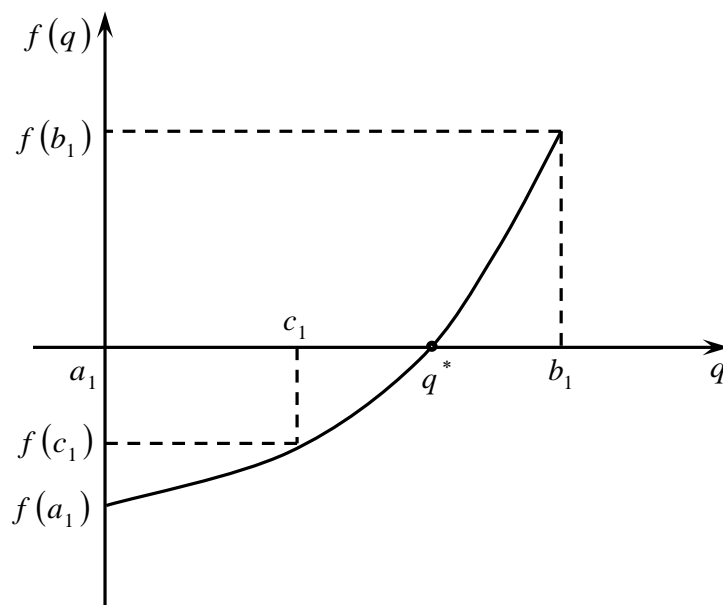
tekshirish sharti quyidagicha

$$f(a_i)f(c_i) < 0 \quad (5.41)$$

Agar (5.41) shart bajarilsa,  $[a_i, c_i]$  kesma tanlanadi; aks holda  $[a_i, c_i]$  kesma tanlanib izlanish amali takrorlanadi. Kesmani bo‘lish uning uzunligi  $b_i - a_i$  berilgan aniqlikdan kichik bo‘lmaguncha davom ettiriladi.

Izlanish intervalining quyi chegarasi  $a_1$  nolga yaqin qilib, yuqori chegarasi  $b_1$  esa solishtirma issiqlik yuklamasining kritik qiymati  $q_{KP}$  ga yaqin qilib qabul izlanadi.

Topilgan solishtirma issiqlik yuklamasi  $q$  uchun talab qilinadigan issiqlik almashish apparatining yuzasi (5.36) tenglikdan aniqlanadi.



**5.8-rasm.** Oraliqni teng ikkiga bo'lish usulining grafik tasviri.

**1-misol.** Kondensatning kondensatsiyalanish haroratidagi fizik xossalari: issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_k = 0,683 \text{ Wt}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , zichligi  $\rho_K = 908 \text{ kg}/\text{m}^3$ , solishtirma bug'lanish issiqligi  $r_k = 2095000 \text{ J}/\text{kg}$ , qovushqoqligi  $\mu_k = 0,000177 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . Suyuqligining qaynash haroratidagi fizik xossalari: issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_j = 0,686 \text{ Wt}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , zichligi  $\rho_j = 957 \text{ kg}/\text{m}^3$ , issiqlik sig'imi  $c_j = 4190 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ , qovushqoqligi  $\mu_j = 0,00024 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , sirt tarangligi  $\sigma_j = 0,0583 \text{ N}/\text{m}$ , qaynash haroratidagi bug'larning zichligi  $\rho_p = 0,65 \text{ kg}/\text{m}^3$ , solishtirma bug'lanish issiqligi  $r_j = 2253900 \text{ J}/\text{kg}$  bo'lgan suv bug'i bilan qizdiriladigan qaynatgich berilgan. Haroratlar farqi  $\Delta T = 55,6^\circ\text{C}$ , quvur devori va iflos cho'kmalar termik qarshiliklarining yig'indisi  $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,0004787 \text{ m}^2 \text{ XK}/\text{Wt}$

Umumiy issiqlik yuklamasi  $Q = 1005000 \text{ Vt}$  bo'lsa, berilgan rektifikatsiya kolonnasining qaynatgichini hisoblash talab qilinadi.

*Yechim*—rektifikatsiya kolonnalarining qaynatgichlari sifatida odatda vertikal bir yo'lli obi quvurli issiqlik almashish apparatlaridan foydalaniladi va quvurning tashqi yuzasini kondensatsiyalovchi, qizdiruvchi bug'ning issiqlik berish koeffitsiyenti quvurning balandligiga bog'liq, shuning uchun ham avval quvurning balandligi  $H = 2 \text{ m}$  ni beramiz. Boshlang'ich ma'lumotlar asosida talab qilingan issiqlik almashish yuzasi  $F$  ni hisoblaymiz. Hisoblash natijalari quyidagicha:  $\alpha_{quv} = 10478,2 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $\alpha_{quv.or} = 7073,6 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $K = 1395,9 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $F = 12,9 \text{ m}^2$ .

Balandligi  $H = 2 \text{ m}$  bo'lgan bir yo'lli obi quvurli issiqlik almashish apparatlar yuzasining Davlat standartidagi (Dav.ST) qiymatga yaqin qiymati  $18 \text{ m}^2$ . Shundan kelib chiqib, issiqlik almashish apparatining zaxira yuzasi talab qilingani bilan

solishtirilganda quyidagini tashkil etadi:  $\Delta = \frac{18 - 12,9}{12,9} 100 \% = 39,5\%$

Issiqlik almashish apparatini Dav.ST bo'yicha yanada aniqroq tanlashga harakat qilamiz. Buning uchun quvurning balandligini  $N = 1,5 \text{ m}$  deb qilamiz. Ushbu holda issiqlik apparatining hisobi quyidagilarni beradi:  $\alpha_{quv} = 10596,5 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $\alpha_{quv.or} = 7698,1 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $K = 1422,3 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $F = 12,7 \text{ m}^2$ .

Dav.ST 15122—79 dagi issiqlik almashish apparatiga yaqin,  $14 \text{ m}^2$  yuzali issiqlik almashish apparati yuza bo'yicha quyidagi to'la qanoatlantiruvchi zaxirani ta'minlaydi.

Shunday qilib, ikkinchi holatda hisoblangan qaynatgich afzal bo'lib, u issiqlik almashish yuzasi bo'yicha ko'proq asoslangan zaxirani ta'minlaydi va kichik issiqlik almashish yuzasiga ega.

Issiqlik tashuvchilardan birining agregat holati o'zgaradigan issiqlik almashish apparatlarining hisobi. Issiqlik almashish apparatlarining ushbu sinfiga qizdiruvchi agent sifatida kondensatsiyalanuvchi bug' ishlatiladigan suyuqlik bug'larining kondensatorlari va qizdirgichlarni kiritish mumkin. Bunday issiqlik almashish

apparatlarida agregat holati o'zgaruvchi issiqlik tashuvchining harorati issiqlik uzatish yuzasi bo'yicha o'zgarmas bo'ladi va fazaviy o'tish haroratiga mos keladi, ikkinchi issiqlik tashuvchining harorati esa monoton ravishda o'zgaradi. Shunday qilib, issiqlik uzatishni harakatga keltiruvchi kuch va issiqlik uzatish koeffitsiyenti yuza bo'yicha o'zgaradi. Bu holatda issiqlik apparatlarini hisoblash yo yuza bo'yicha olingan o'rtacha issiqlik almashish parametrlari asosida yo intervalli bo'lsin, butun issiqlik almashish yuzasi hududlarga bo'linadi va ularning har biri doimiy issiqlik almashish parametrga ega deb hisoblanadi. Keyinroq o'rtacha parametrli butun issiqlik almashish yuzasi bo'yicha issiqlik almashish apparatlarini hisoblashni ko'rib chiqamiz. Hisoblashning taklif qilinadigan algoritmlari bir va ko'p yo'lli obi quvurli issiqlik almashish apparatlariga tegishli bo'lib, quvurlar orasidagi fazoda suyuqlik bug'lari kondensatsiyalanadi, kondensatsiyalanish issiqligi yordamida quvurlarning ichidagi suyuqlik yoki gazlar qizdirilishi amalga oshiriladi.

Quvurlardagi issiqlik tashuvchilarning issiqlik uzatish koeffitsiyenti quyidagi ko'rinishda keltirilishi mumkin:

$$\alpha_{quv} = \frac{\lambda_{quv}}{d} x \text{Re}_{quv}^Y \text{Pr}^{0.43} = CN^{-Y} \quad (5.42)$$

bu yerda

$$\text{Re}_{quv} = \frac{u_{quv} d \rho_{quv}}{\mu_{quv}} = \frac{4G_{quv} z}{\pi \mu_{quv} dN}; \quad \text{Pr}_{quv} = \frac{c_{quv} \mu_{quv}}{\lambda_{quv}}$$

agar  $\text{Re}_{quv} > 10^4$  bo'lsa,  $x = 0,023$ ,  $u = 0,8$ ; agar  $2300 < \text{Re}_{quv} < 10^4$  bo'lsa,  $x = 0,008$   $u = 0,9$ .  $G_{quv}$  – quvurlardagi issiqlik tashuvchilarning massa sarfi;  $d = d_H - 2\delta_{CT}$  – quvurlarning ichki diametri;  $N$  – quvurlar soni;  $Z$  – quvurlar fazosidagi yo'llar soni.

Diametri  $d_H$  va balandligi  $N$  bo'lgan vertikal quvurning tashqi yuzasida kondensatsiyalanuvchi bug'ning issiqlik berish koeffitsiyentiga muvofiq



$$\alpha_{quv.or} = DN^{1/3} \quad (5.43)$$

bu yerda,

$$D = 3.78 \lambda_k \sqrt[3]{\frac{\rho_K^2 D_h}{\mu_k G_P}} \quad (5.44)$$

Quvurlar gorizontol bo'lgan hollarda, o'xshash tarzda quyidagi nisbatga ega bo'lamiz:

$$\alpha_{quv.or} = DN^{1/3} \quad (5.45)$$

lekin

$$D = 2.02 \lambda_k \sqrt[3]{\frac{\rho^2 L}{\mu_k G_P}} \quad (5-46)$$

Bu yerda,  $L$  – quvur uzunligi;  $R$  – issiqlik almashish apparatining diametrik kesimida vertikal quvurlar qatorining joylashish koeffitsiyenti.

Issiqlik almashish yuzasi  $G'$  ning kattaligi quvurlar soni  $N$  bilan bog'liqligi quyidagi munosabat bilan ifodalanadi:

$$F = \pi \left( \frac{d_H + d}{2} \right) HN \quad (5.47)$$

Unda issiqlik almashish yuzasini aniqlash masalasi berilgan uzunlik (balandlik) va diametrli quvurlar soni  $N$  ni qidirish bilan olib borilishi mumkin. Buning uchun issiqlik uzatish tenglamasi

$$KF \Delta T_{quv} = G_P r_k \quad (5.48)$$

yoki

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{a_{quv}} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_{quv.or}} = \frac{\pi d_{o'r} HN \Delta T_{o'r}}{G_P r_k} \quad (5.49)$$

dan foydalanamiz. Bu yerda,  $\Delta T_{o'r}$  – o‘rtacha logarifmik harakatlantiruvchi kuch;

$G_P r_k$  – umumiy issiqlik yuklamasi;  $\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + r_{z1} + r_{z2}$  – quvur devorlari va iflos

cho‘kma termik qarshiliklarining yig‘indisi.

(5,49) tenglamaga (5.42) va (5.43) ifodalarni qo‘ygach u quyidagi ko‘rinishga o‘tadi:

$$f(N) = \frac{1}{D} N^{-4/3} + \left( \sum \frac{\delta}{\lambda} \right) N^{-1} + \frac{1}{C} N^{(Y-1)} - \frac{\pi d_{o'r} H \Delta T_{o'r}}{G_P r_k} = 0 \quad (5.50)$$

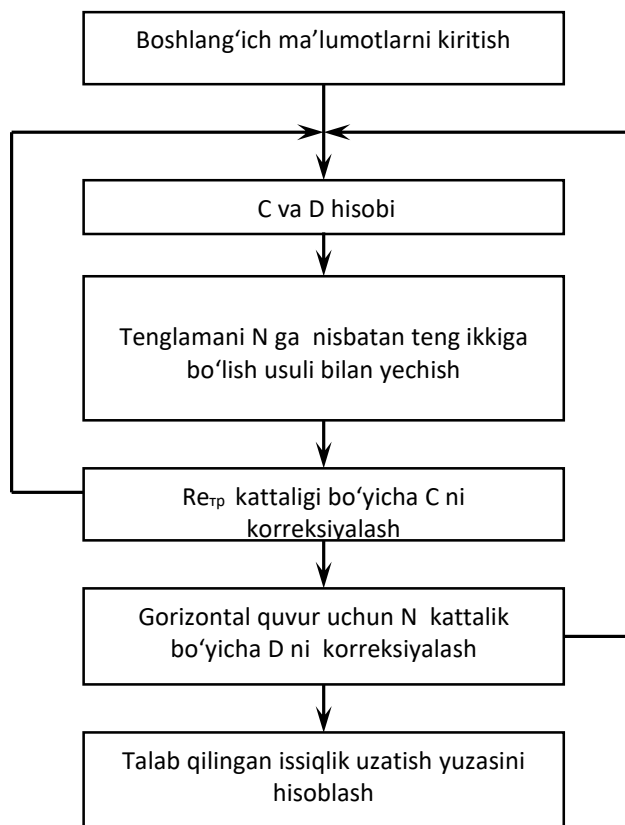
Oxirgi tenglamani issiqlik almashish apparatidagi quvurlar soni  $N$  ga nisbatan mohiyati oldinroq ko‘rib o‘tilgan oraliqni teng ikkiga bo‘lish usuli bilan yechish mumkin. Quvurlar soni  $N$  aniqlangandan so‘ng (5.47) tenglamadan zaruriy issiqlik almashish yuzasi  $G'$  aniqlanadi.

Issiqlik almashish yuzasini (5.47) tenglama bo‘yicha hisoblash uchun oldindan bir qator konstruktiv parametrlar berilgan bo‘lishi lozim, aynan: issiqlik almashish apparatining tipi (gorizontal, vertikal), quvurlarning diametri  $d_H$ , yo‘llar soni  $Z$  va quvurlarning balandligi (uzunligi)  $N$ . 5.9-rasmda issiqlik almashish apparatini hisoblash algoritmining blok - sxemasi keltirilgan.

Formula bo‘yicha  $\alpha_{quv}$  hisob issiqlik tashuvchilarning quvur ichidagi harakatining turbulent rejimini kuchaytirish uchun zarur ( $x = 0,023$ ,  $u = 0,8$ ). Agar tanlangan diametr va balandliklarda quvurlar sonining hisobi natijasida o‘lchamsiz Reynolds soni  $2300 \leq Re_{quv} \leq 10^4$  diapazonda yotsa,  $x = 0,008$ ,  $u = 0,9$  yangi qiymatlarida xuddi shu diametr va balandlikka ega quvurlar soni uchun issiqlik uzatishni qaytadan hisoblash zarur. Dasturda laminar rejim uchun  $\alpha_{quv}$  hisob nazarda tutilmagan, shuning uchun ham issiqlik almashish apparatining konstruktiv tavsiflari ( $Z$  sondagi quvurlarning diametri  $d_H$  va quvurning balandligi  $N$ ) ni tanlashda quvurlar soni  $N$  ning hisob natijalari  $Re_{quv} > 2300$  shartni bajarilishini ta’minlay olishi kerak degan shartga duch kelinadi.

2-misol. rektifikatsiya kolonnalarining boshlang'ich aralashmalarining qobiq – quvurli qizdirgichlarini hisoblash. Qizdirish suv bug'i bilan olib boriladi. Kondensatsiyalanish haroratidagi kondensatning fizik xossalari: issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_k = 0.683 \text{ Wt}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , zichligi  $\rho$ , solishtirma bug'lanish issiqligi  $r_k = 2095000 \text{ J/kg}$ , qovushqoqligi  $\mu_k = 0,000177 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , bug' sarfi  $G_p = 0,170 \text{ kg/s}$ . Quvurdagi o'rtacha haroratli suyuqliklarning fizik xossalari: issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_{quv} = 0,458 \text{ Wt}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , qovushqoqligi  $\mu_{quv} = 0,000534 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , issiqlik sig'imi  $c_{quv} = 3730 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ . Quvur devorlari va ifloslanishning termik qarshiliklari yig'indisi  $\sum \frac{\delta}{\lambda} = 0,000479 \text{ m}^2 \text{K/Wt}$ .

Haroratlarning o'rtacha farqi  $\Delta T_{cp} = 106^\circ \text{C}$ . Suyuqlik sarfi  $G_{TP} = 0,973 \text{ kg/s}$ .



**5.9-rasm.** Issiqlik tashuvchilaridan birining agregat holati o'zgaradigan obi - quvurli issiqlik almashish apparatini hisoblash algoritmining blok - sxemasi.

*Echim.* Quvurining tashqi diametri  $d_H = 0.02$ , yo'llari  $Z = 1$  va quvur uzunligi  $L = 3 \text{ m}$  bo'lgan gorizontal issiqlik almashish apparati ( $T=1$ ) keltirilgan variantni ko'rib chiqamiz. **COND** bo'yicha boshlang'ich ma'lumotlarni kiritgandan so'ng  $\alpha_{quv}$

$=865,1 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 13118,3 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $K=584,5\text{Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $\text{Re}_{quv} = 4674,4$ ,  $N=31$  larni olamiz.

Ko'rsatilgan konstruktiv tavsifli issiqlik almashish apparatining Dav.ST ga mos keladiganining quvurlari soni  $N=61$ , ya'ni quvurlar soni bo'yicha zaxira yuza deyarli ikki marta:

$$\Delta = \frac{61 - 31}{31} \cdot 100 \% = 96.8\%$$

Issiqlik almashish apparatining uzunligini 2 m gacha kamaytiramiz va qolgan konstruktiv tavsiflarni o'zgarishsiz qoldiramiz. Hisoblash natijasida  $\alpha_{quv} = 247,0 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 15625,8\text{Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $K = 217,2 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $\text{Re}_{quv} = 1161,1$ ,  $N=124$  larni olamiz.

Shunday qilib, quvurlar uzunligining kamayishi ularning sonini oshishi va  $\text{Re}_{quv}$  sonini kamayishi (shuningdek  $\alpha_{quv}$  ham) ga olib keladi,  $\text{Re}$  soni 2300 dan kam bo'ladi. Ushbu variant maqsadga to'g'ri kelmaydi. Natijalar tahlili shuni ko'rsatadiki, ikki yo'lli issiqlik almashish apparatlarini hisoblashlarni quvur uzunligini 2 m qilib olish maqsadga muvofiqdir. Tashqi diametri  $d_H = 0,025$  m bo'lgan quvurli issiqlik almashish apparatini hisoblaymiz. Hisoblash natijalari quyidagicha:  $\alpha_{quv} = 740,9 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 12628,1 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $K = 524,2 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $\text{Re}_{quv} = 5323,3$ ,  $N= 41$ .

Dav.STga mos keluvchi issiqlik almashish apparatining quvurlari soni  $N = 52$ .

Shunday qilib, quvurlar soni bo'yicha zaxira  $\Delta = \frac{52 - 41}{41} \cdot 100 \% = 26.8\%$  ni tashkil etadi. Bu natijani qoniqarli deb hisoblash mumkin. Tanlangan gorizonta issiqlik almashish apparatining qobig'i diametri 0,325 m,  $d_H = 0,025$  m, yo'llar soni 2, quvurlar soni 52, quvurlar uzunligi 2 m va issiqlik almashish yuzasi  $8\text{m}^2$ .

***Issiqlik tashuvchilarining agregat holati o'zgarmaydigan issiqlik almashish apparatlarini hisoblash.*** Issiqlik almashish apparatlarining ushbu guruhiga issiqlik tashuvchilarining birortasi ham agregat holatini o'zgartirmaydigan issiqlik uzatish jarayonlaridagi qizdirgichlar va sovutgichlar kiradi.

Qizdirish va sovitishda issiqlik tashuvchilarning har birining harorati issiqlik almashish yuzasi bo'yicha uzluksiz va monoton ravishda almashinadi. Issiqlik uzatish parametrlari (issiqlik uzatish koeffitsiyenti, harakatlantiruvchi kuch) ga muvofiq o'zgaradi. Barcha issiqlik almashish yuzasi bo'yicha issiqlik uzatish koeffitsiyenti va issiqlik tashuvchilar haroratlari farqining o'rtacha qiymatlari asosida issiqlik almashish apparatlarini hisoblashni ko'rib chiqamiz. Bunda issiqlik tashuvchilarning o'rtacha haroratlardagi xossalari beriladi. Issiqlik almashishdagi issiqlik tashuvchilar fazaviy aralashishlarda ishtirok etmaydi, issiqlik tashuvchidan devorga, devordan sovuq issiqlik tashuvchiga issiqlik berish jarayoni o'lchamsiz Reynolds soni bilan aniqlanuvchi issiqlik oqimining rejimi, o'lchamsiz Prandtl soni bilan aniqlanuvchi issiqlik tashuvchilarning xossalariga va devorning haroratlarga bog'liq.

Segmentli pardevorga ega issiqlik almashish apparatlarining quvurlari orasidagi fazo  $a_{quv.or}$  da harakatlanuvchi ikki issiqlik tashuvchining issiqlik berish koeffitsiyentlari quyidagi ifodalar bilan aniqlaniladi:

$$a_{quv.or} = \frac{\lambda_{quv.or}}{d_e} \varepsilon_\varphi 0.4 Re_{quv.or}^{0.36} Pr_{quv.or}^{0.36}, Re_{quv.or} > 1000 \quad (5.51)$$

$$a_{quv.or} = \frac{\lambda_{quv.or}}{d_e} \varepsilon_\varphi 0.56 Re_{quv.or}^{0.5} Pr_{quv.or}^{0.36}, \text{ agar } Re_{quv.or} < 1000 \quad (5.52)$$

( $quv.or$  – quvurlar orasidagi fazo)

bu yerda,  $Pe_{quv.or} = \frac{G_{quv.or} \cdot d_e}{\mu_{quv.or} \cdot S_{quv.or}}$ ;  $Pr_{quv.or} = \frac{c_{quv.or} \cdot \mu_{quv.or}}{\lambda_{quv.or}}$  – quvurlar orasidagi

fazodagi issiqlik tashuvchilar uchun o'lchamsiz Reynolds va Prandtl sonlari;  $\varepsilon_\varphi = 0,6$  – quvurlar to'plamiga oqimlarning bostirib kirish burchagiga ta'sir qiluvchi koeffitsiyent;  $S_{quv.or}$  – segmentli pardevorli issiqlik almashish apparatining quvurlari orasidagi fazodagi oqimning normal bilan aniqlanuvchi eng tor kesimining maydoni. Taxminan uni quyidagi formula bo'yicha aniqlash mumkin:

$$\text{agar } D \leq 0.3 \text{ bo'lsa, } S_{quv.or} \approx 0.3S,$$

agar  $D > 0.3\text{m}$  bo'lsa,  $S_{quv.or} \approx 0.16 S$ ,

bu yerda,  $S = \frac{\pi D^2}{4}$  – issiqlik almashish apparatining kesim yuzasi;  $D$  – qobiqning diametri.

(5.51), (5.52) tenglamalarda aniqlovchi o'lcham sifatida ekvivalent diametr  $d_e$  qabul qilingan.

Quvurlar orasida harakatlanuvchi issiqlik tashuvchilar uchun issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$\text{agar } Pe_{quv} \geq 10^4 \text{ bo'lsa, } \alpha_{quv} = 0.023 \frac{\lambda_{quv}}{d} Re_{quv}^{0.8} Pr_{quv}^{0.43}, \quad (5.53)$$

$$\text{agar } 2300 \leq Pe_{quv} < 10^4 \text{ bo'lsa, } \alpha_{quv} = 0.008 \frac{\lambda_{quv}}{d} Re_{quv}^{0.9} Pr_{quv}^{0.43}, \quad (5.54)$$

$$\text{agar } Re_{quv} < 2300 \text{ bo'lsa, } \alpha_{quv} = 0.008 \frac{\lambda_{quv}}{d} Re_{quv}^{0.33} Pr_{quv}^{0.43} Gr_{quv}^{0.1}, \quad (5.55)$$

bu yerda,

$$Re_{quv} = \frac{4G_{quv}z}{\pi\mu_{quv}dN}; \quad Pr_{quv} = \frac{c_{quv}\mu_{quv}}{\lambda_{quv}}; \quad Gr_{quv} = \frac{gd^3\beta_{quv}\rho_{quv}^2}{\mu_{quv}^2}\Delta T$$

quvurlardagi issiqlik tashuvchilar uchun o'lchamsiz Reynolds, Prandtl va Gragof sonlari;  $\beta_{quv}$  – hajmiy kengayish koeffitsiyenti;  $Z$  – quvurli sohadagi yo'llar soni.

(5.53) - (5.55) tenglamalarda aniqlovchi o'lcham sifatida quvurning ichki diametri  $d = d_H - 2\delta_{CT}$  qabul qilingan.

Quvurlardagi issiqlik tashuvchilar uchun issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha_{quv}$  quvurning ichki yuzasi va quvurdagi issiqlik tashuvchi haroratlarining oldin noma'lum bo'lgan farqi  $\Delta T$  ga bog'liq. Shuning uchun  $\Delta T$  kattalik issiqlik almashish apparatlarida issiqlik berishning quyidagi statsionarlik shartidan foydalanib, iteratsiya usulida aniqlanadi:

$$\alpha_{quv}\Delta T = K\Delta T_{o,r} \quad (5.56)$$

yoki

$$\Delta T = \frac{K \Delta T_{quv}}{a_{quv}} \quad (5.57)$$

Haroratlarning o'rtacha farqi  $\Delta T_{CP}$  issiqlik tashuvchilar harakati sxemasining quyidagi formulasi bo'yicha aniqlanadi:

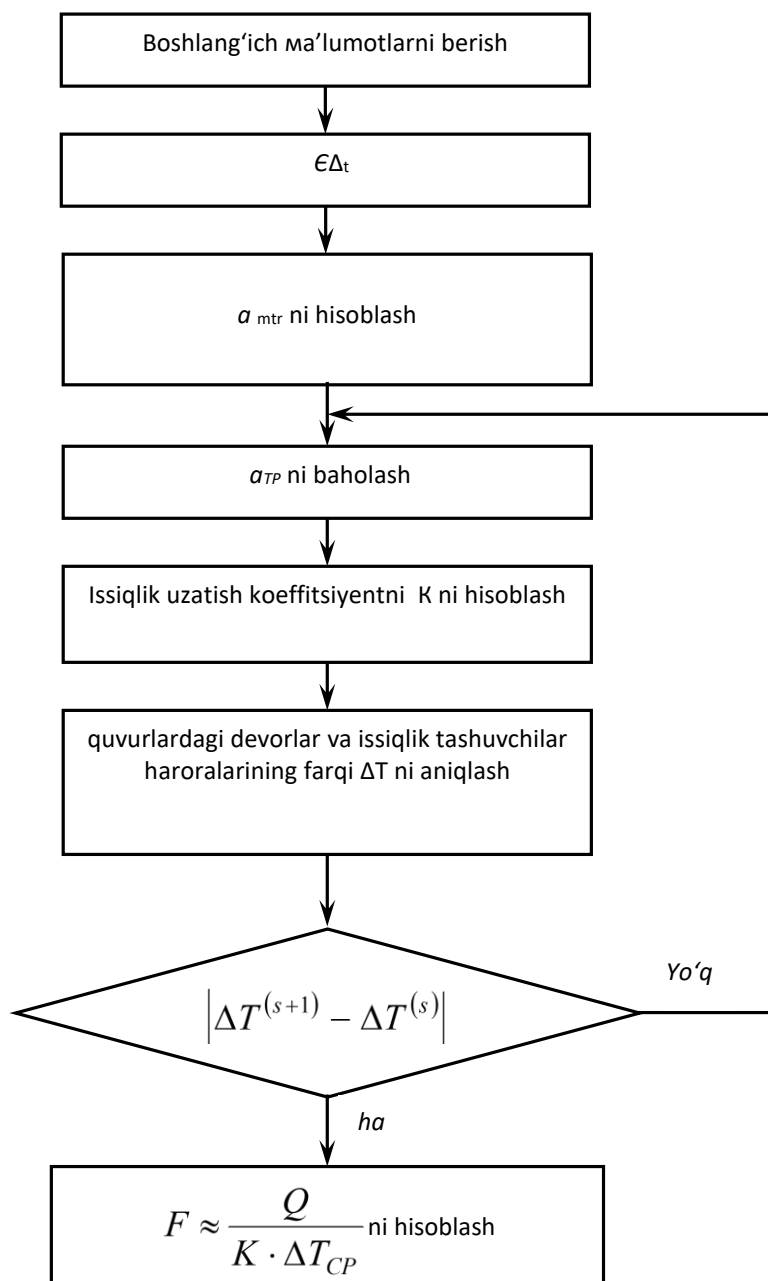
$$\Delta T_{o'r} = \varepsilon_{\Delta T} \Delta T_{o'r \log} \quad (5.58)$$

bu yerda  $\Delta T_{o'r \log}$  – haroratlarning o'rtacha logarifmik farqi;  $\varepsilon_{\Delta T} < 1$  – teskari oqim ( $z=1$  da  $\varepsilon_{\Delta T} = 1$ ) bilan solishtirish bo'yicha aralash oqim ( $Z = 2, 4, 6$ ) da o'rtacha harakatlantiruvchi kuchning kamayishida qatnashuvchi koeffitsiyent. Issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $K$  va o'rtacha harakatlantiruvchi kuch  $\Delta T_{o'r}$  lar aniqlangandan so'ng, ma'lum umumiy issiqlik yuklamasi  $Q$  da issiqlik uzatish tenglamasidan issiqlik uzatish yuzasi hisoblanadi:

$$F = \frac{Q}{K \Delta T_{o'r}} \quad (5.59)$$

Shuningdek issiqlik uzatish jarayoni issiqlik almashish apparatining konstruktiv tavsiflariga bog'liq va hisoblash boshlanishidan oldin quyidagi konstruktiv parametrlarni berish lozim: quvurning tashqi diametri  $d_H$ , yo'llar soni  $z$ , koeffitsiyent  $\varepsilon_{\Delta T}$ ,  $N$  to'plamdagi quvurlar soni va quvurlar orasidagi fazoni eng tor kesimining maydoni  $S_{quv.or}$  5.10 - rasmda ko'rilayotgan hol uchun issiqlik almashish apparatini hisoblash algoritmining blok-sxemasi keltirilgan.

*Misol.* 3-rectifikatsiya kolonnalarining kub qoldiqlari sovitgichini hisoblash. Umumiy issiqlik yuklamasi  $Q = 402\,980$  Vt. Quvur bo'yicha harakatlanuvchi kub qoldiqlari  $G_{quv} = 1,24$  kg/s, uning issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_{quv} = 0,662$  Vt/ (m·K), zichligi  $\rho_{quv} = 986$  kg/m<sup>3</sup>, qovushqoqligi  $\mu_{quv} = 0,00054$  Pa · s, issiqlik sig'imi  $c_{quv} = 4190$  J/(kg · K), hajmiy kengayish koeffitsiyenti  $\beta_{quv} = 0,00048$  K<sup>-1</sup>. Sovituvchi suv quvurlar orasidagi fazoda  $G_{quv.or} = 4,36$  kg/s sarf bilan harakatlanadi va o'zining o'rtacha



**5.10-rasm.** Issiqlik tashuvchilarning fazaviy o'tishi mavjud bo'lmagan issiqlik almashish apparatlarini hisoblash algoritmining blok-sxemasi.

Haroratida issiqlik o'tkazuvchanlik  $\lambda_{quv.or} = 0,61 \text{ Wt}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , qovushqoqlik  $\mu_{quv.or} = 0,00085 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , issiqlik sig'im  $c_{quv.or} = 4190 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  ga ega. Issiqlik tashuvchilar haroralarining o'rtacha logarifmik farqi  $\Delta T_{o'r \log} = 25,4^\circ\text{C}$  ga teng. Quvur devorlari va ifloslanishning termik qarshiliklari yig'indisi  $\sum \delta/\lambda = 0,00042 \text{ m}^2 \text{ K}/\text{Wt}$ .



*Yechim.* obi - quvurli sovitgichlarning ikki variantini tanlaymiz. Birinchi variant:  $d_H = 0,02 \text{ m}$ ,  $Z=2$ ,  $N= 166$  va ushbu holda agar obining diametri(0.4 m) uchun quvurning maksimal uzunligi (6 m) kamlik qilsa, uni so‘nggi 600 mm gacha uzaytiramiz. Ikkinchi variant:

0,020 m,  $Z=2$ ,  $N=314$ . Issiqlik almashish apparatining hisoblanayotgan variantlari uchun  $\varepsilon_{\Delta T} = 0.9$ .

Normal bo‘yicha birinchi variant uchun  $S_{quv.or} = 0,021 \text{ m}^2$  va ikkinchi variant uchun  $S_{quv.or} = 0,047 \text{ m}^2$  ni aniqlaymiz.

Boshlang‘ich axborotlarni kiritgach **COOLER** dasturi bo‘yicha birinchi variantdagi holat uchun:  $\alpha_{quv} = 531,9 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 2257,9 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $K = 364,6 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $F = 48,3 \text{ m}^2$ ,  $\text{Re}_{quv} = 2205,1$ ,  $\text{Re}_{quv.or} = 4885,1$  larni olamiz.

Normal bo‘yicha uzunligi 6 m quvurli va yuzasi  $F= 62 \text{ m}^2$  bo‘lgan issiqlik almashish apparati mos keladi. Yuza zaxirasi 62-48,3ni tashkil qiladi:

$$\Delta = \frac{62 - 48.3}{48.3} \cdot 100 \% = 28.4\%$$

*Ikkinchi variant:*  $\alpha_{quv} = 406,7 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 1392,4 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $K = 278,0 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $F = 63,4 \text{ m}^2$ ,  $\text{Re}_{quv} = 978,7$ ,  $\text{Re}_{quv.or} = 2182,7$ .

Bu issiqlik almashish apparatlari ikkala oqim uchun olingan bo‘ylama kesimning kattaligi, Reynolds sonining qiymati kichikligi, issiqlik berish va uzatish koeffitsiyentlarining kichikligi tufayli katta yuzaga ega, biroq uning afzalligi kichik gidravlik qarshilik va obining diametri 0,6 m bo‘lganda quvurning zaruriy uzunligining kichikligi:  $L=3 \text{ m}$  hisoblanadi. Yuza zaxirasi  $\Delta = \frac{70 - 63.4}{63.4} \cdot 100 \% = 10.4\%$  ni tashkil etadi.

Zaruriy yuzani kamaytirish, shuningdek, ular bilan birgalikda quvurlar uzunligini ham kamaytirish uchun quvurli sohadagi yo‘llar sonining teng shartlarda  $Z = 4$  ( $N = 338$ ,  $S_{quv.or} = 0,047$ ) va  $Z = 6$  ( $N=320$ ,  $S_{quv.or} = 0,047$ ) gacha oshadigan yana ikkita variantni ko‘rib chiqamiz.

$Z=4$  yo‘llar soniga ega issiqlik almashish apparatlarini hisoblash natijasida  $\alpha_{quv} = 524,0 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 1392,4 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $K = 328,2 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $F = 53,7\text{m}^2$ ,  $Re_{quv} = 2166,0$ ,  $Re_{quv.or} = 2182,7$  larni olamiz.

Yuza zaxirasi  $\Delta = \frac{64 - 53,7}{53,7} \cdot 100 \% = 19,2\%$  ni tashkil etadi. Uzunligi 3 m ga teng bo‘lgan issiqlik almashish apparatining ushbu varianti issiqlik berish koeffitsiyentining oshishi va talab qilingan issiqlik almashish yuzasining mos kamayishi tufayli ikkinchi variant oldida uncha katta afzallikka ega emas.

To‘rtinchi variantning ( $Z = 6$ ) hisob natijalari;  $\alpha_{quv} = 853,7 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 1392,4 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $K = 432,9 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $F=40,7\text{m}^2$ ,  $Re_{quv} = 3431,7$ ,  $Re_{quv.or} = 2182,7$ .

Bu variantdagi issiqlik almashish apparatlarining afzalligi shundaki, u kichik uzunlikdagi quvur  $L = 2 \text{ m}$  va obi diametri  $D= 0,6 \text{ m}$  ga ega. Yuza zaxirasi  $\Delta = \frac{41 - 40,7}{40,7} \cdot 100 \% = 0,7\%$  ni tashkil etadi.

Biroq ko‘rilayotgan issiqlik almashish apparatining variantida ikkinchi variantdagiga qaraganda gidravlik qarshilik katta.

Shunday qilib, ikkita: ikkinchi va to‘rtinchi variantlarni qabul qilishimiz mumkin. Ular gidravlik hisobdan keyin iqtisodiy mezon asosida tanlanishi mumkin.

#### **4.1.4. Issiqlik almashish apparatlarini hisoblash va algoritmlashtirish**

Yuzali issiqlik almashish apparatlarining tiplari:

obi - quvurli;

quvurli;

havoli sovitish apparatlari;

plastinkali;

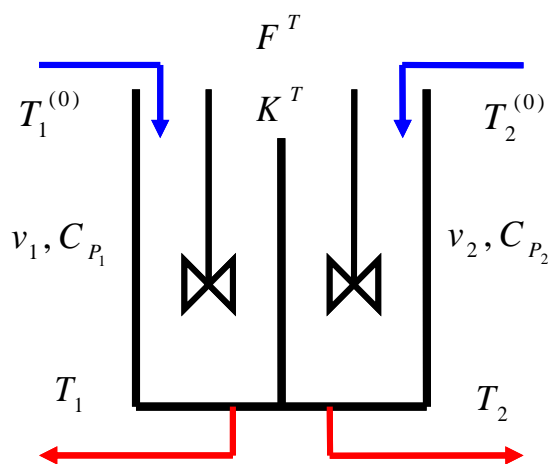
zmeevikli va h.z.

Kompyuterli modellarni tuzish quyidagi bosqichlardan iborat:

VA/YOKI ni o‘rganish, nazariya bilan tanishuv;

jarayonning matematik tavsifi (MT) ni tuzish;

MT tenglamalarini yechish algoritmi (MA –modellash algoritmi) larini tanlash va amalga oshirish.



### Asosiy qo‘yimlar:

1. Statsionar rejimni ko‘rib chiqamiz.
2. Ikkala oqimlar uchun ham ideal aralashish modeli qabul qilinadi.
3. Faqat issiqlik uzatish jarayoni amalga oshiriladi.
4. Fizik-kimyoviy o‘zgaruvchilar – oqimlarning issiqlik. sig‘imlari  $\Delta q_i^T$  doimiy kattalik hisoblanadi.

### Matematik tavsifning tenglamasi:

$$A) v_1^{(0)} C_{P_1}^{(0)} T_1^0 - v_1 C_{P_1} T_1 + F^T \Delta q_1^T = 0$$

– issiqlik uzatishning lokal tezligi

$$B) \Delta q_1^T = K^T (T_2 - T_1)$$

$$C) v_2^{(0)} C_{P_2}^{(0)} T_2^0 - v_2 C_{P_2} T_2 + F^T \Delta q_2^T = 0$$

$$D) \Delta q_2^T = K^T (T_1 - T_2)$$

$$\Delta q^T = \Delta q_1^T - \Delta q_2^T$$

Chiziqli algebraik tenglamalar tizimi (CHATT)

$$1) v_1^{(0)} C_{P_1}^{(0)} T_1^0 - v_1 C_{P_1} T_1 + F^T \Delta q_1^T = 0$$

$$2) v_2^{(0)} C_{P_2}^{(0)} T_2^0 - v_2 C_{P_2} T_2 + F^T \Delta q_2^T = 0$$

$$3) \Delta q^T = K^T (T_1 - T_2)$$

**Birinchi xususiy holni ko'rib chiqamiz:**  $K^T = const$  bo'lsin - bu ham faraz.

$T_1, T_2, \Delta q^T$  larni topamiz.

1) va 2) tenglamalarga  $\Delta q^T$  ni qo'yish yo'li bilan tenglamalar tizimini

o'zgartiramiz:

$$\underbrace{(v_1 C_{P_1} T_1 - F^T K^T) T_1}_{a_{11}} + \underbrace{(-F^T K^T) T_2}_{a_{12}} = \underbrace{v_1^{(0)} C_{P_1}^{(0)} T_1^{(0)}}_{b_1}$$

$$\underbrace{(-F^T K^T) T_1}_{a_{21}} + \underbrace{(v_2 C_{P_2} T_1 + F^T K^T) T_2}_{a_{22}} = \underbrace{v_2^{(0)} C_{P_2}^{(0)} T_2^{(0)}}_{b_2}$$

CHATT matritsa shaklida quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\bar{A} \cdot \bar{x} = \bar{b} \Rightarrow \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} T_1 \\ T_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_1 \\ b_2 \end{vmatrix}$$

**Ikkinchi xususiy hol:**

$K^T = const$  ning 1), 2), 3) tenglamalariga 4), 5), 6) tenglamalar qo'shiladi

$$4) K^T = K^T (T_1, T_2, v_1, v_2, C_{P_1}, C_{P_2})$$

$$5) C_{P_1} = a_1 + b_1 T_1 + c_1 T_1^2 + d_1 T_1^3$$

$$6) C_{P_2} = a_2 + b_2 T_2 + c_2 T_2^2 + d_2 T_2^3$$

$a, b, c, d - const$

(ma'lumlar)

$$T_1 - ? \quad T_2 - ? \quad \Delta q^T - ? \quad K^T = ? \quad C_{P_1} - ? \quad C_{P_2} - ?$$

larni aniqlash zarur.

Nochiziqli tenglamalar tizimi (NCHTT):

$$\begin{aligned} \bar{f}(x) &= 0 \\ \begin{cases} f_i(x_1, \dots, x_n) = 0 \\ i = 1, \dots, n \end{cases} \end{aligned}$$

Bu yerda  $f - x$  ning nochiziqli funksiyasi.

Nochiziqli tenglamalar quyidagi usullar bilan yechilishi mumkin:

Nyuton-Rafson usuli;

Oddiy iteratsiyalar usuli;

Matematik dekompozitsiya usuli.

Birinchi va ikkinchi usullardan foydalanilganda bir vaqtda 6 o'zgaruvchilar ketma-ket yaqinlashish usuli bilan (iteratsiyaviy) aniqlanadi. Uchinchi usuldan foydalanilganda iteratsiya yo'li bilan kam sonli o'zgaruvchilarni qidirish imkonini beruvchi shunday algoritim tanlanadiki (matematik tavsif tenglamalarini axborot matritsalarini tahlil qilish yo'li bilan), bunda, qolgan o'zgaruvchilar keyingi (oxirgi) iteratsiyalar (iteratsiya) da olingan hisoblash natijalari bo'yicha avtomatik tarzda aniqlanadi.

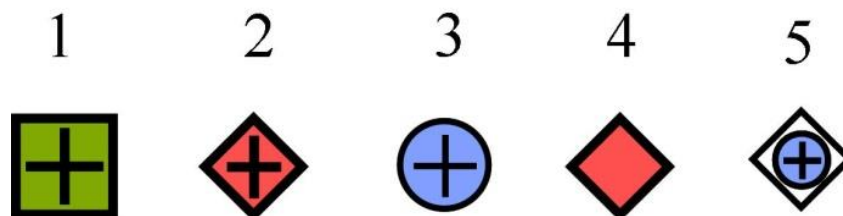
### **Axborot matritsasi**

MT- matematik tavsif – tenglamalari tizimining axborot matritsasi qatorlari tenglamalar raqamlariga, ustunlari esa aniqlanayotgan o'zgaruvchilarga mos keluvchi kvadrat matritsani namoyon etadi. Axborot matritsasi quyidagicha shakllantiriladi: agar  $i$ - tenglamada aniqlanayotgan  $j$ - o'zgaruvchi kirsam,  $i$ - tenglamaga mos keluvchi  $i$ - qator bilan  $j$ - ustunning kesishishiga plus belgisi qo'yiladi. Bu amal barcha mustaqil tenglamalar va tizimning aniqlanayotgan o'zgaruvchilari uchun takrorlanadi.

Axborot matritsaga mos keluvchi jadvalning o'ng tomoniga raqam belgisi ( $N^o$ ) ga ega ustun qo'shilgan. Ushbu ustunda tanlangan hisoblash algoritimiga mos keluvchi hisoblashlar ketma- ketligi aks ettiriladi:

$n \backslash p$	$T_1$	$T_2$	$\Delta q^T$	$K^T$	$C_{p1}$	$C_{p2}$	$N^o$
1							2
2 Kop.yr.							4
3 Kop.yr.							6
4							5
5							1
6							3

Belgilanishi:



- 1 – Boshlang‘ich yaqinlashish topshirig‘i
- 2 – o‘zgaruvchi qiymatini aniqlash
- 3 – o‘zgaruvchining qiymati ma’lum
- 4 – o‘zgaruvchi qiymatiga to‘g‘rilash kiritish(korreksiyalash)
- 5 – o‘zgaruvchi qiymatini aniqlashtirish
- 4- qadamda berilgan kattaliklardan ixtiyoriy birortasiga to‘g‘rilash kiritish mumkin.

Axborot matritsasidagi birinchi ustun – tenglamalarning tartib raqami.

Axborot matritsasidagi oxirgi ustun – tenglamani yechish tartibini ko‘rsatadi.

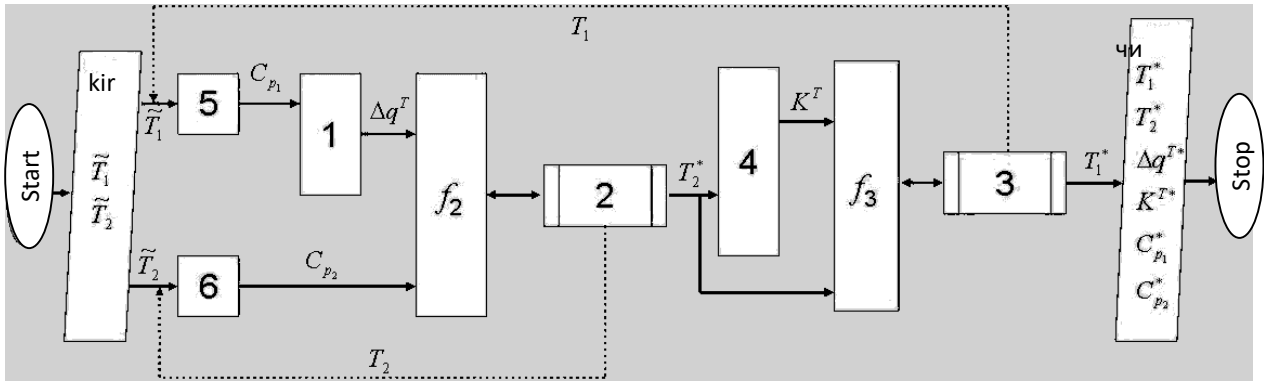
Ichki iteratsiya sikli:

$$v_2^{(0)} C_{P_2}^{(0)} T_2^{(0)} - v_2 C_{P_2} \{T_2\} + F^T (\Delta q^T \{T_2\}) = 0 \rightarrow T_2^*$$

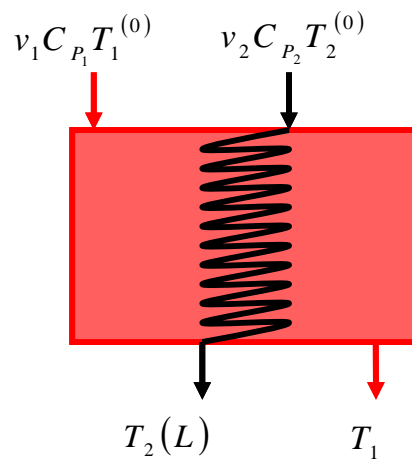
Tashqi iteratsiya sikli:

$$\Delta q^T \{T_1\} - K^T \{T_1\} (T_2 \{T_1\} - T_1) = 0 \rightarrow T_1^*$$

## Algoritmning blok-sxemasi



5. 1.4.2. Zmeevikli issiqlik almashish apparatlari



$L$  – zmeevikning uzunligi.

### Asosiy qo‘yimlar:

Oqim ideal aralashish modeli (IAM) – rezervuarlar orqali oqib o‘tadi deb qabul qilamiz

Oqim ideal o‘rin almashish modeli (IO‘AM) – zmeevikda

Ish rejimini statsionar deb qaraymiz

Issiqlik uzatish koeffitsiyenti = const

Issiqlik uzatishdan boshqa hech qanday jarayon yuz bermaydi

Issiqlik sig‘imlari bir xil va harorat bilan almashmaydi

$$a) v_1^{(0)} C_{P_1}^{(0)} T_1^0 - v_1 C_{P_1} T_1 + F^T \Delta q_1^T = 0$$

$$b) \Delta q_1^T = K^T (T_2 - T_1)$$

$$c) v_2 C_{P_2} \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{L} \Delta q_2^T$$

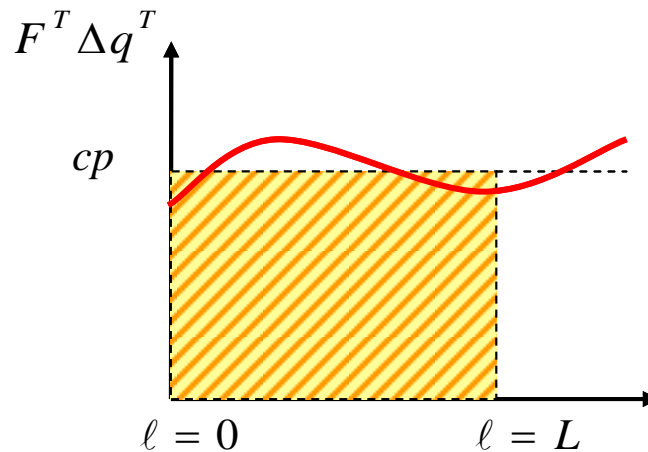
$$d) \Delta q_2^T = K^T (T_1 - T_2)$$

$$\Delta q_1^T = K^T (T_2 - T_1)$$

Umumiy issiqlik balansi tenglamasining natijasi:

$$v_1^{(0)} C_{P_1}^{(0)} T_1^{(0)} - v_1 C_{P_1} T_1 + [F^T \Delta q_1^T]_{o'r} = 0$$

$$\frac{F^T}{L} (-\Delta q_2^T) = v_2 C_{P_2} \frac{dT_2}{d\ell}$$



Issiqlik o'tkazish yuzasi shtrixlangan maydonga teng

$$T_2(\ell) = ?$$

$$0 \leq \ell \leq L$$

$$[F^T \Delta q^T]_{o'r} = \frac{1}{L} \int_0^L F^T \Delta q^T d\ell$$

$$[F^T \Delta q^T]_{o'r} = -v_2 C_{P_2} \int_0^L \frac{dT_2}{d\ell} d\ell = -v_2 C_{P_2} [T_2(L) - T_2(0)]$$

**Matematik tavsifning tenglamalar tizimi:**

$$1) -v_2 C_{P_2} [T_2(L) - T_2(0)] + v_1^{(0)} C_{P_1}^{(0)} T_1^{(0)} - v_1 C_{P_1} T_1 = 0$$

Yaqqol ko'rinishdagi oddiy differensial tenglama:

$$2) \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} (-\Delta q^T)$$

$$3) \Delta q^T = K^T (T_2 - T_1)$$

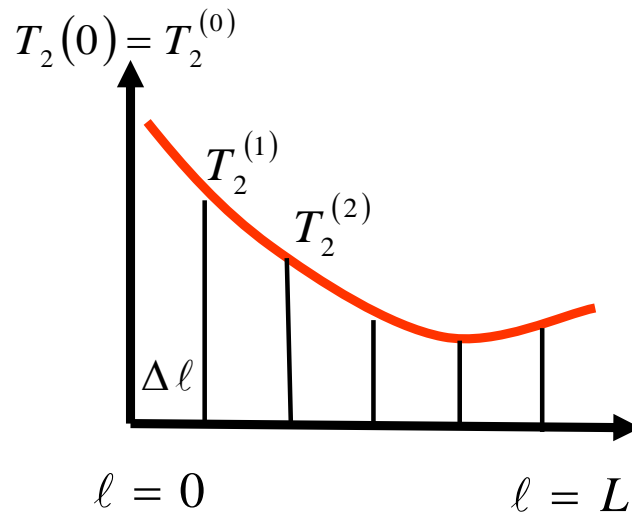


$$2') T_2(0) = T_2^{(0)}$$

Integral-differensial tenglamalar tizimi

$$T_2 = T_2(\ell) - ? T_1 - ? \Delta q^T - ?$$

Kompyutyerda faqat xususiy yechimlarni hisoblash mumkin, buning uchun Koshi masalasining boshlang'ich sharti (barcha qo'shimcha shartlar mustaqil o'zgaruvchining bitta qiymatida beriladi) ni berish lozim.



$$2) \frac{T_2(L) - T_2(0)}{\Delta \ell} \cong \frac{F^T}{Lv_2 C_{p_2}} (-\Delta q^T)$$

$$3) \Delta q^T = K^T (T_2 - T_1)$$

**Axborot matritsasi**

$n \backslash p$	$T_1$	$T_2(0)$	$T_2(L)$	$\Delta q^T$	$N^o$
1. Кор. ур.	◆	⊕	⊕		4
2. Диф. ур.		⊕	◆	⊕	3
3.	⊕	⊕		◆	2
2'.		◆			1

1 – aniqlik kirituvchi (korrektlovchi) tenglamalar – masala yechimining tashqi sikli;

2 – differensial tenglamalarni yechish sikli – masala yechimining ichki sikli.

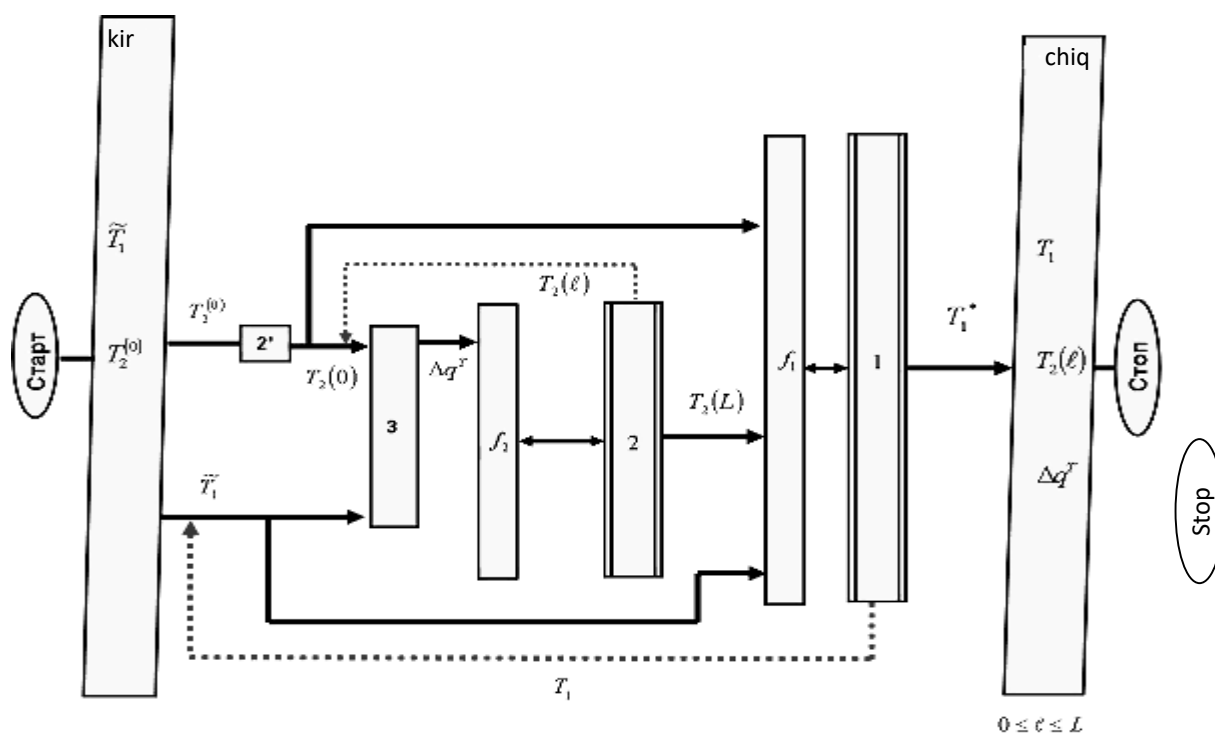
To'g'rilovchi tenglamalar:

$$v_1^{(0)} C_{P_1} T_1^0 - v_1 C_{P_1} T_1 + v_2 C_{P_2} [T_2(L)\{T_1\} - T_2(0)] = 0$$

Tashqi siklda – yarmini bo'lish usuli.

Ichki siklda har bir yaqinlashish  $T_1$  da differensial 2 tenglama (Eylar usuli) yechiladi.

### Algoritmning blok-sxemasi

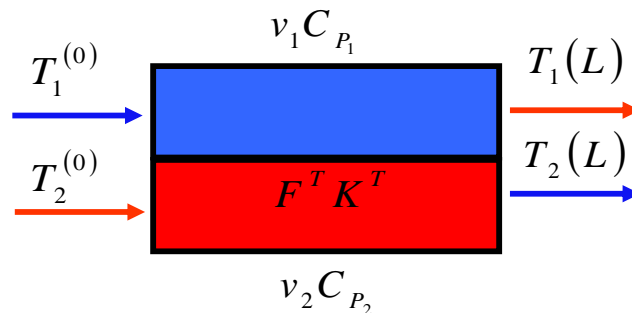


Foydalaniladigan sonli usullar:

1 – yarmini bo‘lish usuli

2 – Eyer usuli

#### 4. 1.4.3. To‘g‘ri (bir xil yo‘nalishli) oqimli «quvur ichida quvur» issiqlik almashish apparatlari. Koshi masalasini yechish



Statsionar rejim

Faqat issiqlik uzatish yuz beradi

Issiqlik uzatish koeffitsiyenti = const

Oqimlarning issiqlik sig‘imi = const

Bo‘ylama soha bir xil taqsimlangan

$$\Pi = \frac{F^T}{L}$$

Birinchi oqim uchun tenglama:

$$1) v_1 C_{P_1} \frac{dT_1}{d\ell} = \frac{F^T}{L} \Delta q_1^T$$

$$2) \Delta q_1^T = K^T (T_2 - T_1)$$

Ikkinchi oqim uchun tenglama:

$$1) v_2 C_{P_2} \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{L} \Delta q_2^T$$

$$2) \Delta q_2^T = K^T (T_1 - T_2)$$

$$\Delta q^T = \Delta q_1^T = -\Delta q_2^T$$

**Matematik tavsifning tenglamalar tizimi:**

(oddiy differensial tenglamalar tizimi)

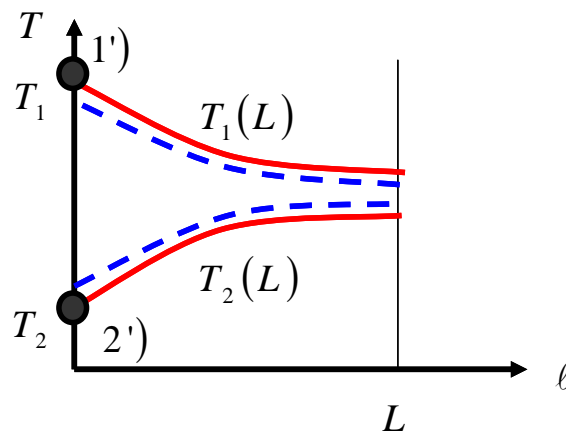
$$\left. \begin{aligned} 1) \frac{dT_1}{d\ell} &= \frac{F^T}{Lv_1 C_{P_1}} \Delta q^T \\ 2) \frac{dT_2}{d\ell} &= \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} (-\Delta q^T) \\ 3) \Delta q^T &= K^T (T_2 - T_1) \end{aligned} \right\}$$

Boshlang'ich shart:

$$\left. \begin{aligned} 1) T_1(0) &= T_1^{(0)} \\ 2) T_2(0) &= T_2^{(0)} \end{aligned} \right\} \ell = 0$$

Xususiy yechimi olinadigan masala, qachonki masalaning qo'shimcha shartlari mustaqil o'zgaruvchining bitta qiymatida berilsa, Koshi masalasi deb ataladi.

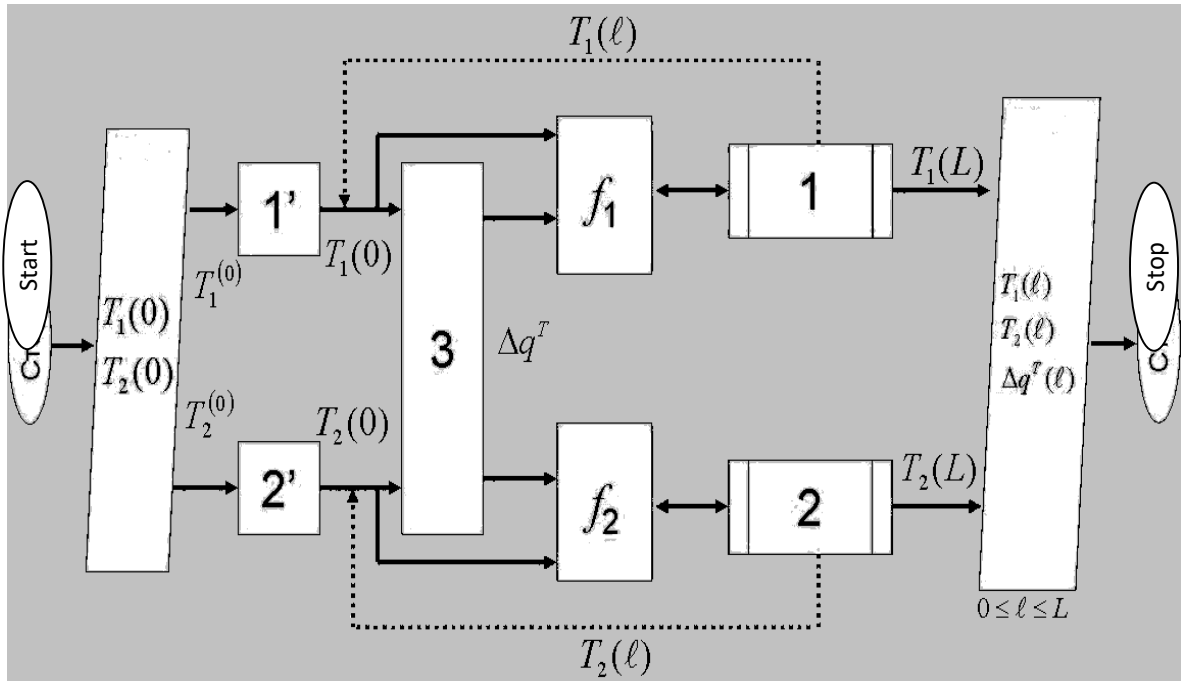
Bu tizimni tahlilga asoslangan aniqlikda yechish mumkin.



Axborot matritsasi

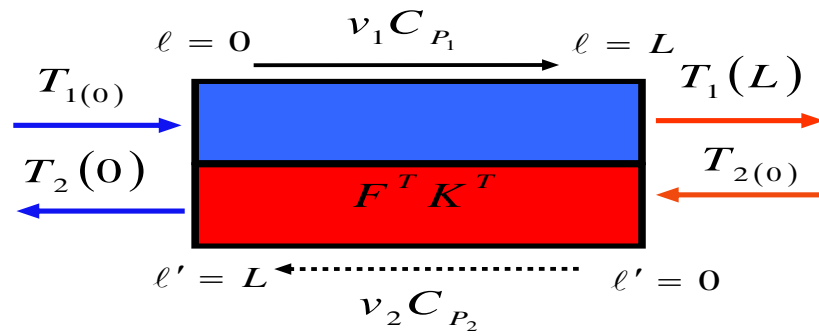
$n \backslash p$	$T_1(0)$	$T_1(L)$	$T_2(0)$	$T_2(L)$	$\Delta q^T$	$N^o$
1 Диф. ур.	+	+			+	4
2 Диф. ур.			+	+	+	5
3	+		+		+	3
1'	+					1
2'			+			2

Algoritmning blok-sxemasi



**almashish apparatlari.**

**Chegaraviy masalalarini yechish.**



$$\left. \begin{array}{l} T_{1(0)} \\ T_{2(0)} \end{array} \right\} \ell = 0$$

$$\ell' = L - l$$

$$d\ell' = -d\ell$$

$$1) \frac{dT_1}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_1 C_{P_1}} \Delta q_1^T$$

$$2) \Delta q_1^T = K^T (T_2 - T_1)$$

.....

$$3) \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} \Delta q_2^T$$

$$4) \Delta q_2^T = K^T (T_1 - T_2)$$

$$\Delta q^T = \Delta q_1^T = -\Delta q_2^T$$

### Matematik tavsifning tenglamalar tizimi:

$$1) \frac{dT_1}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_1 C_{P_1}} \Delta q_1^T$$

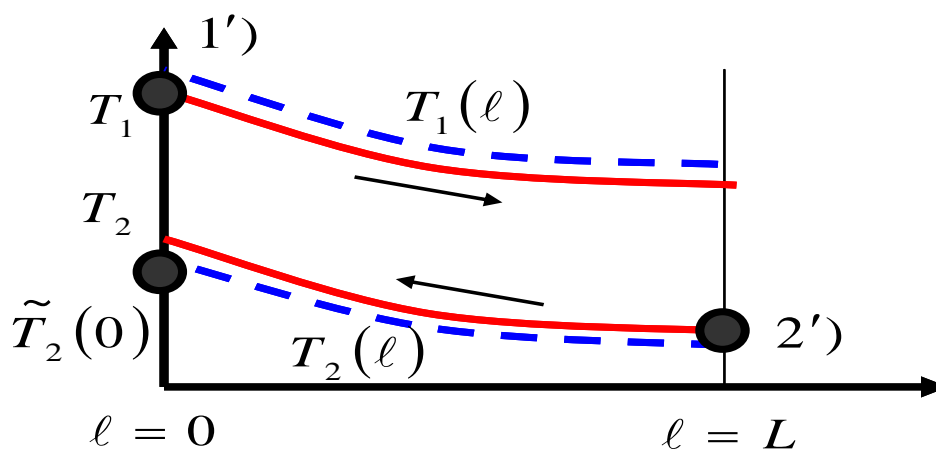
$$2) \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} \Delta q^T$$

$$3) \Delta q^T = K^T (T_2 - T_1)$$

$$T_1(0) = T_{1(0)}$$

$$T_2(0) = T_{2(0)}$$

Chegaraviy shart – mustaqil o‘zgaruvchi  $L$  ning turli qiymatlarida berilgan qo‘shimcha shart. Bunday shartlarda oddiy differensial tenglamalar tizimlarining xususiy yechimlarini olish masalasi chegaraviy masala deb ataladi.



1-qadam – mustaqil o‘zgaruvchining bitta qiymatida barcha qo‘shimcha shartlari beriladi, masalan,

$$\ell \tilde{T}_2(0) = 0,$$

shu jumladan masalaning boshlang‘ich berilishida qatnashmaganlari ham. Oxirgisi xuddi boshlang‘ich yaqinlashish kabi beriladi:

2- qadam – oddiy differensial tenglamalar tizimlarini yechish. Biroq olingan echim noaniq bo‘ladi, xuddi qo‘shimcha shartlardan biri kabi –  $\tilde{T}_2(0)$

– yaqinlashish sifatida berilgan bo‘ladi.

3-qadam – 2) chegara shart bajarilishi tekshiriladi.

$$T_2(L)\{\tilde{T}_2(0)\} - T_{2(0)} = 0$$

Agar bajarilmasa, unda 4 - qadam bajariladi.

4-qadam 2) chegaraviy shart xuddi

$$T_{2(0)}$$

yangi yaqinlashishni tanlash uchun to‘g‘rilovchi tenglama sifatida qaraladi, ya’ni tenglamani yechish amali quyidagi ko‘rinishda amalga oshiriladi:

$$T_2(L)\{\tilde{T}_2(0)\} - T_{2(0)} = 0$$

Masalani yechishning tashqi siklida yechim aniqlanadi:

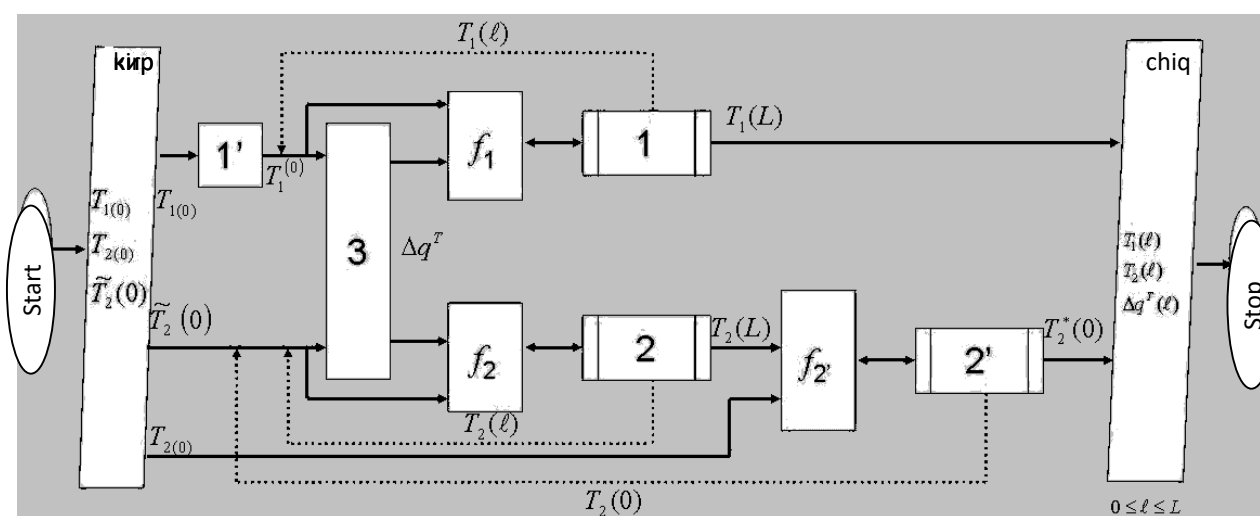
$$T_{2(0)} = ?$$

5-qadam – faqat tenglamaning oxirgi yechimi olingan bo‘lib, masalani yechishning tashqi siklida masala yechilgan bo‘ladi va masalani yechishning ichki siklida 1) va 2) ODTT (oddiy differensial tenglamalar tizimi) yechimining natijalari to‘g‘rilangan bo‘ladi.

**Axborot matritsasi**

$n \backslash P$	$T_1(0)$	$T_1(L)$	$T_2(0)$	$T_2(L)$	$\Delta q^T$	$N^o$
1 Диф. ур.	+	+			+	3
2 Диф. ур.			+	+	+	4
3	+		+		+	2
1'	+					1
2' Кор. ур.			+	+		5

### Algoritmning blok-sxemasi



Issiqlik almashish apparatida statsionar issiqlik uzatish rejimining matematik tavsifini qurish va ikkala issiqlik tashuvchilar oqimlarining harakatlari ideal aralashish modellari bilan keltirilishi mumkin bo‘lgan shartlarda uning tekshiruv (baholash) hisoblash algoritmining blok - sxemasini tuzish.

Zmeevikli issiqlik almashish apparatlarida statsionar issiqlik uzatish rejimining matematik tavsifini qurish va rezervuardagi issiqlik tashuvchilar oqimining harakatini ideal aralashish modeli bilan, zmeevikdagisini esa ideal o‘rin almashish modeli bilan keltirish mumkin bo‘lgan shartlarda uning tekshiruv (baholash) hisoblash algoritmining blok - sxemasini tuzish.

Issiqlik almashish apparatlaridagi statsionar issiqlik uzatish rejimining matematik tavsifini qurish va ikkala issiqlik tashuvchilar oqimlarining harakati (issiqlik tashuvchilar harakatining rejimi – to‘g‘ri oqim) ni ideal o‘rin almashish modeli bilan



keltirish mumkin bo‘lgan shartlarda uning tekshiruv (baholash) hisoblash algoritmi-ning blok - sxemasini tuzish.

Issiqlik almashish apparatlaridagi statsionar issiqlik uzatish rejimining matematik tavsifini qurish va ikkala issiqlik tashuvchilar oqimlarining harakati (issiqlik tashuvchilar harakatining rejimi – teskari oqim) ni ideal o‘rin almashish modeli bilan keltirish mumkin bo‘lgan shartlarda uning tekshiruv (baholash) hisoblash algoritmi-ning blok - sxemasini tuzish.

#### 4.1.5 Quvurli reaktorlarni hisoblash va algoritmlashtirish

##### 4.1.5.1. Politropik reaktorning statsionar rejimi

a) Issiqlik tashuvchi to‘g‘ri oqim rejimida harakatlanadi (Koshi masalasi va boshlang‘ich shartli masala).

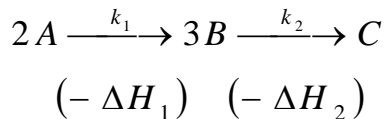


b) Issiqlik tashuvchi teskari oqim rejimida harakatlanadi (Chegaraviy masala).



### Asosiy qo'yimlar:

– mikrokinetika: reaksiya



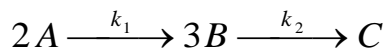
– oqimlar harakati ideal o'rin almashishning gidrodinamik modellari bilan keltiriladi;

– bosqichlarning issiqlik samaralari haroratlarga bog'liq emas;

– asosiy oqim va qobiqdagi oqimlar o'rtasidagi issiqlik almashuvida faqat issiqlik uzatish ishtirok etadi;

– issiqlik uzatish koeffitsiyenti = const.

### Jarayonning mikrokinetikasi



Aniqlanadi:

$$g_A^R, g_B^R, g_C^R, \Delta q^R,$$

$$\begin{bmatrix} g_A^R \\ g_B^R \\ g_C^R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 & 0 \\ 3 & -3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} k_1 x_A^2 \\ k_2 x_B^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2k_1 x_A^2 \\ 3k_1 x_A^2 + 3k_2 x_B^3 \\ k_2 x_B^3 \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}^R = \bar{\alpha} \cdot \bar{r}$$

$$g_A^R = -2 \cdot r_1$$

$$g_B^R = 3 \cdot r_1 - 3 \cdot r_2$$

$$\text{rang}(\bar{\alpha}) = 2$$

2 ta hal qiluvchi A va V komponentalarni tanlaymiz

$$g_C^R = -\frac{1}{2} g_A^R - \frac{1}{3} g_B^R$$

Muhim bo'lmagan S komponenta uchun stexiometrik munosabat:

$$x_C = x_C^{(0)} - \frac{1}{2}(x_A - x_A^{(0)}) - \frac{1}{3}(x_B - x_B^{(0)})$$

$$\Delta q^R = \sum_{j=1}^2 \left| \alpha_{p_j} \right| \left( -\Delta H_{p_j} \right) \cdot r_j = 3(\Delta H_{B1}) \cdot r_1 + 1(-\Delta H_{C2}) \cdot r_2$$

**Jarayonning matematik tavsifi (to'g'ri oqim).**

$$1.1) x_A \frac{dv}{d\ell} + v \frac{dx_A}{d\ell} = \frac{V_R}{L} g_A^R \Rightarrow \frac{dx_A}{d\ell} = \frac{V_R}{vL} g_A^R - \frac{x_A}{v} \frac{dv}{d\ell}$$

$$1.2) \frac{dx_B}{d\ell} = \frac{V_R}{L} g_B^R - \frac{x_B}{v} \frac{dv}{d\ell}$$

$$1.3) x_C = x_C^{(0)} - \frac{1}{2}(x_A - x_A^{(0)}) - \frac{1}{3}(x_B - x_B^{(0)})$$

$$2.1) g_A^R = -2 \cdot r_1$$

$$2.2) g_B^R = 3 \cdot r_1 - 3 \cdot r_2$$

$$2.3) g_C^R = r_2$$

$$3.1) r_1 = k_1 x_A^2$$

$$3.2) r_2 = k_2 x_B^3$$

$$4.1) k_1 = A_1 \exp(-E_1/RT)$$

$$4.2) k_2 = A_2 \exp(-E_2/RT)$$

$$5) \frac{dv}{d\ell} = \frac{V_R}{L} (g_A^R + g_B^R + g_C^R)$$

$$\frac{d(vT)}{d\ell} = \frac{V_R}{C_p L} \Delta q^R + \frac{F_T}{C_p L} \Delta q^T \Rightarrow$$

$$6) \Rightarrow \frac{dT}{d\ell} = \frac{V_R}{vC_p L} \Delta q^R + \frac{F_T}{vC_p L} \Delta q^T - \frac{T}{v} \cdot \frac{dv}{d\ell}$$

$$7) \Delta q^R = 3(-\Delta H_{B1})r_1 + (-\Delta H_{C1})r_2$$

$$8) \Delta q^T = K^T (T_T - T)$$

$$9) C_p = C_{p_A}^{ind} x_A + C_{p_B}^{ind} x_B + C_{p_C}^{ind} x_C$$

$$10.1) C_{p_A}^{ind} = a_A + b_A T + c_A T^2 + d_A T^3$$

$$10.2) C_{p_B}^{ind} = a_B + b_B T + c_B T^2 + d_B T^3$$

$$10.3) C_{p_c}^{ind} = a_c + b_c T + c_c T^2 + d_c T^3$$

Issiqlik tashuvchilarning oqimlari uchun tenglama:

$$11) \frac{dT_T}{d\ell} = \frac{F^T}{C_{p_T} Lv_T} (-\Delta q^T)$$

$n+3$  differensial tenglama.

**Boshlang'ich shart:**

$$(1.1') x_A(0) = x_A^{(0)}$$

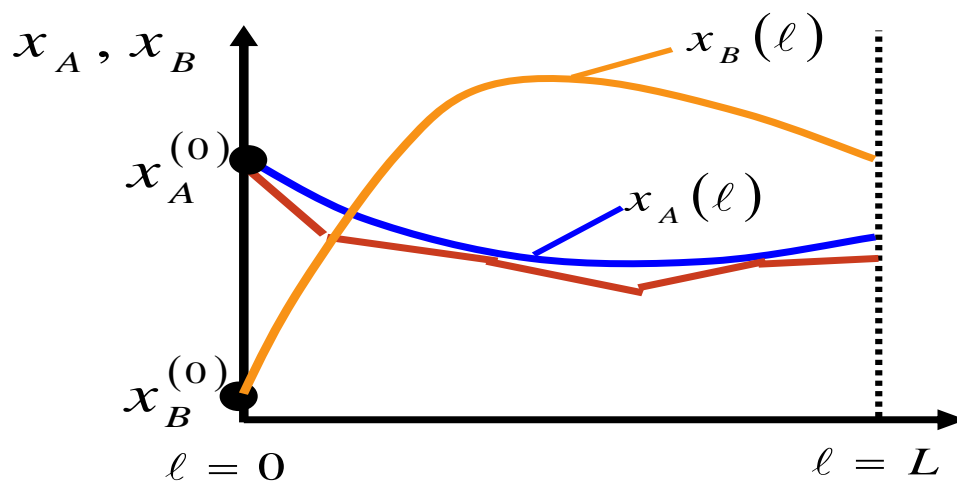
$$(1.2') x_B(0) = x_B^{(0)}$$

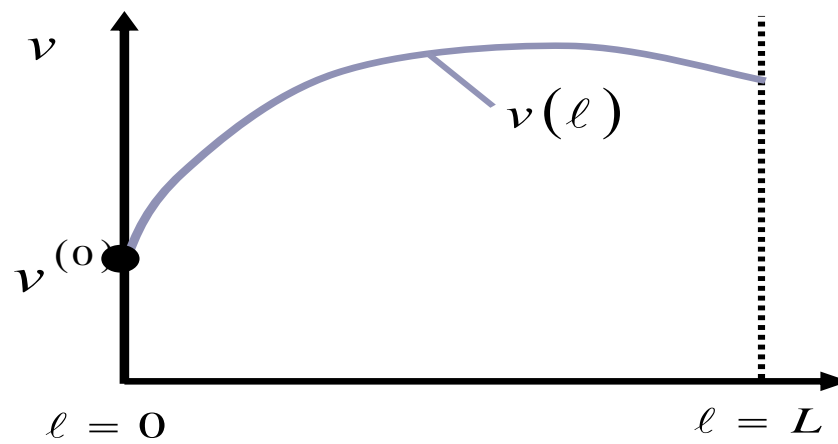
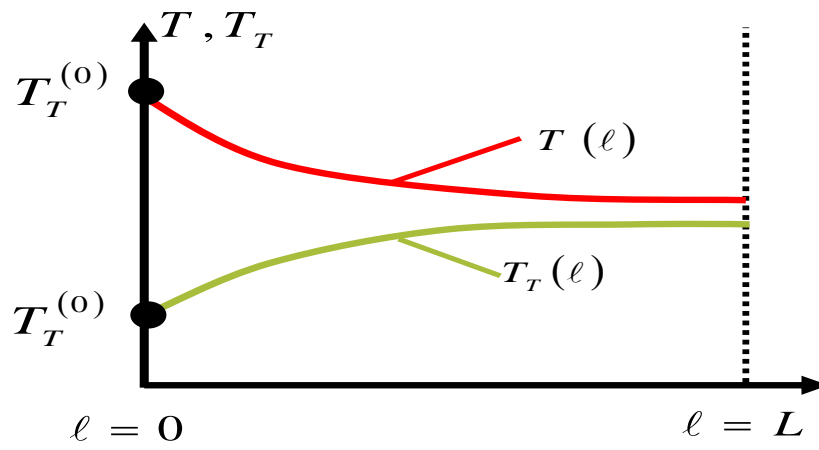
$$(5') v(0) = v^{(0)}$$

$$(6') T(0) = T^{(0)}$$

$$(11') T_T(0) = T_T^{(0)}$$

Kompyutyerda xususiy yechimni aniqlash uchun Koshi masalasi yoki boshlang'ich shartli masala yechiladi – «o'rin almashish – urin almashish» issiqlik almashish apparatiga qarang (to'g'ri oqim).

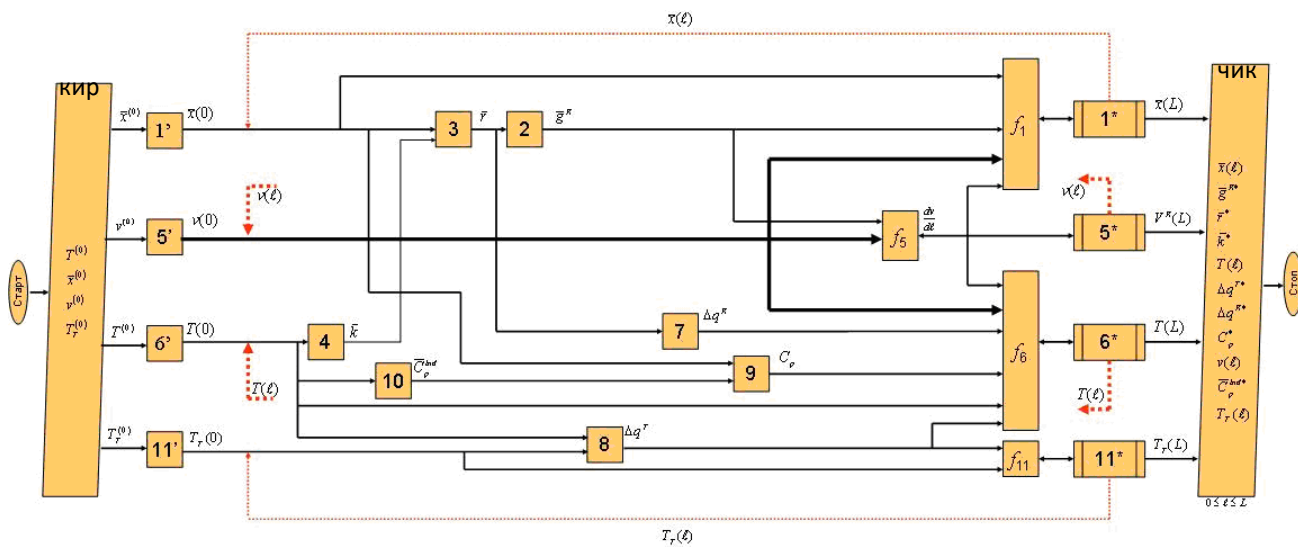




**Axborot matritsasi (to'g'ri oqim)**

$n$	$p$	$\bar{x}_{(0)}$	$\bar{x}_{(L)}$	$\bar{x}_{(0)}$	$\bar{x}_{(L)}$	$\bar{x}_{(0)}$	$\bar{x}_{(L)}$	$\bar{g}_{(r)}$	$\bar{r}_{(m)}$	$\bar{k}_{(m)}$	$\bar{\tau}_{(0)}$	$\bar{\tau}_{(L)}$	$\Delta q^T$	$\Delta q^R$	$C_p$	$v_{(0)}$	$v_{(L)}$	$f_s$	$\bar{C}_{p(0)}$	$\tau_{r(0)}$	$\tau_{r(L)}$	$N^o$
$\bar{1}^*$	Диф. ур	+	+	+	+	+	+	+								+		+				14
$\bar{2}$								+	+													8
$\bar{3}$		+		+					+	+												7
$\bar{4}$										+	+											5
$5^*$	Диф. ур															+	+	+				13
$5^* \cdot ]$								+								+		+	+			12
$6^*$	Диф. ур								+							+	+	+	+	+		15
7									+													10
8											+										+	9
9		+	+	+																	+	11
$\bar{10}$											+										+	6
$11^*$	Диф. ур															+	+				+	16
$\bar{1}$		+	+	+																		1
$5'$																	+					2
$6'$												+										3
$11'$																					+	4

### Hisoblash algoritmining blok-sxemasi (to'g'ri oqim)



### Jarayonning matematik tavsifi (teskari oqim).

Ideal o'rin almashish modeling komponentli balansi:

$$1.1) \quad x_A \frac{dv}{dl} + v \frac{dx_A}{dl} = \frac{V_R}{L} g_A^R \Rightarrow \frac{dx_A}{dl} = \frac{V_R}{vL} g_A^R - \frac{x_A}{v} \frac{dv}{dl}$$

$$1.2) \quad \frac{dx_B}{dl} = \frac{V_R}{L} g_B^R - \frac{x_B}{v} \frac{dv}{dl}$$

$$1.3) \quad x_C = x_C^{(0)} - \frac{1}{2}(x_A - x_A^{(0)}) - \frac{1}{3}(x_B - x_B^{(0)})$$

$$2.1) \quad g_A^R = -2 \cdot r_1$$

$$2.2) \quad g_B^R = 3 \cdot r_1 - 3 \cdot r_2$$

$$2.3) \quad g_C^R = r_2$$

$$3.1) \quad r_1 = k_1 x_A^2$$

$$3.2) \quad r_2 = k_2 x_B^3$$

$$4.1) \quad k_1 = A_1 \exp(-E_1/RT)$$

$$4.2) \quad k_2 = A_2 \exp(-E_2/RT)$$

$$5) \quad \frac{dv}{d\ell} = \frac{V_R}{L} (g_A^R + g_B^R + g_C^R)$$

$$6) \quad \frac{d(vT)}{d\ell} = \frac{V_R}{C_p L} \Delta q^R + \frac{F_T}{C_p L} \Delta q^T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dT}{d\ell} = \frac{V_R}{vC_p L} \Delta q^R + \frac{F_T}{vC_p L} \Delta q^T - \frac{T}{v} \cdot \frac{dv}{d\ell}$$

$$7) \quad \Delta q^R = 3(-\Delta H_{B1})r_1 + (-\Delta H_{C1})r_2$$

$$8) \quad \Delta q^T = K^T (T_T - T)$$

$$9) \quad C_p = C_{pA}^{ind} x_A + C_{pB}^{ind} x_B + C_{pC}^{ind} x_C$$

$$10.1) \quad C_{pA}^{ind} = a_A + b_A T + c_A T^2 + d_A T^3$$

$$10.2) \quad C_{pB}^{ind} = a_B + b_B T + c_B T^2 + d_B T^3$$

$$10.3) \quad C_{pC}^{ind} = a_C + b_C T + c_C T^2 + d_C T^3$$

Issiqlik tashuvchilarning oqimi uchun tenglama:

$$11) \quad \frac{dT_T}{d\ell} = \frac{F^T}{C_{pT} L v_T} (-\Delta q^T)$$

$n+3$  differensial tenglama, to'g'ri oqim bilan solishtirilganda faqat (11) tenglama o'zgaradi.

### Boshlang'ich shartlar tizimi:

$$(1.1') \quad x_A(0) = x_A^{(0)}$$

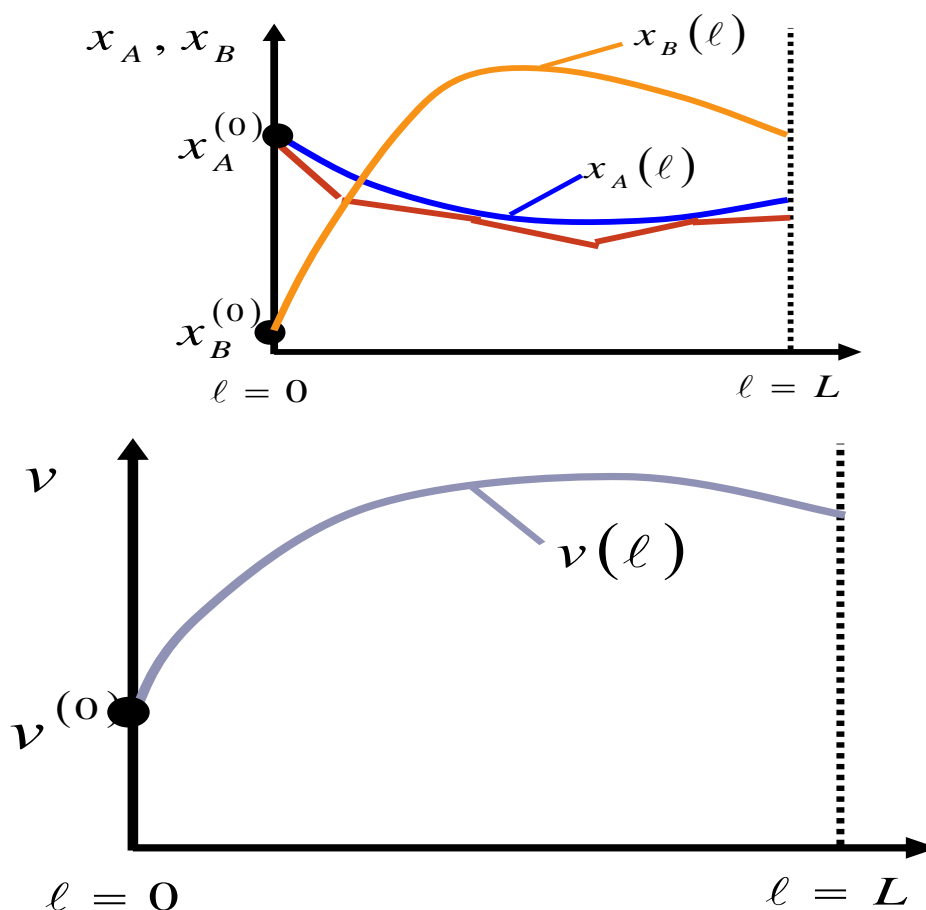
$$(1.2') \quad x_B(0) = x_B^{(0)}$$

$$(5') \quad v(0) = v^{(0)}$$

$$(6') \quad T(0) = T^{(0)}$$

$$(11') \quad T_T(0) = T_T^{(0)}$$

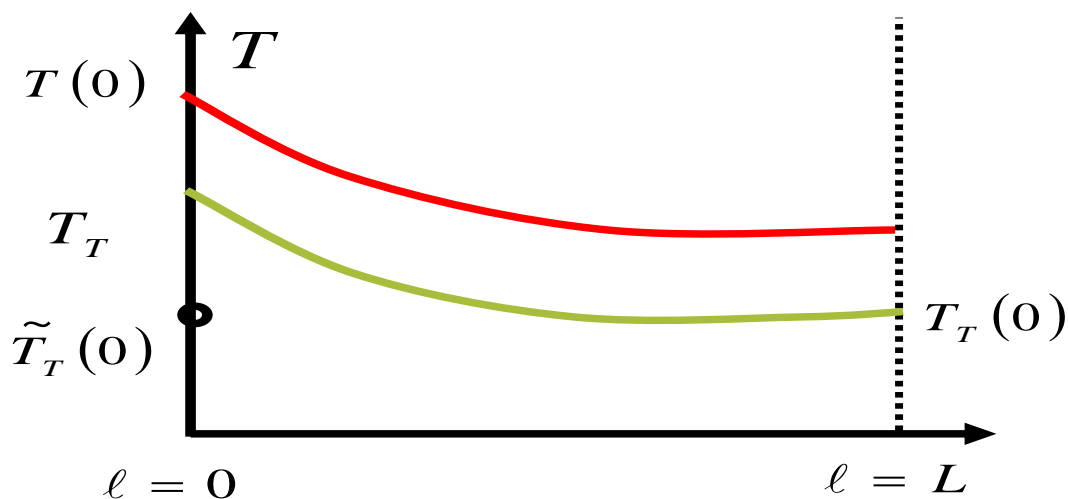
Kompyuterda xususiy yechimni aniqlash uchun chegara shartli chegaraviy masala yechiladi – «o‘rin almashish – o‘rin almashish» issiqlik apparatiga qarang (teskari oqim).



### Boshlang'ich yaqinlashish:

$$\tilde{T}_T(0)$$





Tenglamada chegaraviy shart quyidagi kattalikka aylantiriladi:  $\tilde{T}_T(0)$ , ya'ni kirishga issiqlik tashuvchi haroratining kattaliklari

### Nazorat savollari

1. Kimyoviy jarayonlarning empirik matematik modellarini qurish uchun regression tahlil metodologiyasini tavsiflang.
2. Empirik modellarning chiziqli va nochiziqli turlari qanday tanlanadi?
3. Javob funksiyasi va faktorlar nima?
4. Parametrlari bo'yicha nochiziqli modellar uchun regressiya koeffitsiyentlari qanday aniqlanadi?
5. Tajriba ma'lumotlarini approksimatsiyalash mezonini tanlash protsedurasi va umumiy hollar uchun parametrlari bo'yicha chiziqli modellar uchun regressiya koeffitsiyentlarini aniqlash masalasini eng kichik kvadratlar usuli bilan yechishni tavsiflang.
6. Mustaqil o'zgaruvchili matritsalar; axborot matritsalar; kovariatsiya (korrelatsiya) matritsalarining vazifalari nimalardan iborat?
7.  $t$  – Styudent mezonidan foydalanib, regressiya koeffitsiyentlarining ahamiyatliligi qanday aniqlanadi?
8. Dispersiyaviy – kovariatsiya matritsasi qanday quriladi va passiv tajribada uning elementlari qanday hisoblanadi?

9. Qoldiq dispersiya va qayta tiklanish dispersiyalari nima?
10. Passiv tajribada ahamiyatsiz koeffitsiyentlarni saralash protsedurasini tavsiflang.
11. Modellarning monandligi qanday o‘rnatiladi?
12. Holat monandligi va xulq (xarakter) monandligi nima?
13. Qoldiq dispersiya, qayta tiklanish dispersiyasi va javob funksiyasining haqiqiy qiymatlari dispersiyalarining dispersiyaviy tahlili qanday va nima maqsadda amalga oshiriladi?
14. Regressiya tenglamasining monandligi qanday o‘rnatiladi?
15. Parallel sinovlar bo‘lmagandagi regressiya tenglamasining monandligi qanday o‘rnatiladi?
16. Regressiya koeffitsiyentlarining qo‘shma ishonchli sohasini qurish protsedurasi qanday?
17. Nima modellar monandligini tekshirish pozitsiyasiga ega regressiya koeffitsiyentlarining qo‘shma ishonchli sohasini o‘lcham va shakllari tahlilini beradi?
18. Quyidagi tenglama uchun passiv tajriba natijalari bo‘yicha regressiya koeffitsiyentlarini aniqlashning matritalsali tenglamasini keltiring:

$$P = \exp\left(A + \frac{B}{C + T}\right).$$

19. Quyidagi tenglama uchun passiv tajriba natijalari bo‘yicha regressiya koeffitsiyentlarini aniqlashning matritalsali tenglamasini keltiring:

$$P = \exp(A + BT + CT^2 + DT^3).$$

### **Foydalangan adabiyotlar ruyxati**

1. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari. Oliy o‘quv yurtlari uchun darslik. 2-chi nashr: qayta ishlangan va to‘ldirilgan. –T.: Fan va texnologiya, 2019.

2. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari. Oliy o‘quv yurtlari uchun darslik. –T.: Fan va texnologiya, 2015.
3. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va identifikatsiyalash. Oliy o‘quv yurtlari uchun o‘quv qo‘llanma. –T.: Fan va texnologiya, 2019.
4. Luigi Bocola Identifying Neutral Technology Shocks. University of Pennsylvania, 2014
5. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P., Bazarov M.B., Xalilov J.A. Boshqarish sistemalarini kompyuterli modellashtirish asoslari. Oliy o‘quv yurtlari uchun o‘quv qo‘llanma. –N.: Navoiy-Gold-Serves, 2009.
6. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P., Gulyamov Sh.M. Основы процессов разделения многокомпонентных смесей. – T: “Universitet”, 2017.
7. Yusupbekov N.R., Gulyamov Sh.M., Muxitdinov D.P., Avazov Yu.Sh. Математическое моделирование процессов ректификации многокомпонентных смесей. –T.: TashGTU, 2014.

## АМАЛИЙ МАШҒУЛОТ МАЗМУНИ

### 1-amaliy mashg'ulot: Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash

**Ishdan maqsad:** Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash. buyicha misollar echish.

**1-misol.** Apparatdagi oqimlarning gidrodinamikasini tadqiq qilishda impulsli usul qo'llaniladi. Impulsli g'alayonni berish (indikatorni impuls shaklida kiritish) natijasida apparat chiqishidagi indikatorning quyidagi konsentratsiya qiymatlari olindi (2.1-jad.).

2.1-jadval

Vaqt, min	0	5	10	15	20	25	30	35
Indikatorning konsentratsiyasi, g/m <sup>3</sup>	0	3	5	5	4	2	1	0

S- egri chiziqning taqsimlanishini qurish kerak.

**Yechim.**  $S(\theta)$  funksiyani aniqlash uchun dastlab (2.9) tenglamadagi  $C(t)$  qiymatlarini topamiz. Buning uchun probalar (tahlil uchun namuna) olish vaqtining intervalini  $\Delta t = 5$  daqiqa deb faraz qilib,  $\sum_i C_E(t)\Delta t$  qiymatlar yig'indisini

hisoblaymiz:

$$\int_0^{\infty} C_E(t) dt \approx \sum_i v \int_0^{\infty} C_i^E(t) \Delta t = (3 + 5 + 5 + 4 + 2 + 1) \cdot 5 = 100 \frac{\text{g} \cdot \text{daq}}{\text{m}^3}$$

$$C(t) = C_i^E(t) / \sum_i C_i^E(t) \Delta t \quad \text{me'yorlangan funksiyani vaqtga bog'liq}$$

qiymatlarini 2.2-jadval shakliga keltiramiz.

### C (t) me'yorlangan funksiyaning qiymatlari

2.2-jadval

t, daq.	0	5	10	15	20	25	30
$C(t)$ min <sup>-1</sup>	0	0,03	0,05	0,05	0,04	0,02	0,01
min,							

$C(\theta)$  funksiyani olish uchun, vaqtni  $\theta$  va  $S$  ni o'lchamsiz ko'rinishga keltiramiz, ya'ni  $C(\theta)$  ko'rinishga. Buning uchun apparatda o'rtacha bo'lish vaqtini (2.14) tenglamadan topamiz.

o'lchamsiz vaqt quyidagini tashkil etadi:

$$\theta = \frac{t}{\bar{t}} = \frac{t}{15}$$

(2.9) tenglamadan foydalanib, quyidagiga ega bo'lamiz

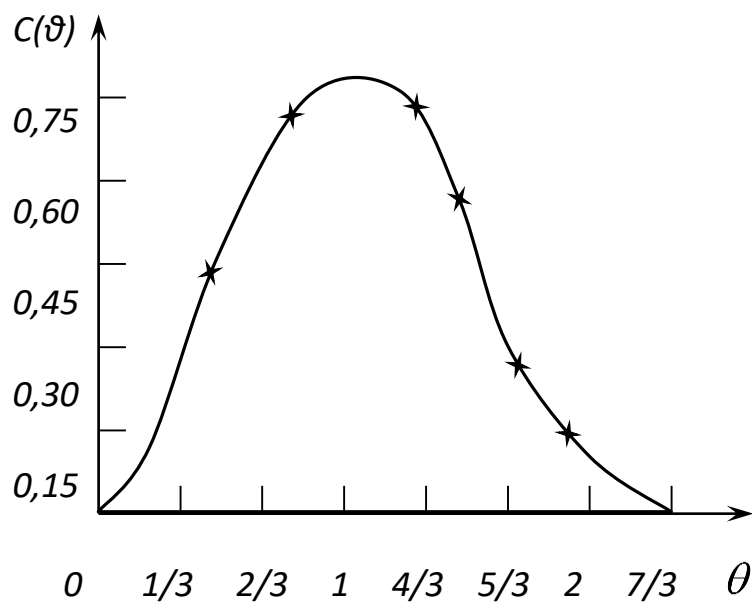
$$C(\theta) = \bar{t}C(t) \approx \frac{15 C_i^E(t)}{\sum_i C_i^E(t)\Delta t}$$

va  $t_i$ ,  $C_i^E$  qiymatlarni qo'ygandan keyin,  $S(\theta)$  muvofiq qiymatlarini olamiz (2.3-jad.). 2.3-jadval

**$S(\theta)$  o'lchamsiz funksiyaning qiymatlari**

$\theta$	0	1/3	2/3	1	4/3	5/3	2	7/3
$C(\theta)$	0	0,45	0,75	0,75	0,60	0,03	0,15	0

Bu ma'lumotlar bo'yicha taqsimlanishning  $S$ -egri chizig'ini quramiz (2.3-rasm).



**2.3-rasm.** O'lchamsiz  $S$ -egri chiziq.

**Misol.**

Nasadkali kolonnada suyuqlikning oqim strukturasi impulsli usul bilan tadqiq qilinadi. Oqim strukturasi yacheykali model bilan tavsiflash taklif qilingan. Yacheykali model parametrini baholash va bu modelni qo‘llash maqsadga muvofiq ekanligini aniqlash talab qilinadi.

**Yechim.** Nasadkali kolonnadan chiqishdagi suyuqlik oqimining olingan tajribaviy  $S$  – egri chizig‘i ( $S_t = C_t(t)$ ) ni qayta ishlash natijalari 2.5-jadvalda keltirilgan.

**Nasadkali kolonnada suyuqlikning oqim strukturasi tadqiq qilishdagi S- egri chiziqni qayta ishlash natijalari va boshlang‘ich ma’lumotlar**

2.5-jadval

$t, s$	0	40	80	120	160	200	240
$S_e(t), g/l$	0	0,30	0,50	0,35	0,20	0,10	0
$C(t), c^l$	0	0,3/5	0,5/5	0,35/	0,2/5	0,1/5	0
$\theta$	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
$C_s(\theta) = \bar{t}C(t)$	0	0,52	0,86	0,60	0,34	0,17	0
$C_T(\theta) N = 5 \quad \partial a$	0	0,55	0,98	0,73	0,40	0,20	0
$N=5$							

Indikatorning oqimda o‘rta bo‘lish vaqti  $\bar{t}$  ni aniqlaymiz:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t C_E(t) dt}{\int_0^{\infty} C_E(t) dt} \approx \frac{\sum_{i=1}^7 t_i C_i}{\sum_{i=1}^7 C_i} \approx 100. \quad (2.345)$$

Keyin me‘yorlangan S-egri chiziqdan  $C(t)$  ga o‘tamiz (2.5-jadvalga qarang):

$$C(t) = \frac{C_E(t)}{\int_0^{\infty} C_E(t) dt} \approx \frac{C_E(t)}{\sum_{i=1}^7 C_{iE} \Delta t} \approx \frac{C_{iE}}{58}, c^{-1}. \quad (2.346)$$

$M_2^t$  boshlang‘ich o‘lchamli ikkinchi tartibli momentni topamiz:

$$M_2^t = \int_0^{\infty} t^2 C(t) dt \approx \sum_{i=1}^7 t_i^2 C_i \Delta t \approx 12200, c^2. \quad (2.347)$$

Demak,  $S$  – egri chiziqning o‘lchamsiz dispersiyasi  $\sigma^2$  quyidagiga teng:

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{M_2'}{\bar{t}} - 1 = 1,22 - 1 = 0,22. \quad (2.348)$$

$N$  yacheykalar soni bilan o‘lchamsiz dispersiya  $\sigma^2$  ning aloqa tenglamasidan foydalanib, quyidagini olamiz:

$$N = \frac{1}{\sigma_{\theta}^2} = \frac{1}{0,22} = 5. \quad (2.349)$$

Topilgan yacheykalar sonida  $C_i(\theta)$  yacheykali model bo‘yicha  $S$ –egri chiziqning o‘lchamsiz qiymatini impulsli g‘alayonga yacheykali model javob funksiyasi uchun olinadigan ifodadan aniqlaymiz (2.5-jadvalga qarang):

$$C_i(\theta) = \frac{N^N \theta^{N-1} e^{-N\theta}}{(N-1)!} = \frac{3125 \theta^4 e^{-5\theta}}{4 \cdot 5 \cdot 2}. \quad (2.350)$$

Mavjud tajriba ma’lumotlaridan tiklanish dispersiyasini baholab bo‘lmaydi. Buning uchun Fisher mezonni yordamida  $S_{o'r}^2$  nisbiy o‘rtacha dispersiyani  $S_{monand}^2$  monandlik dispersiyasi bilan solishtirib, yacheykali modelni qo‘llashning maqsadga muvofiqligini baholaymiz.

O‘lchamsiz javob egri chizig‘i  $\bar{C}(\theta)$  ning o‘rtacha qiymati quyidagini tashkil etadi:

$$\bar{C}(\theta) = \frac{0,52 + 0,86 + 0,60 + 0,34 + 0,17}{7} = 0,35. \quad (2.351)$$

Nisbiy o‘rtacha dispersiyani topamiz:

$$S_{o'r}^2 = \frac{\sum (C_{iE}(\theta) - \bar{C}(\theta))^2}{f_{o'r}} = \frac{0,17^2 + 0,51^2 + 0,15^2 + 0,01^2 + 0,18^2 + 0,55^2 + 0,35^2}{7-1} = 0,1048. \quad (2.352)$$

Monandlik dispersiyani topamiz:

$$S_{mon}^2 = \frac{\sum_{i=1}^7 (C_{iE} - C_{iT})^2}{f_{mon}} = \frac{0^2 + 0,33^2 + 0,12^2 + 0,13^2 + 0,06^2 + 0,03^2 + 0^2}{7-1} = 0,00612 . \quad (2.353)$$

*F*-bog'liqlikni tuzamiz:

$$F = \frac{S_{o'r}^2}{S_{mon}^2} = \frac{0,1048}{0,00612} = 17,124 . \quad (2.354)$$

$f_{o'r} = 6$  va  $f_{mon} = 6$  erkinlik darajasi sonlari hamda  $a = 1\%$  ahamiyatlilik darajasi uchun Fisher mezonining mos jadval qiymati quyidagiga teng:

$$F_{a=0,0,1}^{jad}(6,6) = 8,47 . \quad (2.355)$$

Bu yerdan  $F > F_{a=0,0,1}^{jad}(6,6)$  va nisbiy o'rtacha dispersiya monandlik dispersiyadan belgisi farqlanadi. Shunday ekan, yacheykali modelni qo'llash maqsadga muvofiqdir

## **2-amaliy mashg'ulot. Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari**

**Ishdan maqsad:** Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari bo'yicha masalalar yechish.

### **Misol**

$$f(x) = x^3 - 3 \cdot x + 1 \rightarrow \min, \quad x \in [-3, 3].$$

### **Echim**

4.  $f'(x) = 3 \cdot x^2 - 3; 3 \cdot x^2 - 3 = 0.$

5. Statsionar nuqtalar:  $x_1 = -1; x_2 = 1.$

6. Statsionar nuqtalarda va kesim uchlarida funksiya qiymatlarini hisoblaymiz:

$$x = -3; f(-3) = (-3)^3 - 3 \cdot (-3) + 1 = -17;$$

$$x = -1; f(-1) = 3; x = 1; f(1) = -1; x = 3;$$

$$f(3) = 1.$$

3. Funksiyaning minimal qiymati

$$f_{\min} = \min\{-17, 3, -1, 1\} = -17; \text{ minimum nuqtasi } x^*.$$



*Izoh.* Ushbu masala uchun ikkinchi hosilani aniqlash murakkab bo'lmaydi  $f''(x) = 6 \cdot x$ , shuning uchun lokal minimum nuqtasini uning ishorasi bo'yicha aniqlash mumkin.

Statsionar nuqtalarda ikkinchi hosilaning ishorasini aniqlaymiz:

$$f''(-1) = 6 \cdot (-1) = -6 < 0 - \text{maksimum nuqtasi};$$

$$f''(1) = 6 \cdot (1) = 6 > 0 - \text{minimum nuqtasi}.$$

Optimum nuqtaladida va kesim uchlarida funksiya qiymatlarini aniqlab eng kichigini aniqlaymiz  $x^* = -3$  nuqtada  $f_{\min} = -17$ .

**Misol 1.**  $X^1(1;1;1)$  nuqtada funksiya gradientini aniqlang:

$$F(X) = x_1^2 + 3 \cdot x_2^2 - 4 \cdot (x_3 - 1^2) - x_1 \cdot x_2 + 5 \cdot x_2 \cdot x_3 + 3x_1 - x_2.$$

**Echim**

Ayrim hosilalar:

$$\frac{\partial F(x)}{\partial x_1} = 2x_1 - x_2 + 3; \quad (4.10)$$

$$\frac{\partial F(x)}{\partial x_2} = 6x_2 - x_1 + 5x_3 - 1; \quad (4.11)$$

$$\frac{\partial F(x)}{\partial x_3} = -8x_3 - x_1 + 5x_2 + 8; \quad (4.12)$$

$X^1$  nuqtadagi gradient

$$\nabla F(1;1;1) = (2 \cdot 1 - 1 + 3; 6 \cdot 1 - 1 + 5 \cdot 1 - 1; -8 \cdot 1 + 5 \cdot 1) = (4; 9; -3).$$

**Misol 1.** Quyidagi funksiyani matritsa shaklida yozing

$$F(X) = 2 \cdot x_1^2 - 2 \cdot x_1 \cdot 2x_2 + 3 \cdot x_1 \cdot x_3 + x_2^2 - 5 \cdot x_2 \cdot x_3 + 4 \cdot x_3^2 + 7 \cdot x_1 - 8 \cdot x_2 + 9 \cdot x_3 + 10.$$

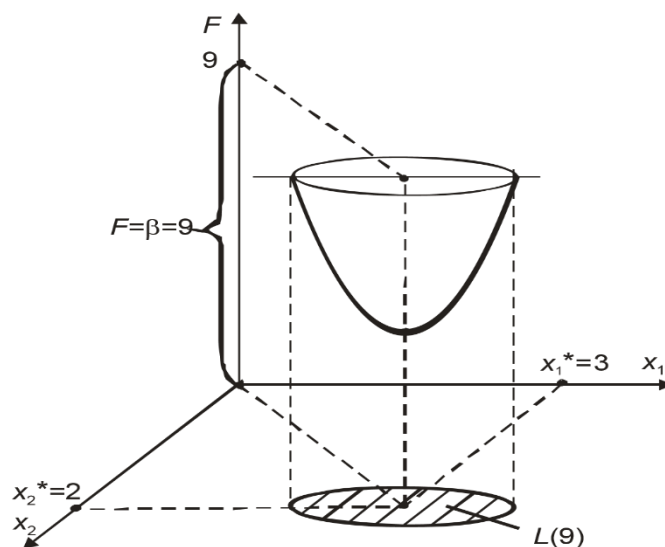
**Echim**

$$A = \begin{pmatrix} 2 \cdot 2 & -2 & 3 \\ -2 & 1 \cdot 2 & -5 \\ 3 & -5 & 4 \cdot 2 \end{pmatrix}; \quad B = (7 \ -8 \ 9); \quad C = 10;$$

unda

$$F(X) = \frac{1}{2} \cdot \left( \begin{pmatrix} 4 & -2 & 3 \\ -2 & 1 \cdot 2 & -5 \\ 3 & -5 & 8 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \right) + (7 \ -8 \ 9) \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + 10.$$

**Misol.** Maqsadli funksiya  $F = (x_1 - 3)^2 + (x_2 - 2)^2$  uchun sath ko'pligi  $L(9)$  ni aniqlang.



**4.14- rasm.** Funksiya  $F = (x_1 - 3)^2 + (x_2 - 2)^2$  ning sath yig'indisi  $L(9)$

*Echim*

$\beta = 9$  uchun berilgan funksiyaning sath ko'pligi – bu doira  $(x_1 - 3)^2 + (x_2 - 2)^2 \leq 9$  ichida joylashgan nuqtalar yig'indisidir (4.14- rasmda shtrixlangan soha).

**Misol .** Funksiya  $F = (x_1 - 2)^2 + 3 \cdot (x_2 - 1)^2$  uchun analitik yo'l bilan  $h^*$  optimal qiymatlarini  $X^0(0; 0)$  nuqtadan eng tez tushish usulining ikki qadamida aniqlang . *Echim*

$$\text{Gradient } \nabla F(X) = (2 \cdot (x_1 - 2); 6 \cdot (x_2 - 1)).$$

1 Iteratsiya

$$F(X^0) = F(0; 0) = 7; \quad \nabla F(X^0) = (-4; -6);$$

$$x_1^1 = x_1^0 - h \cdot \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_1} = 0 - h \cdot (-4) = 4h;$$

$$x_2^1 = x_2^0 - h \cdot \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_2} = 0 - h \cdot (-6) = 6h;$$

Funksiya minimumimi  $h$  bo'yicha minimallashtirishning klassik usuli bo'yicha qidiramiz

$$\varphi(h) = F(x_1^1; x_2^1) = F(4 \cdot h; 6 \cdot h) = (4 \cdot h - 2)^2 + 3 \cdot (6 \cdot h - 1)^2 = 124 \cdot h^2 - 52 \cdot h + 7$$

Buning uchun hosilani  $\varphi'(x)$  aniqlaymiz va uni nolga tenglashtiramiz:

$$\varphi'(x) = 248 \cdot h - 52 = 0; \quad h^* = 0,2097.$$

Ikkinchi hosilaning musbat belgisi  $\varphi''(x) = 248 > 0$   $h^* = 0,2097$ da funksiyaning  $\varphi(h)$  minimumi mavjudligi to'g'risida habar beradi.

$X^0(0;0)$  nuqtadan optimal qadam  $h^* = 0,2097$  bilan eng tez tushish natijasida o'tadigan nuqta koordinatalari:

$$x_1^1 = 4 \cdot h^* = 4 \cdot 0,2097 = 0,8387;$$

$$x_2^1 = 6 \cdot h^* = 6 \cdot 0,2097 = 1,2582.$$

$$X^1 = (0,8387, 1,2582).$$

Funksiya qiymati  $F(X^1) = 1,5486$ .

## 2 Iteratsiya

$$X^1 = (0,8387; 1,2582);$$

$$F(X^1) = 1,5486;$$

$$\nabla F(X^1) = (-2,323; 1,549);$$

$$x_1^2 = 0,8387 \cdot h;$$

$$x_2^2 = 1,258 - 1,549 \cdot h.$$

$$\begin{aligned} \varphi(h) &= F(x_1^2; x_2^2) = (0,8387 + 2,323 \cdot h - 2)^2 + \\ &+ 3 \cdot (1,258 - 1,549 \cdot h - 1)^2 = 12,59 \cdot h^2 - 7,792 \cdot h + 1,548; \end{aligned}$$

$$\varphi'(x) = 25,19 \cdot h - 7,792 = 0; h^* = 0,3094.$$

Ikkinchi hosilaning musbat belgisi  $\varphi''(x) = 25,19 > 0$   $h^* = 0,3094$ da funksiyaning  $\varphi(h)$  minimumi mavjudligi to'g'risida habar beradi.

$X^1 = (0,8387; 1,258)$  nuqtadan optimal qadam  $h^* = 0,3094$  bilan eng tez tushish natijasida quyidagi nuqtaga o'tadi:

$$X^2 = (1,557; 0,7789).$$

Funksiya qiymati  $F(X^2) = 0,3429$ .

## **3- amaliy mashg'ulot: Optimallashtirish masalasining qo'yilishi. Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari**

**Ishdan maqsad:** Optimallashtirish masalasining qo'yilishi. Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari mavzuga doir masalalar yechish.

**1-misol.** Mahsulotning chiqishi  $u$  ga uch faktor:  $100\text{—}200^\circ\text{C}$  diapazondagi harorat  $T$ ,  $2\text{MPa} = (20\text{—}60\text{kg}/\text{sm}^2)$  diapazondagi bosim  $R$  va bo'lish vaqti  $\tau = 10 \div 30$  min larning ta'sirlari o'rganilayotgan bo'lsin. Yuqori sath bo'yicha harorat:  $z_1^{\max} = 200$ . Quyi sath bo'yicha harorat:

$$Z_1^{\min} = 100^\circ\text{C}, \quad Z_1^0 = 150^\circ\text{C}, \quad \Delta Z_1 = 50^\circ\text{C} .$$

$$z_1^0 = \frac{z_1^{\max} + z_1^{\min}}{2}, \quad \Delta z_1 = \frac{z_1^{\max} - z_1^{\min}}{2}$$

Ixtiyoriy faktor  $z_j$  uchun quyidagiga egamiz:

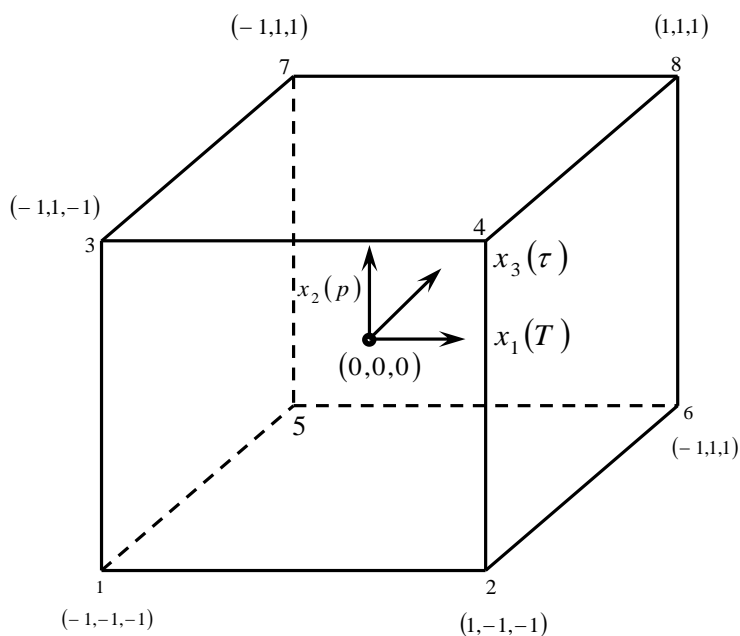
$$z_j^0 = \frac{z_j^{\max} + z_j^{\min}}{2}, \quad j = 1, 2, 3, 4, \dots, \kappa$$

$$\Delta z_j = \frac{z_j^{\max} - z_j^{\min}}{2}$$

$(z_1^0, z_2^0, z_3^0, \dots, z_k^0)$  koordinatali nuqta *reja markazi* deb ataladi, ba'zida uni *asosiy sath* ham deb atash mumkin,  $\Delta z_j$  — variatsiyalash birligi yoki  $z_j$  o'q bo'yicha *variatsiyalash intervali*.  $z_1, z_2, z_3, \dots, z_k$  koordinatalar tizimidan  $x_1, x_2, \dots, x_k$  yangi o'lchamsiz kordinatalar tizimiga o'tamiz. O'tish (kodlash) formulasi:

$$x_j = \frac{z_j - z_j^0}{\Delta z_j}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, k$$

O'lchamsiz koordinatalarda yuqori sath +1 ga, quyi sath esa -1 ga, reja markazining



1-rasm. Rejani kodlashning geometrik talqini.

koordinatasi nolga teng va koordinatalar boshi bilan ustma-ust tushadi. Bizning masalamizda  $k=3$ . ikki sathdagi uch faktorlar kombinatsiyala-rining soni

$N = 2^k = 2^3 = 8$ . Tajriba o'tkazish rejasi (rejalashtirish matritsasi) ni 1-jadval shaklida yozib chiqamiz. Tajriba rejasini amalga oshirish natijasida olingan U chiqish qiymati jadvalning oxirgi ustunida keltirilgan.

Jadvalda keltirilgan kodlangan rejani geometrik jihatdan sakkiz qirrasini sakkiz tajriba nuqtasini ifodalovchi kub shaklida tasvirlanishi mumkin (1-

rasm).

Fiktiv o'zgaruvchi  $x_0 = 1$  deb ataluvchi ustunni kiritib, kodlangan rejalashtirish matritsasi  $2^3$  va tajriba natijalarini yozamiz.

1 - jadvalda keltirilgan rejalashtirish matritsasi quyidagi xossalarga ega:

$$\sum_{i=1}^N x_{ui} x_{ji} = 0 \quad u \neq j \quad z, j = 0, 1, 2, \dots$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ji} = 0 \quad j = 1, 2, 3, 4, \dots, k$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ji}^2 = N \quad j = 1, 2, 3, \dots, k$$

bu yerda,  $k$  – mustaqil faktorlar soni;  $N$  – rejalashtirish matritsasidagi sinovlar soni.

Birinchi xossa – barcha ustun vektorlarning skalyar ko'paytmasi nolga tengligi rejalashtirish matritsasining ortogonallik xossasi deb ataladi.

Natural masshtabdagi faktorlar qiymati				<i>Rejalashtirish matritsasi 2<sup>3</sup></i>			
				Ulchamsiz koordinatalar tizimidagi faktorlar qiymati			Chiqish
Sinov№	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	U
1	100	20	10	- 1	- 1	- 1	2
2	200	20	10	+1	- 1	- 1	6
3	100	60	10	- 1	+1	- 1	4
4	200	60	10	+1	+1	- 1	8
5	100	20	30	- 1	- 1	+1	10
6	200	20	30	+1	-1	+1	18
7	100	60	30	- 1	+1	+1	8
8	200	60	30	+1	+1	+1	12

Bu xossa hisobiga regressiya tenglamasi koeffitsiyentlarini hisoblash bilan bog'liq qiyinchiliklar keskin kamayadi, chunki  $(X * X)^{-1}$  normal tenglamalari koeffitsiyentlarining matritsasi diagonal bo'lib qoladi va uning diagonal elementlari  $N$  rejalashtirish matritsasidagi sinovlar soniga teng.  $(X * X)^{-1}$  teskari matritsaning diagonal elementlari:

$$C_{ii} = \frac{1}{N}$$

2- jadval

Fiktiv	o'zgaruv- chili	<i>rejalashti</i>	<i>rish</i>	<i>matritsasi</i>	
N	X0	X1	X2	X3	y
1	+1	- 1	- 1	- I	y <sub>1</sub>

0	+1	+1	- 1	- 1	$y_2$
3	+1	- 1	+1	- 1	$y_3$
4	+1	+1	+1	- 1	$y_4$
5	+1	- 1	- 1	+1	$y_5$
6	+1	+1	- 1	+1	$y_6$
7	+1	- 1	+1	+1	$y_7$
8	+1	+1	+1	+1	$y_8$

$$B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} = (X * X)^{-1} X * Y = \begin{bmatrix} \frac{1}{N} & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \frac{1}{N} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{1}{N} \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} \sum x_{0i} y_i \\ \sum x_{1i} y_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \sum x_{ki} y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sum x_{0i} y_i}{N} \\ \frac{\sum x_{1i} y_i}{N} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \frac{\sum x_{ki} y_i}{N} \end{bmatrix}$$

Demak, regressiya tenglamasining ixtiyoriy  $b_j$  koeffitsiyenti  $u$  ustunni  $N$  rejalashtirish matritsasidagi sinovlar soniga ajratilgan mos  $x_j$  ustunga skalyar ko'paytirish orqali aniqlanadi:

$$b_j = \frac{1}{N} \sum x_{ji} y_i$$

2 - jadvalda keltirilgan rejadan foydalanib, birinchi regressiyaning chiziqli tenglamalar koeffitsiyentlarini hisoblaymiz:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$$

Masalan,  $b_1$  koeffitsiyent uchun  $x_1$  da ko'paytmalar yig'indisini olish lozim.

$$\begin{array}{c} x_1 \\ \left[ \begin{array}{c} -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \end{array} \right] \end{array} \times \begin{array}{c} y \\ \left[ \begin{array}{c} 2 \\ 6 \\ 4 \\ 8 \\ 10 \\ 18 \\ 8 \\ 12 \end{array} \right] \end{array} = \begin{array}{c} \left[ \begin{array}{c} -2 \\ +6 \\ -4 \\ +8 \\ -10 \\ +18 \\ -8 \\ +12 \end{array} \right] \end{array}$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^8 x_{1i} y_i}{N} = \frac{20}{8} = +2.5$$

$$\sum_{i=1}^8 x_{1i} y_i = 20$$

O'xshash tarzda quyidagini olamiz:

$$b_0 = 18.5 \qquad b_2 = -18.5 \qquad b_3 = +3.5$$

Agar o'zaro ta'sirlashuvchi koeffitsiyentli regresiya tenglamasini to'liqroq ko'rinishga keltiradigan bo'lsak quyidagi hosil bo'ladi:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{123}x_1x_2x_3$$

unda  $b_{12}$ ,  $b_{13}$ ,  $b_{23}$  (ikkilik o'zaro ta'sir effekti) va  $b_{123}$  (uchlik o'zaro ta'sir effekti) koeffitsiyentlarni aniqlash uchun matritsa (2-jadval) ni quyidagi tarzda kengaytirish lozim.

*3-jadval*

O'zaro ta'sir effektlari chiziqli effektlariga o'xshash tarzda aniqlanadi, masalan,  $b_{12}$  koeffitsiyent quyidagicha aniqlanadi:



$N$	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	$U$
<b>1</b>	+1	- 1	- 1	- 1	+1	+1	+1	- 1	2
<b>2</b>	+1	+1	- 1	- 1	- 1	- 1	+1	+1	6
<b>3</b>	+1	- 1	+1	- 1	+1	+1	+1	+1	4
<b>4</b>	+1	+1	+1	- 1	+1	- 1	- 1	- 1	8
<b>5</b>	+1	- 1	- 1	+1	+1	- 1	- 1	+1	10
<b>6</b>	+1	+1	- 1	+1	- 1	+1	+1	- 1	18
<b>7</b>	+1	- 1	+1	+1	- 1	- 1	+1	- 1	8
<b>8</b>	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	12

$$\begin{array}{ccc}
 x_1x_2 & y & \\
 \left[ \begin{array}{c} +1 \\ -1 \\ -1 \\ +1 \\ +1 \\ -1 \\ -1 \\ +1 \end{array} \right] & \times \left[ \begin{array}{c} 2 \\ 6 \\ 4 \\ 8 \\ 10 \\ 18 \\ 8 \\ 12 \end{array} \right] & = \left[ \begin{array}{c} +2 \\ -6 \\ -4 \\ +8 \\ +10 \\ -18 \\ -8 \\ +12 \end{array} \right]
 \end{array}$$

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_1x_2)_i y_i}{N} = -\frac{4}{8} = -0.5$$

$$\sum_{i=1}^8 (x_1x_2)_i y_i = -4$$

Qolgan koeffitsiyentlar ham xuddi shu tarzda aniqlanadi:

$$b_{13} = +0.5 \quad b_{23} = -1.5 \quad b_{123} = 0.25$$

Agar qo‘shimcha parallel tajribalar qo‘yilsa,  $s_{muk}^2$  ni aniqlash, regressiya tenglamalari koeffitsiyentlarining ahamiyatligini tekshirish va erkinlik darajasi aniq bo‘lsa, tenglamaning monandligini tekshirish mumkin.

Rejalashtirilgan tajribaning korrelatsiya matritsasi  $(X * X)^{-1}$  diagonal matritsa

$$(X * X)^{-1} = \begin{bmatrix} 1/N & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 1/N \end{bmatrix}$$

bo'lganligi sababli regressiya tenglamasining koeffitsiyentlari o'zaro bog'liq emas. Regressiya tenglamalarining ahamiyatligini har bir koeffitsiyent uchun Student mezonini bo'yicha alohida tekshirish mumkin. Regressiya tenglamasi dan ahamiyatsiz koeffitsiyentlarni chiqarib tashlash qolgan koeffitsiyentlarning qiymatlariga ta'sir qilmaydi. Bunda  $b_j$  koeffitsiyentlar tegishli  $\beta_j$  bosh koeffitsiyentlar uchun aralashmagan baholarga aylanadi:

$$b_j \rightarrow \beta_j$$

ya'ni regressiya tenglamasi koeffitsiyentlarining kattaliklari  $u$  kattalikdagi har bir faktorning ulushini xarakterlaydi.

Korrelatsiya matritsasining diagonal elementlari o'zaro teng bo'lganligi sababli tenglamalarning koeffitsiyentlari bir xil aniqlik bilan aniqlanadi:

$$S_{b_j} = \frac{s_{muk}}{\sqrt{N}}$$

Misol uchun, rejaning markazida uchta qo'shimcha parallel sinovlar qo'yilgan va  $u$  ning quyidagi qiymatlar topilgan:  $y_1^0 = 8$ ;  $y_2^0 = 9$ ;  $y_3^0 = 8,8$ . Bu yerdan:

$$\bar{y}^0 = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i^0}{3} = 8.6 \quad s_{muk}^2 = \frac{\sum_{i=1}^3 (y_i^0 - \bar{y}^0)^2}{2} = 0.28$$

$$s_{\text{мик}} = 0,55 \quad s_{b_j} = \frac{0,55}{\sqrt{8}} = 0,2$$

Styudent mezonini bo'yicha koeffitsiyentlarning ahamiyatligini baholaymiz:

$$t_0 = \frac{|b_0|}{s_{b_0}} = \frac{8,5}{0,2} = 42,5$$

$$t_1 = \frac{|b_1|}{s_{b_1}} = \frac{2,5}{0,2} = 12,5$$

$$t_3 = \frac{|b_3|}{s_{b_3}} = 17,5$$

$$t_2 = \frac{|b_2|}{s_{b_2}} = 2,5$$

$$t_{13} = \frac{|b_{13}|}{s_{b_{13}}} = 2,5$$

$$t_{12} = \frac{|b_{12}|}{s_{b_{12}}} = 2,5$$

$$t_{123} = \frac{|b_{123}|}{s_{b_{123}}} = 1,25$$

$$t_{23} = \frac{|b_{23}|}{s_{b_{23}}} = 7,5$$

Ahamiyatlik sathi  $r = 0.05$  va erkinlik darajasi  $f = 2$  uchun Styudent mezonining jadval qiymati  $t_p(f) = 4.3$  ga teng. Shunday qilib,  $b_2, b_{12}, b_{13}$  va  $b_{123}$  lar ahamiyatsiz bo'lganligi uchun ular tenglamadan chiqarib tashlanadi. Ahamiyatsiz koeffitsiyentlar chiqarib tashlangandan keyin regressiya tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\hat{y} = 8,5 + 2,5x_1 + 3,5x_3 - 1,5x_2x_3$$

Olingan tenglamani Fisher mezonini bo'yicha monandlikka tekshiramiz:

$$F = \frac{s_{\text{кол}}^2}{s_{\text{мик}}^2} \quad s = \frac{\sum_{i=1}^8 (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - L} = \frac{6}{4} = 1,5 \quad S_{\text{мик}}^2 = 0,28$$

bu yerda,  $l$  – regressiya tenglamasidagi ahamiyatli koeffitsiyentlarning soni va u 4ga teng. Unda:  $F = \frac{1,5}{0,28} = 5,3$

$r = 0.05$  ,  $f_1 = 4$ ,  $f_2 = 2$  uchun Fisher mezonining jadval qiymati quyidagiga teng:

$$F_p(f_1, f_2) = 19.3 \quad F < F_p(f_1, f_2)$$

Demak, (9) tenglama tajribani monand tavsiflaydi.

**1-misol.** Natriy sulfatning eruvchanligi  $u$  ni harorat  $x$  ga bog‘liqligini aniqlash lozim, tanlanma hajmi  $N = 9$ . Tajriba ma’lumotlari 1- jadvalda keltirilgan.

1-jadval

$x(^{\circ}\text{S})$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$u(\%)$	33,5	37,0	41,2	46,1	50,0	52,0	56,3	64,3	69,9

**Yechim.** Regressiya tenglamasini  $\hat{y} = b_0 + b_1x$  ko‘rinishda yozamiz.

$$b_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2}$$

$b_0$  ni quyidagi formula bo‘yicha aniqlash qulay:

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

Buning uchun tajriba ma’lumotlari va hisob natijalari 2-jadval ko‘rinishida keltiramiz.

$$2\text{-jadvalning oxirgi ikki ustuni } \sum_{i=1}^N (x_i + y_i)^2 = \sum_{i=1}^N x_i^2 + 2 \sum_{i=1}^N x_i y_i + \sum_{i=1}^N y_i^2$$

formula bo‘yicha faqat hisoblarni tekshirish uchun ishlatiladi.

Bizning misolda:  $87705,05 = 20400 + 20723 + 23859,05$ , ya’ni hisoblar to‘g‘ri bajarilgan.

$b_0$  va  $b_1$  larni aniqlash uchun 1-jadvalda olingan yig‘indilardan foydalanamiz:

$$b_1 = \frac{9 \cdot 20723 - 360 \cdot 451.7}{9 \cdot 20400 - 360^2} = 0.44$$

$$b_0 = \frac{451.7 - 0.44 \cdot 360}{9} = \frac{293.3}{9} = 32.6$$

2-jadval

IP-IT

N	x	y	x <sup>2</sup>	xy	y <sup>2</sup>	x + y	(x + y) <sup>2</sup>
1	0	33,5	0	0	1122,22	33,5	1122,25
2	10	37,0	100	370	1369,00	47,0	2209,00
3	20	41,2	400	824	1697,44	61,2	3745,44
4	30	46,1	900	1383	2125,21	76,1	5791,24
5	40	50,0	1000	2 000	2500,00	90,0	8100,00
6	50	52,8	2 500	2 645	2798,10	102,9	10588,41
7	00	50,8	3 600	3 408	2226,24	116,8	13642,24
8	70	64,3	4 900	4 501	4134,49	134,3	18036,49
9	80	69,9	6 400	5 592	4886,01	149,9	22470,01
Σ	360	451.7	20400	20723	23859,05		85705,05

$$r^* = \frac{b_1 s_x}{s_y} = b_1 \sqrt{\frac{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}{N \sum_{i=1}^N y_i^2 - (\sum_{i=1}^N y_i)^2}}$$

formula bo'yicha korrelatsiyaning

tanlangan koeffitsiyentlarini aniqlaymiz:

$$r^* = 0.44 \sqrt{\frac{9 \cdot 20400 - 360^2}{9 \cdot 23859.05 - 451.7^2}} = 0.44 \sqrt{\frac{54000}{10699}} = 0.99$$

Korrelatsiya koeffitsiyentining kattaligi birga juda yaqin, demak,  $u$  va  $x$  o'rtasidagi bog'liqlik amaly jihatdan chiziqli hisoblanadi va quyidagi ko'rinishga ega:  
 $\hat{y} = 32.6 + 0.44x$

**2-misol.** Quyidagi faktorlarga bog'liq bo'lgan ishlov eritmalaridan sulfat kislotani ajratib olish darajasining bog'liqligi  $u$  ni olish lozim:  $x_1$  – dastlabki eritmadagi  $N_2SO_4$  ning konsentratsiyasi;  $x_2$  – temir uch oksidi sulfatining konsentratsiyasi;  $x_3$  – spitr kislotaning hajmiy nisbati. Boshlang'ich statistik material bo'lib passiv tajribadagi 105 ta o'lchashlarda olingan tanlanma hajmi  $N$  xizmat qiladi.

**Yechim.** Dastlabki sinovlardan ma'lumki, tadqiqot sohasidagi tanlangan faktorlar va sulfat kislotani ajratib olish darajasi o'rtasidagi bog'liqlik chiziqli xarakterga ega. Shulardan kelib chiqib, bu bog'liqlikni ko'p korrelatsiya usuli bilan quyidagi chiziqli regressiya tenglamasi ko'rinishida yozamiz:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$$

$$y_i^0 = \frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \quad x_{ji}^0 = \frac{x_{ji} - \bar{x}_j}{s_{xj}} \quad \text{formular bo'yicha tajribaning barcha natijalarini}$$

$$\left. \begin{aligned} r_{y^0x_j^0}^* &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N y_i^0 x_{ji}^0 \\ r_{x_l^0x_m^0}^* &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N x_{li}^0 x_{mi}^0 \end{aligned} \right\} \text{formula bo'yicha}$$

$$l > m$$

regressiyaning tanlangan koeffitsiyentlarini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} r_{yx_1}^* &= 0.212 & r_{x_1x_2}^* &= -0.417 \\ r_{yx_2}^* &= 0.043 & r_{x_1x_3}^* &= -0.128 \\ r_{yx_3}^* &= 0.903 & r_{x_2x_3}^* &= 0.046 \end{aligned}$$

Korrelatsiya koeffitsiyentlarning olingan qiymatlarini quyidagi tenglamalar tizimiga qo'yamiz. Natijada quyidagini olamiz:

$$\left. \begin{aligned} a_1 - 0.417 a_2 - 0.128 a_3 &= 0.212 \\ -0.417 a_1 + a_2 + 0.046 a_3 &= 0.043 \\ -0.128 a_1 + 0.046 a_2 + a_3 &= 0.903 \end{aligned} \right\}$$

tenglamalar tizimini yechib,  $a_1 = 0,397$ ;  $a_2 = 0,166$ ;  $a_3 = 0,903$  larni topamiz. standart masshtabda regressiya tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\hat{y}^0 = 0.397 x_1^0 + 0.166 x_2^0 + 0.903 x_3^0$$

Natural masshtabga o'tamiz:

$$\hat{y} = -26.5 + 1.987 x_1 + 1.17 x_2 + 14.14 x_3$$

Olingan tenglamani Fisher mezonini bo'yicha monandlikka tekshiramiz:

$$F = \frac{S_{miq}^2}{S_{muk}^2}$$

Berilgan uch parallel sinovlar bo'yicha qayta tiklanish dispersiyasini aniqlaymiz:

$$S_{muk}^2 = \frac{\sum_{i=1}^3 (y_i - \bar{y})^2}{2} = 3.82$$

bu yerda  $\bar{y}$  — parallel sinovlar bo'yicha o'rtacha qiymat.

$S_{muk}^2$  ning erkinlik darajasi soni 2 ga teng. Quyidagi formula bo'yicha qoldiq dispersiyani aniqlaymiz:

$$s_{kol}^2 = \frac{m \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{N - l} ; s_{kol}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{105} (y_i - \hat{y}_i)^2}{105 - 4} = 36.03$$

$S_{qol}^2$  ning erkinlik darajasi soni 101 ga,  $G$  – nisbat esa 9,4 ga teng. Ahamiyatlilik  $r = 0.05$ , erkinlik darajalari sonlari  $f = 101$  va  $f = 2$  uchun Fisher mezonining jadval qiymati  $F_p(f_1, f_2) = 19.5$  ni tashkil etadi. Demak, olingan regressiya tenglamasi tajribaga monand.

**3-misol.** Quvurli polietilen reaktorining unumdorligi  $u$  ni jarayonning parametrlariga bog'liqligini olish lozim (1-rasm)-reaktorning unumdorligi  $u$  ga ta'sir etuvchi parametrlar sifatida quyidagilarni tanlaymiz:  $x_1$  – reaktordagi bosim;  $x_2$  – reaktordagi harorat;  $x_3$  – reaksiyaga kirishuvchi aralashmadagi  $O_2$  ning konsentratsiyasi;  $x_4$  – reaktorga beriladigan gazning miqdori. Me'yoriy ish rejimida o'rganilayotgan obyektдан olingan 200 ta o'lchashlardagi tanlanma hajmi boshlang'ich statistik material bo'lib xizmat qiladi.

**Yechim.**  $\hat{y} = af_1(x_1)f_2(x_2)\dots f_k(x_k)$  regressiya tenglamasiga muvofiq, reaktor unumdorligining tanlangan faktorlarga bog'liqliligini quyidagi ko'rinishga keltiramiz va  $f(x)$  noma'lum funksiya hamda  $a$  koeffitsiyentni Brandon usuli bo'yicha aniqlaymiz:

$$\hat{y} = af_1(x_1)f_2(x_2)f_3(x_3)f_4(x_4)$$

Berilgan tajriba ma'lumotlari bo'yicha avval, unumdorlik  $u$  ni bosim  $x_1$  ga bog'liqligini tuzamiz. Empirik regressiya chizig'i funksiya  $f_1(x_1)$  ni ikkinchi tartibli parabola ko'rinishida qidirish maqsadga muvofiqligini ko'rsatadi:

$$f_1(x_1) = b_0 + b_1x_1 + b_{11}x_1^2$$

Eng kichik kvadratlar usuli bo'yicha  $b_0, b_1$  va  $b_{11}$  koeffitsiyentlarni aniqlagandan

$$\left. \begin{array}{l} b_0N + b_1 \sum x_i + b_{11} \sum x_i^2 = \sum y_i \\ \text{so'ng } b_0 \sum x_i + b_1 \sum x_i^2 + b_{11} \sum x_i^3 = \sum x_i y_i \end{array} \right\} \text{quyidagini}$$

$$\text{olamiz: } f_1(x_1) = -211 + 0.33x_1 - 1.16 \cdot 10^{-4}x_1^2$$

Keyin  $y_1 = \frac{y}{f_1(x_1)}$  formula bo'yicha tanlanma kattaligi  $y_1$  ni hisoblab,

korrelatsiya maydoni va empirik regressiya chizig'i  $y_1 - x_2$  ni quramiz (1-rasm, b). U uchun yaxshi yaqinlashish chiziqli regressiya tenglamasi hisoblanadi:

O'xshash tarzda qolgan ikki faktorlar uchun hisoblash va qurishni amalga oshirib (1-rasm, a,g), qo'shimcha ravishda reaktor unumdorligini rejimning tanlangan ko'rsatkichlariga bog'liqligini olamiz:

$$\begin{aligned} \hat{y} &= 1.02(-211 + 0.33x_1 - 1.16 \cdot 10^{-4}x_1^2) \times \\ &\times (0.013x_2 - 1.46)(0.0077x_3 + 0.42)(0.00127x_4 + 0.747) \end{aligned}$$

**Misol 4.** Sulfat va fosfor kislotalar aralashmalarida boratlarni parchalanishining maksimal darajasiga erishish shartini aniqlash lozim. Parchalanish darajasi  $u$  ga ta'sir qiluvchi faktorlar sifatida quyidagilarni tanlaymiz:  $z_1$  – reaksiyaning harorati, °C;  $z_2$  – reaksiyaning davomiyligi, min;  $z_3$  – fosfor kislotaning me'yori, %;  $z_4$  – fosfor kislotaning konsentratsiyasi, %  $R_2O_5$ .

Faktorlarni variatsiyalashning asosiy sathlari va oraliqlari 1-jadvalda keltirilgan.

**Yechim.** Dastlabki sinovlardan ma'lumki, jarayon amalga oshirishining maksimallik sharti parametrlar o'zgarishining ko'rilyotgan sohasi ichida yotadi (3-jadval). Shulardan kelib chiqib, regressiya tenglamasini olish uchun ikkinchi tartibli ortogonal rejadan foydalanamiz.  $k = 4$  bo'lganda rejalashtirish matritsasidagi sinovlar soni 25 ga teng. Yulduzli yelka kattaligi  $a$  — **1,41**.



	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$
$z_j^0 \dots\dots\dots$	55	37.5	80	32.8
$\Delta z_j \dots\dots\dots$	25	22.5	20	18.8

Qayta tiklanish dispersiyasini reja markazida qo‘shimcha to‘rtta sinovlar bo‘yicha aniqlaymiz:

$$y_1^0 = 61.8\%, y_2^0 = 59.3\%, y_3^0 = 58.7\%, y_4^0 = 69\%$$

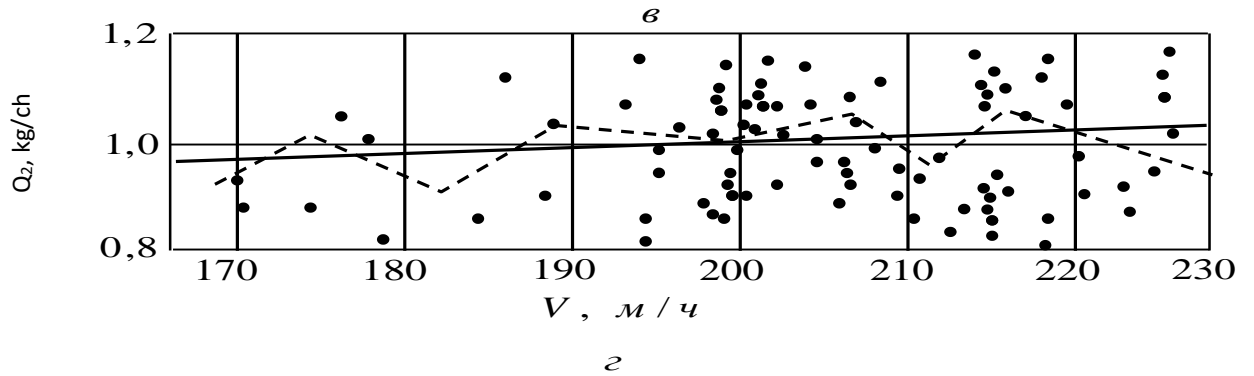
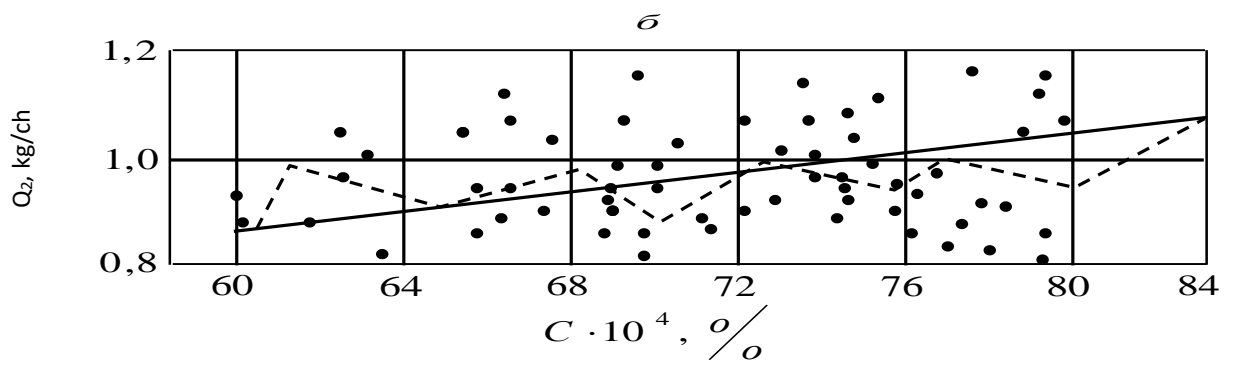
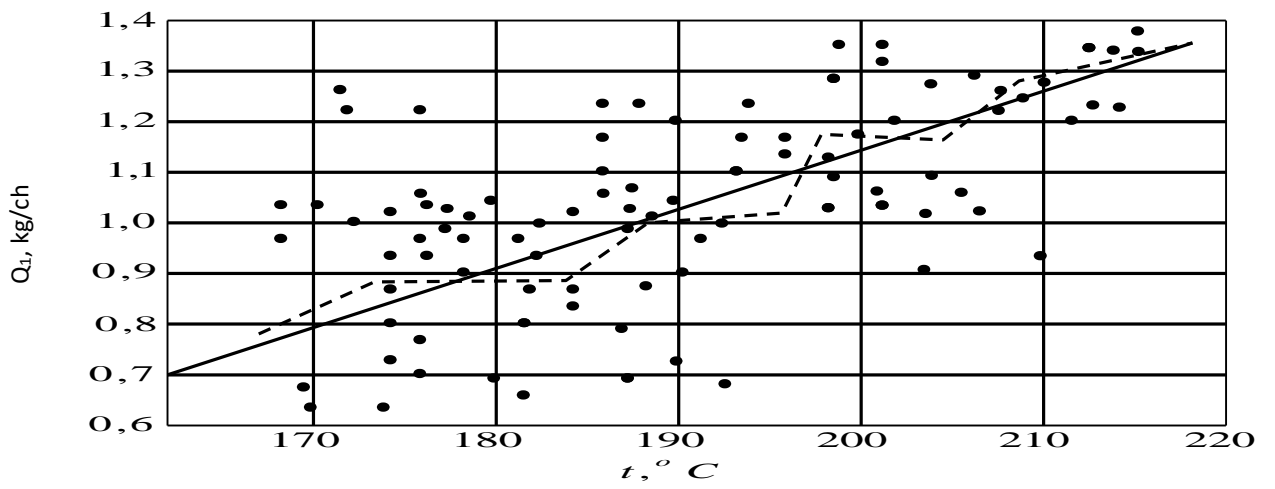
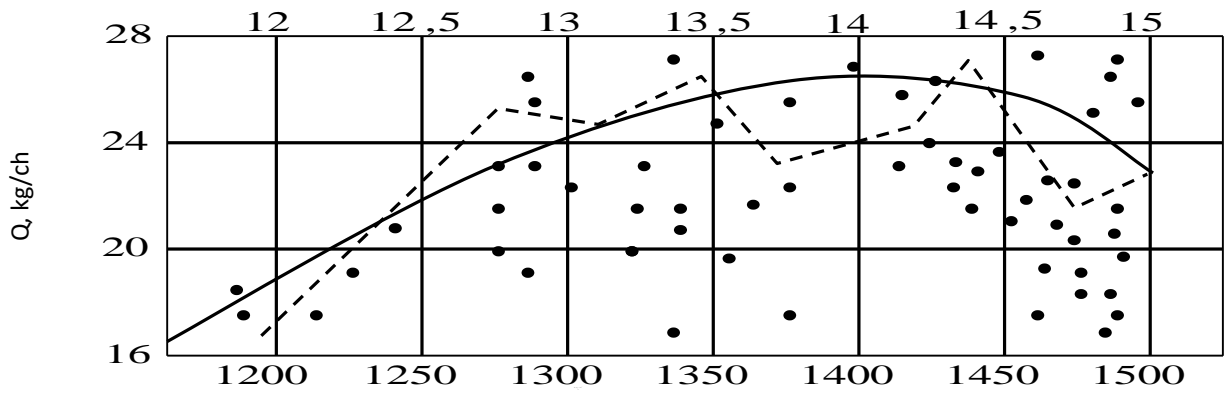
$$\bar{y}^0 = \frac{\sum_{i=1}^4 y_i^0}{4} = 60.95 \qquad s_{muk}^2 = \frac{\sum (y_i^0 - \bar{y}^0)^2}{3} = 5.95$$

Qayta tiklanish dispersiyasining erkinlik darajalari soni  $f = 4 - 1 = 3$ .

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2} \quad \text{va} \quad s_{b_j}^2 = \frac{s_{muk}^2}{\sum_{i=1}^N x_{ij}^2}$$

ikkinchi tartibli koeffitsiyentlari va koeffitsiyentlarning xatoliklarini hisoblaymiz

$P, \Gamma\Pi a$



$$b_{44} = -5.34$$

$$b_{12} = 2.18 \quad s_{b_j} = \sqrt{s_{b_j}^2} = 0.545$$

$$b_{13} = 0.2 \quad s_{b_{uj}} = \sqrt{s_{b_{uj}}^2} = 0.61$$

$$b_{14} = 1.2$$

$$b_0 = 61.54$$

$$b_{23} = 0.56$$

$$b_{24} = 0.79 \quad s_{b_{jj}} = \sqrt{s_{b_{jj}}^2} = 0.864$$

$$b_{11} = 4.5$$

$$b_{22} = 1.3$$

$$b_{33} = 4.09 \quad b_{34} = 1.9$$

$$b_1 = 17.37$$

$$b_2 = 6.4$$

$$b_3 = 4.7$$

$$b_4 = -4.37$$

Styudent mezonni bo'yicha koeffitsiyentlarning ahamiyatligini

$$t_{12} = \frac{2.18}{0.61} = 3.57$$

$$t_{34} = \frac{1.9}{0.61} = 0.318$$

$$t_{13} = \frac{0.2}{0.61} = 3.18$$

$$t_{14} = \frac{1.2}{0.61} = 1.97$$

$$t_{23} = \frac{0.56}{0.61} = 0.91$$

$$t_{24} = \frac{0.76}{0.61} = 1.25$$

$$t_1 = \frac{17.37}{0.545} = 31.9$$

$$t_2 = \frac{6.4}{0.545} = 11.7$$

$$t_3 = \frac{4.70}{0.545} = 8.64$$

$$t_4 = \frac{4.37}{0.545} = 8.64$$

$$t_{11} = \frac{4.5}{0.864} = 5.2$$

$$t_{22} = \frac{1.3}{0.864} = 1.5$$

tekshiramiz.  $t_{33} = \frac{4.09}{0.864} = 4.73$

$$t_{44} = \frac{5.34}{0.864} = 6.22$$

Ahamiyatlilik sathi  $r = 0.05$  va erkinlik darajasi soni  $f = 3$  uchun Student mezonining jadval qiymati  $t_p(f) = 3.18$ .

Ahamiyatsiz koeffitsiyentlarni tashlab yuborganadan so'ng o'lchamsiz ko'rinishdagi regressiya tenglamasini olamiz:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 61.54 + 17.37 x_1 + 6.4 x_2 + 4.7 x_3 - 4.37 x_4 + \\ & + 2.18 x_1 x_2 + 1.9 x_2 x_3 + 4.5(x_1^2 - 0.8) + 4.09(x_3^2 - 0.8) - \\ & - 5.34(x_4^2 - 0.8) = 58.9 + 17.37 x_1 + 6.4 x_2 + 4.7 x_3 - \\ & - 4.37 x_4 + 2.18 x_1 x_2 + 1.9 x_3 x_4 + 4.5 x_1^2 + 4.09 x_3^2 - 5.34 x_4^2 \end{aligned}$$

Olingan tenlamani monandlikka tekshirish uchun qoldiq dispersiyani hisoblaymiz:

$$S_{\text{кол}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - L} = \frac{396.2}{25 - 10} = 26.4$$

$$F - \text{nisbat: } F = \frac{S_{\text{кол}}^2}{S_{\text{мик}}^2} = \frac{26,4}{5,95} = 4,4$$

Ahamiyatlilik sathi  $r = 0.05$  va erkinlik darajalari sonlari  $f_1 = 15, f_2 = 3$  uchun Fisher mezonining jadval qiymati 8,6 ga teng va  $F < F_p(f_1, f_2)$ , demak, olingan tenglama tajribaga monand.

Regressiya tenglamasi natural masshtabda  $[x_j = \frac{z_j - z_j^0}{\Delta z_j}]$  ga qarang] quyidagi ko‘rinishni qabul qiladi:

$$\hat{y} = 90.64 - 0.242 z_1 - 0.07 z_3 + 0.35 z_4 + 0.00388 z_1 z_2 + 0.00506 z_3 z_4 + 0.0072 z_1^2 + 0.0102 z_3^2 - 0.015 z_4^2$$

$\hat{y} = 100\%$  ga mos keluvchi shartni regressiya tenglamasi bo‘yicha Gauss – Zeydel usuli bilan aniqlaymiz:

$$z_1 = 90^0 C, z_2 = 50 \text{ мин}, z_3 = 90\%, z_4 = 32.5.$$

Olingan optimal shartlar nazorat sinovlarida o‘rnatilgan. Boratlarning parchalanish darajasi parchalanish uchun konsentratsiyasi 30,3% bo‘lgan fosforli kislota qo‘llanilganda 98,5% ni, konsentratsiyasi 29,0% bo‘lgan ekstratsiyali kislota qo‘llanganda esa 98,9% ni tashkil qiladi.

#### **4-amaliy mashg‘ulot: Kimyoviy texnologiya tipik apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish**

**Ishdan maqsad:** Kimyoviy texnologiya tipik apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish mavzuga doir masalalar yechish.

**1-misol.** Kondensatning kondensatsiyalanish haroratidagi fizik xossalari: issiqlik o‘tkazuvchanligi  $\lambda_k = 0.683 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ , zichligi  $\rho_k = 908 \text{ kg/m}^3$ , solishtirma bug‘lanish issiqligi  $r_k = 2095000 \text{ J/kg}$ , qovushqoqligi  $\mu_k = 0,000177 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . Suyuqligining qaynash haroratidagi fizik xossalari: issiqlik o‘tkazuvchanligi  $\lambda_j = 0,686 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ , zichligi  $\rho_j = 957 \text{ kg/m}^3$ , issiqlik sig‘imi  $c_j = 4190 \text{ J/(kg} \cdot \text{К)}$ , qovushqoqligi  $\mu_j = 0,00024 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , sirt tarangligi  $\sigma_j = 0,0583 \text{ N/m}$ , qaynash haroratidagi bug‘larning zichligi  $\rho_p = 0,65 \text{ kg/m}^3$ , solishtirma bug‘lanish issiqligi  $r_j = 2253900 \text{ J/kg}$  bo‘lgan suv bug‘i bilan

qizdiriladigan qaynatgich berilgan. Haroratlar farqi  $\Delta T = 55,6^{\circ}\text{C}$ , quvur devori va iflos cho'kmalar termik qarshiliklarining yig'indisi  $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,0004787 \text{ m}^2\text{XK/Vt}$

Umumiy issiqlik yuklamasi  $Q = 1005000 \text{ Vt}$  bo'lsa, berilgan rektifikatsiya kolonnasining qaynatgichini hisoblash talab qilinadi.

*Yechim*—rektifikatsiya kolonnalarining qaynatgichlari sifatida odatda vertikal bir yo'lli obi quvurli issiqlik almashish apparatlaridan foydalaniladi va quvurning tashqi yuzasini kondensatsiyalovchi, qizdiruvchi bug'ning issiqlik berish koeffitsiyenti quvurning balandligiga bog'liq, shuning uchun ham avval quvurning balandligi  $H = 2 \text{ m}$  ni beramiz. Boshlang'ich ma'lumotlar asosida talab qilingan issiqlik almashish yuzasi  $F$  ni hisoblaymiz. Hisoblash natijalari quyidagicha:  $\alpha_{quv} = 10478,2 \text{ Vt}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 7073,6 \text{ Vt}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $K = 1395,9 \text{ Vt}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $F = 12,9 \text{ m}^2$ .

Balandligi  $H = 2 \text{ m}$  bo'lgan bir yo'lli obi quvurli issiqlik almashish apparatlar yuzasining Davlat standartidagi (Dav.ST) qiymatga yaqin qiymati  $18 \text{ m}^2$ . Shundan kelib chiqib, issiqlik almashish apparatining zaxira yuzasi talab qilingani bilan solishtirilganda quyidagini tashkil etadi:  $\Delta = \frac{18 - 12,9}{12,9} 100 \% = 39,5\%$

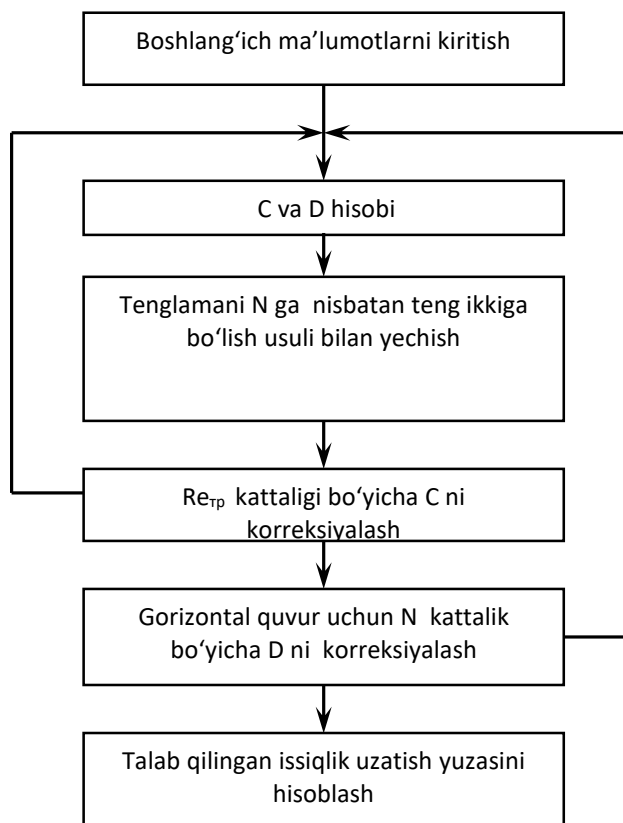
Issiqlik almashish apparatini Dav.ST bo'yicha yanada aniqroq tanlashga harakat qilamiz. Buning uchun quvurning balandligini  $N = 1,5 \text{ m}$  deb qilamiz. Ushbu holda issiqlik apparatining hisobi quyidagilarni beradi:  $\alpha_{quv} = 10596,5 \text{ Vt}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 7698,1 \text{ Vt}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $K = 1422,3 \text{ Vt}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $F = 12,7 \text{ m}^2$ .

Dav.ST 15122—79 dagi issiqlik almashish apparatiga yaqin,  $14 \text{ m}^2$  yuzali issiqlik almashish apparati yuza bo'yicha quyidagi to'la qanoatlantiruvchi zaxirani ta'minlaydi.

Shunday qilib, ikkinchi holatda hisoblangan qaynatgich afzal bo'lib, u issiqlik almashish yuzasi bo'yicha ko'proq asoslangan zaxirani ta'minlaydi va kichik issiqlik almashish yuzasiga ega.

2-misol. rektifikatsiya kolonnalarining boshlang'ich aralashmalarining qobiq – quvurli qizdirgichlarini hisoblash. Qizdirish suv bug'i bilan olib boriladi. Kondensatsiyalanish haroratidagi kondensatning fizik xossalari: issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_k = 0.683 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , zichligi  $\rho$ , solishtirma bug'lanish issiqligi  $r_k = 2095000 \text{ J/kg}$ , qovushqoqligi  $\mu_k = 0,000177 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , bug' sarfi  $G_p = 0,170 \text{ kg/s}$ . Quvurdagi o'rtacha haroratli suyuqliklarning fizik xossalari: issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_{quv} = 0,458 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , qovushqoqligi  $\mu_{quv} = 0,000534 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , issiqlik sig'imi  $c_{quv} = 3730 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ . Quvur devorlari va ifloslanishning termik qarshiliklari yig'indisi  $\sum \frac{\delta}{\lambda} = 0,000479 \text{ m}^2 \text{K/Vt}$ .

Haroratlarning o'rtacha farqi  $\Delta T_{cp} = 106^\circ \text{C}$ . Suyuqlik sarfi  $G_{TP} = 0,973 \text{ kg/s}$ .



**5.9-rasm.** Issiqlik tashuvchilaridan birining agregat holati o'zgaradigan obi - quvurli issiqlik almashish apparatini hisoblash algoritmining blok - sxemasi.

*Echim.* Quvurining tashqi diametri  $d_H = 0.02$ , yo'llari  $Z = 1$  va quvur uzunligi  $L = 3 \text{ m}$  bo'lgan gorizontal issiqlik almashish apparati ( $T=1$ ) keltirilgan variantni

ko‘rib chiqamiz. **COND** bo‘yicha boshlang‘ich ma‘lumotlarni kiritgandan so‘ng  $\alpha_{quv} = 865,1 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 13118,3 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $K = 584,5 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $Re_{quv} = 4674,4$ ,  $N = 31$  larni olamiz.

Ko‘rsatilgan konstruktiv tavsifli issiqlik almashish apparatining Dav.ST ga mos keladiganining quvurlari soni  $N = 61$ , ya‘ni quvurlar soni bo‘yicha zaxira yuza deyarli ikki marta:

$$\Delta = \frac{61 - 31}{31} \cdot 100 \% = 96.8\%$$

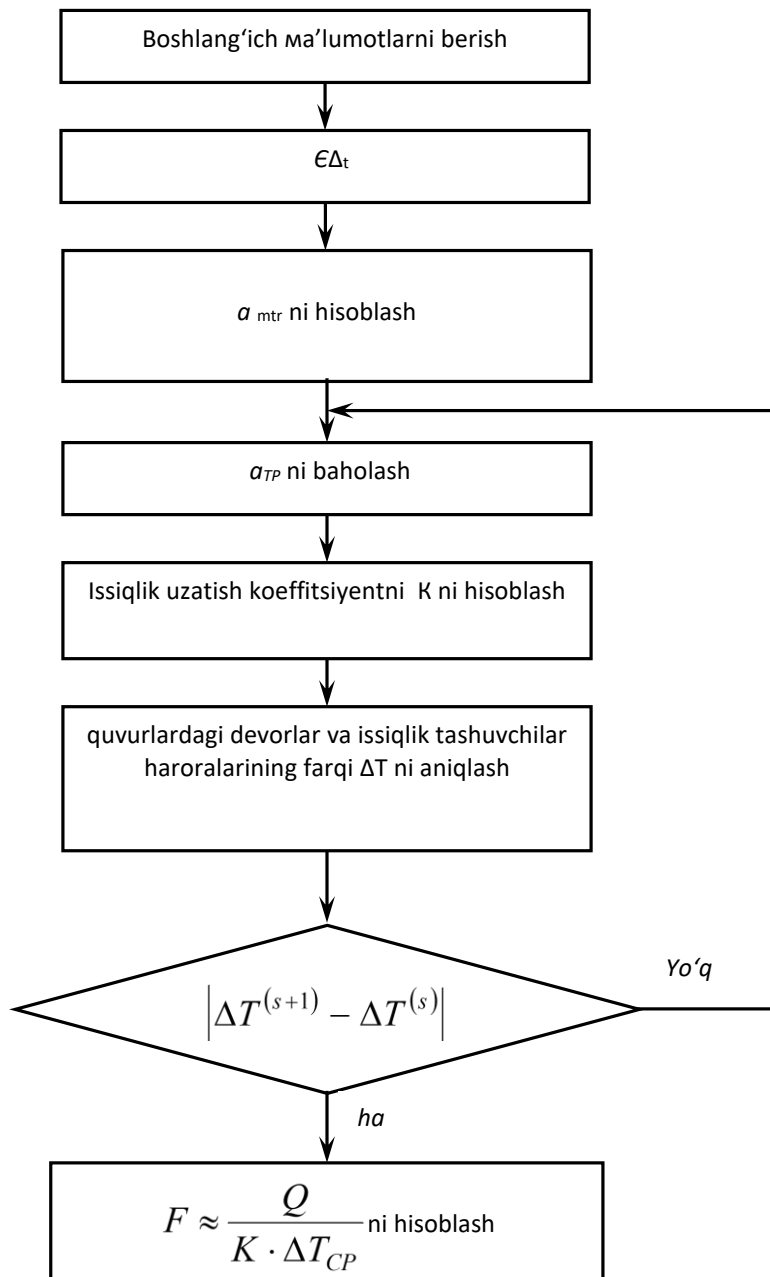
Issiqlik almashish apparatining uzunligini 2 m gacha kamaytiramiz va qolgan konstruktiv tavsiflarni o‘zgarishsiz qoldiramiz. Hisoblash natijasida  $\alpha_{quv} = 247,0 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 15625,8 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $K = 217,2 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $Re_{quv} = 1161,1$ ,  $N = 124$  larni olamiz.

Shunday qilib, quvurlar uzunligining kamayishi ularning sonini oshishi va  $Re_{quv}$  sonini kamayishi (shuningdek  $\alpha_{quv}$  ham) ga olib keladi,  $Re$  soni 2300 dan kam bo‘ladi. Ushbu variant maqsadga to‘g‘ri kelmaydi. Natijalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ikki yo‘lli issiqlik almashish apparatlarini hisoblashlarni quvur uzunligini 2 m qilib olish maqsadga muvofiqdir. Tashqi diametri  $d_H = 0,025 \text{ m}$  bo‘lgan quvurli issiqlik almashish apparatini hisoblaymiz. Hisoblash natijalari quyidagicha:  $\alpha_{quv} = 740,9 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 12628,1 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $K = 524,2 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,  $Re_{quv} = 5323,3$ ,  $N = 41$ .

Dav.STga mos keluvchi issiqlik almashish apparatining quvurlari soni  $N = 52$ . Shunday qilib, quvurlar soni bo‘yicha zaxira  $\Delta = \frac{52 - 41}{41} \cdot 100 \% = 26.8\%$  ni tashkil etadi. Bu natijani qoniqarli deb hisoblash mumkin. Tanlangan gorizontal issiqlik almashish apparatining qobig‘i diametri 0,325 m,  $d_H = 0,025 \text{ m}$ , yo‘llar soni 2, quvurlar soni 52, quvurlar uzunligi 2 m va issiqlik almashish yuzasi  $8\text{m}^2$ .



*Misol.* 3-rektifikatsiya kolonnalarining kub qoldiqlari sovitgichini hisoblash. Umumiy issiqlik yuklamasi  $Q = 402\,980$  Vt. Quvur bo'yicha harakatlanuvchi kub qoldiqlari  $G_{quv} = 1,24$  kg/s, uning issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_{quv} = 0,662$  Vt/(m·K), zichligi  $\rho_{quv} = 986$  kg/m<sup>3</sup>, qovushqoqligi  $\mu_{quv} = 0,00054$  Pa·s, issiqlik sig'imi  $c_{quv} = 4190$  J/(kg·K), hajmiy kengayish koeffitsiyenti  $\beta_{quv} = 0,00048$  K<sup>-1</sup>. Sovituvchi suv quvurlar orasidagi fazoda  $G_{quv.or} = 4,36$  kg/s sarf bilan harakatlanadi va o'zining o'rtacha



**5.10-rasm.** Issiqlik tashuvchilarning fazaviy o'tishi mavjud bo'lmagan issiqlik almashish apparatlarini hisoblash algoritmining blok-sxemasi.

haroratida issiqlik o'tkazuvchanlik  $\lambda_{quv.or} = 0,61 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , qovushqoqlik  $\mu_{quv.or} = 0,00085 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , issiqlik sig'im  $c_{quv.or} = 4190 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  ga ega. Issiqlik tashuvchilar haroratlarining o'rtacha logarifmik farqi  $\Delta T_{o'r \log} = 25,4^\circ\text{C}$  ga teng. Quvur devorlari va ifloslanishning termik qarshiliklari yig'indisi  $\sum \delta/\lambda = 0,00042 \text{ m}^2 \text{ K}/\text{Vt}$ .

*Yechim.* obi - quvurli sovitgichlarning ikki variantini tanlaymiz. Birinchi variant:  $d_H = 0,02 \text{ m}$ ,  $Z=2$ ,  $N= 166$  va ushbu holda agar obining diametri(0.4 m) uchun quvurning maksimal uzunligi (6 m) kamlik qilsa, uni so'nggi 600 mm gacha uzaytiramiz. Ikkinchi variant:

0,020 m,  $Z=2$ ,  $N=314$ . Issiqlik almashish apparatining hisoblanayotgan variantlari uchun  $\varepsilon_{\Delta T} = 0.9$ .

Normal bo'yicha birinchi variant uchun  $S_{quv.or} = 0,021 \text{ m}^2$  va ikkinchi variant uchun  $S_{quv.or} = 0,047 \text{ m}^2$  ni aniqlaymiz.

Boshlang'ich axborotlarni kiritgach **COOLER** dasturi bo'yicha birinchi variantdagi holat uchun:  $\alpha_{quv} = 531,9 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 2257,9 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $K = 364,6 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $F = 48,3 \text{ m}^2$ ,  $\text{Re}_{quv} = 2205,1$ ,  $\text{Re}_{quv.or} = 4885,1$  larni olamiz.

Normal bo'yicha uzunligi 6 m quvurli va yuzasi  $F= 62 \text{ m}^2$  bo'lgan issiqlik almashish apparati mos keladi. Yuza zaxirasi 62-48,3ni tashkil qiladi:

$$\Delta = \frac{62 - 48.3}{48.3} \cdot 100 \% = 28.4\%$$

*Ikkinchi variant:*  $\alpha_{quv} = 406,7 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $\alpha_{quv.or} = 1392,4 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $K = 278,0 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $F = 63,4 \text{ m}^2$ ,  $\text{Re}_{quv} = 978,7$ ,  $\text{Re}_{quv.or} = 2182,7$ .

Bu issiqlik almashish apparatlari ikkala oqim uchun olingan bo'ylama kesimning kattaligi, Reynolds sonining qiymati kichikligi, issiqlik berish va uzatish koeffitsiyentlarining kichikligi tufayli katta yuzaga ega, biroq uning afzalligi kichik gidravlik qarshilik va obining diametri 0,6 m bo'lganda quvurning zaruriy uzunligining kichikligi:  $L=3 \text{ m}$  hisoblanadi. Yuza zaxirasi  $\Delta = \frac{70 - 63.4}{63.4} \cdot 100 \% = 10.4\%$  ni tashkil etadi.

Zaruriy yuzani kamaytirish, shuningdek, ular bilan birgalikda quvurlar uzunligini ham kamaytirish uchun quvurli sohadagi yo‘llar sonining teng shartlarda  $Z = 4$  ( $N = 338$ ,  $S_{quv.or} = 0,047$ ) va  $Z = 6$  ( $N = 320$ ,  $S_{quv.or} = 0,047$ ) gacha oshadigan yana ikkita variantni ko‘rib chiqamiz.

$Z = 4$  yo‘llar soniga ega issiqlik almashish apparatlarini hisoblash natijasida  $\alpha_{quv} = 524,0 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)}$ ,  $\alpha_{quv.or} = 1392,4 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)}$ ,  $K = 328,2 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)}$ ,  $F = 53,7 \text{ m}^2$ ,  $Re_{quv} = 2166,0$ ,  $Re_{quv.or} = 2182,7$  larni olamiz.

Yuza zaxirasi  $\Delta = \frac{64 - 53,7}{53,7} \cdot 100 \% = 19,2\%$  ni tashkil etadi. Uzunligi 3 m ga teng bo‘lgan issiqlik almashish apparatining ushbu varianti issiqlik berish koeffitsiyentining oshishi va talab qilingan issiqlik almashish yuzasining mos kamayishi tufayli ikkinchi variant oldida uncha katta afzallikka ega emas.

To‘rtinchi variantning ( $Z = 6$ ) hisob natijalari;  $\alpha_{quv} = 853,7 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)}$ ,  $\alpha_{quv.or} = 1392,4 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)}$ ,  $K = 432,9 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)}$ ,  $F = 40,7 \text{ m}^2$ ,

$Re_{quv} = 3431,7$ ,  $Re_{quv.or} = 2182,7$ .

Bu variantdagi issiqlik almashish apparatlarining afzalligi shundaki, u kichik uzunlikdagi quvur  $L = 2 \text{ m}$  va obi diametri  $D = 0,6 \text{ m}$  ga ega. Yuza zaxirasi  $\Delta = \frac{41 - 40,7}{40,7} \cdot 100 \% = 0,7\%$  ni tashkil etadi.

Biroq ko‘rilayotgan issiqlik almashish apparatining variantida ikkinchi variantdagiga qaraganda gidravlik qarshilik katta.

Shunday qilib, ikkita: ikkinchi va to‘rtinchi variantlarni qabul qilishimiz mumkin. Ular gidravlik hisobdan keyin iqtisodiy mezon asosida tanlanishi mumkin.

## V. KEYSLAR BANKI

Optimallashtirish masalasi xuddi ko'p o'zgaruvchili funksiyalarning ekstremumlarini qidirishning matematik masalasi kabi qaraladi.

### **Keysni bajarish bosqchilari va topshiriqlar:**

Keysdagi muammoni keltirib chiqargan asosiy sabablar va hal etish yo'llarini jadval asosida izohlang (individual va kichik guruhda).

<b>Muammo turi</b>	<b>Kelib chiqish sabablari</b>	<b>Hal etish yo'llari</b>

Matematik modelni qurilishida real hodisa soddalashtiriladi, sxemalashtiriladi va olingan sxema hodisalar murakkabligiga bog'liq holda u yoki boshqa matematik apparat yordamida tavsiflanadi.

Tadqiqotning muvaffaqiyatliligi va olingan natijalarning ahamiyatliligi modelda o'rganilayotgan jarayonning xarakterli xislatlarini hisobga to'g'ri olishga bog'liq.

Jarayonga ta'sir qiluvchi barcha eng muhim omillar modelda hisobga olingan bo'lishi va shu bilan birga u ko'plab kichik ikkinchi darajali omillar bilan ketma-ket bo'lmasligi kerak, ularni hisobga olish faqat matematik tahlilni murakkablashtiradi va tadqiqotni o'ta tiqilinch yoki umuman amalga oshmaydigan qilib qo'yadi.

Jarayonlar uchun aniq matematik tavsifi bo'lgan matematik modellashtirish usulini aniq matematik jarayonlar xususiyatlarini o'rganishda qo'llashadi. Matematik tavsifi mukammallik darajasiga bog'liqligiga qarab, ikkita chegaraviy hodisani ajratish muammosini aniqlang.

### **Keysni bajarish bosqchilari va topshiriqlar:**

Keysdagi muammoni keltirib chiqargan asosiy sabablar va hal etish yo'llarini jadval asosida izohlang (individual va kichik guruhda).

<b>Muammo turi</b>	<b>Kelib chiqish sabablari</b>	<b>Hal etish yoʻllari</b>

## GLOSSARIY

<b>O'zbekcha nomi</b>	<b>Inglizcha nomi</b>	<b>Ruscha nomi</b>	<b>Ma'nosi</b>
Kompyuterli model	Computer model	Компьютерная модель	sonli bo'lmagan algoritmlar bilan ishlovchi va EXMda amalga oshiriluvchi matematik model.
Matematik model	Mathematical model	Математическая модель	tizim xususiyatlari va tavsiflari haqida fikr yuritish imkonini bera oladigan, o'rganilayotgan sistemaga o'xshash matematik bog'liqliklarning yig'indisi.
Texnologik parametr	Process parameter	Технологический параметр	har qanday texnologik jarayon va ob'ekt turli fizik kattaliklar: harorat, bosim, tezlik, taranglik, namlik, sath va boshqalar kabi ko'rsatkichlari bilan ifodalanadi.
Rostlanuvchi parametr	Adjustable parameter	Регулируемый параметр	rostlanishi, o'zgarmas qilib ushlab turilishi yoki berilgan dastur bo'yicha o'zgartirilishi talab qilinadigan parametr
Boshqarish ob'ekti	Control object	Объект управления	parametrlari rostlanayotgan texnologik mashina.
Boshqarish	Control	Управление	har qanday jarayonni qo'yilgan maqsad sari yo'naltirish
Rostlagich	Regulator	Регулятор	boshqarish ob'ektining rostlanuvchi parametrini berilgan qiymat bo'yicha ushlab turish uchun xizmat qiluvchi va boshqarish ob'ektiga boshqarish signali ishlab chiquvchi qurilma
Avtomatik rostlash sistemasi	Automatic control systems	Система автоматического регулирования	rostlanuvchi ob'ekt va rostlagich majmui
Avtomatik boshqarish	Automatic control	Автоматическое управление	ob'ektning ishlashi va undan kutilgan natija – ma'lum miqdorli, sifatli mahsulot, jarayon olish uchun avtomatik boshqarish qurilmalari orqali boshqarish maqsadida, ya'ni ma'lum dastur asosida ko'rsatiladigan ta'sirlar

			to`plami
Aprior axborot	Apriori information	Априорная информация	dastlabki yoki tizim ishlashidan oldin boshqariladigan jarayon va boshqarish tizimi haqida ixtiyorimizda bo`lgan ma`lumotlar
Ishchi axborot	Working Information	Рабочая информация	tizim ishlayotgan vaqtda olinadigan axborot
Algoritm	Algorithm	Алгоритм	dastlabki ma`lumotlarni izlangan natijaga o`tkazish yo`l-yo`rig`i mazmunini va ketma – ketlik operasiasini belgilab beradigan yo`l – yo`riq
Yopiq boshqaruv tizimi	Closed control system	Замкнутая система управления	boshqarishning oxirgi ikki turi boshqaruv ob`ektining kirishiga teskari bog`lanish zanjirlari orqali axborot berilishi
Bosh teskari bog`lanish	Main feedback	Главная обратная связь	avtomat rostlash tizimini hech bo`lmaganda rostlanadigan koordinatani haqiqiy va berilgan (topshiriq) qiymatlarini solishtirish uchun xizmat qiladigan bitta teskari bog`lanishga ega bo`lishi
Kuzatuvchi tizimlar	Tracking systems	Следящие системы	baholaydigan narsa bu chiqish koordinatasining o`zgarish qonuni vaqtning tasodifiy funksiyasi bo`lishidir
Dasturli boshqariladigan tizim	Software control system	Программно управляющая система	rostlanadigan koordinatani oldindan o`rnatilgan ma`lum dastur deb ataluvchi qonunga binoan vaqt bo`yicha o`zgartirishga mo`ljallangan
Uzluksiz boshqariladigan tizim	Continuous control system	Непрерывная управляющая система	boshqaruvchi signal vaqt bo`yicha uzluksiz funksiyani tashkil etadi
Statik xarakteristika	Static characteristic	Статическая характеристика	rostlanadigan koordinataning yuklamaga bog`liqligi bo`lib, u berilgan topshiriq ta`sirning o`zgarmas qiymatida olinadi
Davriy signal	Periodic signal	Периодический сигнал	$f(x)=f(t+T)$ shartini bajaradigan vaqt funksiyasi

			tasviriga ega bo'lib, unda T-davr deb nomlanadigan ma'lum o'zgarma qiymatdir
Nodavriy signal	Non-periodic signal	Непериодический сигнал	vaqt funksiyasi ko'rinishida berilgan chekli ( $t_1 \leq t \leq t_2$ ) chegarada yoki yarim chekli ( $t_1 \leq t \leq +\infty$ ) vaqt oralig'i-dagi muntazam signallarga aytiladi, bu vaqtlardan tashqarida esa u aynan nolga teng bo'ladi
Tasodifiy signal	Random signal	Случайный сигнал	esa oldindan berilgan vaqt funksiyasi bilan ifodalab bo'lmaydi. Tasodifiy signallar matematik tavsirlash uchun eqtimollik nazariyasi va statistik dinamika uslublaridan foydalaniladi.
Diskret signallar	Discrete signals	Дискретные сигналы	sath bo'yicha yoki ham sath, ham vaqt bo'yicha diskret bo'lishlari mumkin.
Pog'onali signal	Step Signal	Ступенчатый сигнал	eng sodda ko'rinishli signallardan biri bo'lib, ABT o'tkinchi jarayonlarni hisoblashda ishlatiladi. U vaqt funksiyasi bo'lib, $t=0$ paytda $A=\text{const}$ qiymatiga erishadi va kelgusida o'zgarmasdan qoladi. $t < 0$ bo'lganda esa $x(t)=0$ .
Garmonik (sinusoidal yoki kosinusoidal) signal	Harmonic signal	Гармонический сигнал	avtomat boshqaruv tizimini va uni elementlarini chastotali xususiyatlarini tadqiqot qilishda keng qo'llaniladi. U vaqt funksiyali bo'lib, $x(t)=A\sin(\omega t + \varphi)$ ko'rinishda bo'ladi va garmonik signalni Laplas bo'yicha o'zgartirilishi:
Chiziqli o'suvchi signal	Linearly increasing signal	Линейно увеличивающий сигнал	odatda kuzatuvchi tizimlar dinamikasini tadqiqot qilganda ko'proq qo'llaniladi. U vaqt



			bo'yicha chiziqli funksiya ko'rinishida ifodalaniladi:
Tizimning dinamik xarakteristikalarini	Dynamic characteristics of the system	Динамические характеристики системы	har xil ta'sirlar tufayli hosil bo'ladigan o'tkinchi jarayonlarga aytiladi. Ular tizimni uzatish funksiyasi asosida olinishi mumkin.
Amplituda va faza chastota xarakteristikasi (AFChX)	Amplitude Phase Frequency Response	Амплитудно фаза частотная характеристика	kompleksli ifodalarning nisbatidan iborat: $F(j\omega) = \frac{y(t)}{x(t)}$
Zvenoning statik xarakteristikasi	Static characteristic of the unit	Статическая характеристика звена	o'rnatilgan xolatdagi chiqish va kirish qiymatlarning bog'lanishiga aytiladi. Dinamik zvenolarning statik xarakteristikasi analitik (ya'ni tenglama ko'rinishida) yoki grafik $y_{ch}=f(x_k)$ funksiya ko'rinishida, nohiziq zvenolarning esa ko'proq grafik ko'rinishda taqdim etiladi.
Inersiyasiz zveno	The inertia-free unit	Безинерционное звено	har onda chiqish $u_{ch}$ va kirish $x_k$ qiymatlari orasida proporsionallik bo'lgan zvenoga aytiladi. $u_{ch}=kx_k$ ; $W(p)=\frac{y_u}{x_k} = k$
Loyihalash	design	проектирование	- bu obyektning birlamchi bayoni va (yoki) uni mavjud qiladigan algoritm asosida berilgan sharoitda ham mavjud bo'lmagan obyektни yaratish uchun zarur bo'lgan bayonini tuzish jarayonidir. Loyihalash berilgan talablarga javob beradigan, yangi buyumni yaratish yoki yangi jarayonni amalga oshirish uchun zarur va yetarli bo'lgan loyihaladigan predmet bayonini olish maqsadidagi izlanish, tadqiqot,

			hisob va konstruksiyalash bo'yicha ishlar majmuini o'z ichiga oladi. Loyihalash - bu chuqur ilmiy bilimlarga va ijodiy izlanishlarga hamda ma'lum sohada to'plangan tajriba va ko'nikmalardan foydalanishga asoslangan, lekin sermashaqqat oddiy ishlarni bajarish zarurati bo'lgan inson bunyodkorlik faoliyatining murakkab, o'ziga xos turidir.
Birinchi darajali inersiyali (nodavriy, reaksiyali, aperiodik, bir sig'imli) zveno	Inertial unit of the first degree	Инерционное звено первого степени	chiqish qiymati vaqt bo'yicha eksponensial qonun bo'yicha o'zgaradigan zvenoga aytiladi.
Faktor	Factor	Фактор	ob'ektga ta'sir etuvchi ta'sir.
Tashqi muhit	External area	Внешняя среда	uyushmaning faoliyati amalga oshirilayotgan shartlar to'plami. Tashqi muhit tashqi va ichki faktorlarga bog'liq bo'ladi.
Tadqiqot ob'ektining reaksiyasi	Response to inquire object	Реакция исследуемого объекта	ob'ektning kirish ta'siriga bo'lgan javobi (xolat o'zgarishi).
Tajriba ob'yekti	Object of experiment	Объект эксперимента	tajriba yo'li orqali o'rganilayotgan har qanday xarakterdagi ob'ekt.
Model strukturasi	Structure of model	Структура модели	koeffisientlarigacha aniq bo'lgan F operatorining ko'rinishi.
Fizik model	Physical models	Физическая модель	real ob'ektning xususiyatlarining yoki xarakterini o'zida mujassam etgan fizik qurilma yoki maketga aytiladi.
Dinamik model	Dynamic model	Динамическая модель	ma'lum vaqt mobaynida jarayonning borishini tasvirlovchi matematik model.
Model	Model	Модель	ob'ekt yoki sistemaning real mavjudligidan farqli ravishda

			bir qancha ko'inishlardagi tasviridir.
Avtomatlashtirilgan loyihalash (CAD)	Automated projection (CAD)	Автоматизированная проекция (CAD)	– bu loyihalarni yaratish, o'zgartirish, tahlil qilish va optimallashtirishni osonlashtirish uchun kompyuter tizimlaridan foydalanishga asoslangan texnologiyadir
O'lchov	Measurement	Измерение	Berilgan o'lchamli fizik kattalikni qayta hosil qilish uchun muljallangan o'lchash vositasidir. O'lchovlar bir qiymatli va ko'p qiymatli o'lchovlarga, xamda o'lchovlar to'plamiga bo'linadi. Bir qiymatli ulchavlar bir o'lchamli fizik kattalikni qayta hosil qilish uchun muljallanadi.

## **ADABIYOTLAR RO‘YXATI**

### **I. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining asarlari**

1. Mirziyoyev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. – T.: “O‘zbekiston”, 2017. – 488 b.
2. Mirziyoyev Sh.M. Milliy taraqqiyot yo‘limizni qat’iyat bilan davom ettirib, yangi bosqichga ko‘taramiz. 1-jild. – T.: “O‘zbekiston”, 2017. – 592 b.
3. Mirziyoyev Sh.M. Xalqimizning roziligi bizning faoliyatimizga berilgan eng oliy bahodir. 2-jild. T.: “O‘zbekiston”, 2018. – 507 b.
4. Mirziyoyev Sh.M. Niyati ulug‘ xalqning ishi ham ulug‘, hayoti yorug‘ va kelajagi farovon bo‘ladi. 3-jild.– T.: “O‘zbekiston”, 2019. – 400 b.
5. Mirziyoyev Sh.M. Milliy tiklanishdan – milliy yuksalish sari. 4-jild.– T.: “O‘zbekiston”, 2020. – 400 b.

### **II. Normativ-huquqiy hujjatlar**

6. O‘zbekiston Respublikasining Konstitutsiyasi. – T.: O‘zbekiston, 2018.
7. O‘zbekiston Respublikasining 2020 yil 23 sentyabrda qabul qilingan “Ta’lim to‘g‘risida”gi O‘RQ-637-sonli Qonuni.
8. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015 yil 12 iyun “Oliy ta’lim muasasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi PF-4732-sonli Farmoni.
9. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevral “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida”gi 4947-sonli Farmoni.
10. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 20 aprel "Oliy ta’lim tizimini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-2909-sonli Qarori.
11. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 27 may “O‘zbekiston

Respublikasida korrupsiyaga qarshi kurashish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PF-5729-son Farmoni.

12. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 27 avgust “Oliy ta’lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to‘g‘risida”gi PF-5789-sonli Farmoni.

13. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018 yil 21 sentabr “2019-2021 yillarda O‘zbekiston Respublikasini innovatsion rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5544-sonli Farmoni.

14. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 8 oktabr “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida” gi PF-5847-sonli Farmoni.

15. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 29 oktabr “Ilm-fanni 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-6097-sonli Farmoni.

16. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyevning 2020 yil 25 yanvardagi Oliy Majlisga Murojaatnomasi.

17. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 23 sentabr “Oliy ta’lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi 797-sonli Qarori

### **III. Махсус адабиётлар**

1. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari. Oliy o‘quvyurtlari uchun darslik. –T.: Fan va texnologiya, 2015.

2. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va identifikatsiyalash. Oliy o‘quvyurtlari uchun o‘quv qo‘llanma. –T.: Fan va texnologiya, 2019.

3. Luigi Bocola Identifying Neutral Technology Shocks. University of Pennsylvania, 2014

4. Gartman T.N., Klushin D.V. Основы компьютерного моделирования химико-

texnologicheskix protsessov: Ucheb. posobie dlya vuzov. – M.:IKS “Akademkniga”, 2006. 416s.

5. Kafarov V.V., Glebov M.B. Matematicheskoe modelirovanie osnovnykh protsessov ximicheskix proizvodstv. – M.: Vysshaya shkola, 1991.– 400

6. Dvoretzkiy S.I., Yegorov A.F., Dvoretzkiy D.S. Kompyuternoe modelirovanie i optimizatsiya texnologicheskix protsessov i oborudovaniya: Ucheb. posobie. Tambov: Izd-vo Tamb. gos. texn. un-ta, 2003. 224 s

7. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P., Bazarov M.B., Xalilov J.A. Boshqarish sistemalarini kompyuterli modellashtirish asoslari. Oliy o‘quv yurtlari uchun o‘quv qo‘llanma. –N.: Navoiy-Gold-Serves, 2009.

8. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P., Gulyamov Sh.M. Osnovy protsessov razdeleniya mnogokomponentnykh smesey. – T: “Universitet”, 2017.

9. Yusupbekov N.R., Gulyamov Sh.M., Muxitdinov D.P., Avazov Yu.Sh. Matematicheskoe modelirovanie protsessov rektifikatsii mnogokomponentnykh smesey. –T.: TashGTU, 2014.

#### **IV.Интернет сайтлар**

1. <http://edu.uz> – Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги
2. <http://lex.uz> – Ўзбекистон Республикаси Қонун ҳужжатлари маълумотлари миллий базаси
3. <http://bimm.uz> – Олий таълим тизими педагог ва раҳбар кадрларини қайта тайёрлаш ва уларнинг малакасини оширишни ташкил этиш бош илмий-методик маркази
4. <http://ziyonet.uz> – Таълим портали Ziyonet
5. <http://natlib.uz> – Алишер Навоий номидаги Ўзбекистон Миллий кутубхонаси
6. [www.infocom.uz](http://www.infocom.uz)- электрон журнал
7. <http://bigc.ru/theory/books/kvisam/glava4.php>
8. [http://www.big.spb.ru/publications/bigspb/process/tehprocompany/tehnolog\\_process\\_opisaniya\\_comp\\_part\\_3.shtml](http://www.big.spb.ru/publications/bigspb/process/tehprocompany/tehnolog_process_opisaniya_comp_part_3.shtml)
9. [http://tekhnosfera.com/identifikatsiya-dinamiki-tehnologicheskix-protsessov-na-osnove-modeley-nchetkoy-logiki](http://tekhnosfera.com/identifikatsiya-dinamiki-tehnologicheskix-protsessov-na-osnove-modeley-nechetkoy-logiki)