

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

**ISHLAB CHIQRISH
MUHANDISLIGI**

2026

***AVTOMATLASHTIRISHNING
DOLZARB MUAMMOLARI VA
ZAMONAVIY YUTUQLARI***

Mazkur o‘quv-uslubiy majmua Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2024-yil 27-dekabrda 485-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv dasturi va o‘quv rejasiga muvofiq ishlab chiqilgan.

Tuzuvchi: TDTU, “Ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish” kafedrasida professori texnika fanlari doktori (DSc), dots. **Ruziev U.A.**
TDTU, “Ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish” kafedrasida dotsenti, PhD, dots. **Iskandarov Z.E.**,
TDTU, “Ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish” kafedrasida dotsenti, PhD, dots. **Shodiyev M.K.**

Taqrizchi: TDTU “Ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish” kafedrasida mudiri, t.f.d., prof. **A.N.Yusupbekov**

O‘quv-uslubiy majmua Toshkent davlat texnika universiteti Kengashining 2025-yil 29-yanvardagi 5-sonli qarori bilan nashrga tavsiya qilingan.

MUNDARIJA

| | | |
|------|----------------------------------------------------------------|-----|
| I. | Ishchi dastur..... | 5 |
| II. | Modulni o‘qitishda foydalaniladigan interfaol ta’lim metodlari | 11 |
| III. | Nazariy materiallar | 22 |
| IV. | Amaliy mashg‘ulot materiallari..... | 51 |
| V. | Keyslar banki | 68 |
| VI. | Glossariy | 73 |
| VII. | Adabiyotlar ro‘yxati | 318 |

Kirish

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 8 oktabrdagi PF-5847-son Farmoni bilan tasdiqlangan “O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi”da oliy ta’lim jarayonlariga raqamli texnologiyalar va zamonaviy o‘qitish usullarni joriy etish, yoshlarni ilmiy faoliyatga keng jalb etish, korrupsiyaga qarshi kurashish, muhandislik-texnik ta’lim yo‘nalishlarida tahsil olayotgan talabalar ulushini oshirish, kredit-modul tizimini joriy etish, o‘quv rejalarida amaliy ko‘nikmalarni oshirishga qaratilgan mutaxassislik fanlari bo‘yicha amaliy mashg‘ulotlar ulushini oshirish bo‘yicha aniq vazifalar belgilab berilgan.

Dastur O‘zbekiston Respublikasining 2020 yil 23 sentyabrda tasdiqlangan “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevral “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-4947-son, 2019 yil 27 avgust “Oliy ta’lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to‘g‘risida”gi PF-5789-son, 2019 yil 8 oktyabr “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5847-son va 2020 yil 29 oktyabrdagi “Ilm-fanni 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-6097-sonli Farmonlari hamda O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 23 sentyabr “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 hamda 2021 yil 28 yanvardagi “Intellektual mulk ob‘ektlarini muhofaza qilish tizimini takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4965-sonli O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti qarorlarida belgilangan belgilangan ustuvor vazifalar mazmunidan kelib chiqqan holda tuzilgan bo‘lib, u oliy ta’lim muassasalari pedagog kadrlarining kasb mahorati hamda innovatsion kompetentligini rivojlantirish, sohaga oid ilg‘or xorijiy tajribalar, yangi bilim va malakalarni o‘zlashtirish, shuningdek amaliyotga joriy etish ko‘nikmalarini takomillashtirishni maqsad qiladi.

Shuningdek, mamlakatimizning barcha sohalarida islohotlarni amalga oshirish, odamlarning dunyoqarashini o‘zgartirish, yetuk va zamon talabiga javob beradigan mutaxassis kadrlarni tayyorlashni hayotning o‘zi taqozo etmoqda. Respublikada ta’lim tizimini mustahkamlash, uni zamon talablari bilan uyg‘unlashtirishga katta ahamiyat berilmoqda. Bunda mutaxassis kadrlarni tayyorlash, ta’lim va tarbiya berish tizimi islohatlar talablari bilan chambarchas bog‘langan bo‘lishi muhim ahamiyat kasb etadi. Zamon talablariga javob bera oladigan mutaxassis kadrlarni tayyorlash, Davlat talablari asosida ta’lim va uning barcha tarkibiy tuzilmalarini takomillashtirib borish oldimizda turgan dolzarb

masalalardan biridir.

Ushbu dasturda xorijiy davlatlardagi sanoat korxonalarida texnologik jarayonlari va ishlab chiqarishni modellashtirish, hamda avtomatlashtirish, va nazorat qilishda zamonaviy sun'iy intellekt texnologiyalarining qo'llanilish masalalarining nazariy va amaliy asoslarini bayon etilgan.

Bugungi kunga qadar sanoat korxonalaridagi texnologik jarayonlardan tortib maishiy hayotdagi jarayon va qurilmalar keng qamrovli avtomatlashtirishirilib kelinmoqda. Endilikda esa sanoat ishlab chiqarishining texnologik jarayonlarini modellashtirish va avtomatlashtirishda zamonaviy avtomatik boshqarishning nazariy va algoritmik asoslari va amalga oshirish usullari, ishlab chiqarishni boshqarishda qarorlarni qabul qilish, murakkab texnologik jarayonlarni bugungi zamonaviy matematik ifodalash usullarining qo'llanilishi istiqbolli bo'lib bormoqda.

Bu holatlar zamonaviy avtomatik boshqarishning nazariy va algoritmik asoslari va amalga oshirish usullari, ishlab chiqarishda qarorlarni qabul qilish, murakkab texnologik jarayonlarni bugungi zamonaviy matematik ifodalash jarayonlarning asoslarini har tomonlama nazariy va amaliy jihatdan o'rganish va tahlil etishni dolzarbligidan dalolat beradi.

Modulning maqsadi va vazifalari

Modulning maqsadi: sanoat ishlab chiqarishining texnologik jarayonlarini modellashtirish va avtomatlashtirishda zamonaviy avtomatik boshqarishning nazariy va algoritmik asoslari va amalga oshirish usullari, ishlab chiqarishni boshqarishda qarorlarni qabul qilish, murakkab texnologik jarayonlarni bugungi zamonaviy matematik ifodalash usullari bo'yicha bilim, ko'nikma va malakalarni to'g'risida ko'nikma va malakalarini tarkib toptirish.

Modulning vazifalari:

- "Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish" yo'nalishida pedagog kadrlarning zamonaviy kasbiy bilim, ko'nikma, malakalarini takomillashtirish va rivojlantirish;
- pedagoglarning ijodiy-innovatsion faollik darajasini oshirish;
- mutaxassislik fanlarini o'qitish jarayoniga zamonaviy axborot-kommunikasiya texnologiyalari va xorijiy tillarni samarali tatbiq etilishini ta'minlash;
- mutaxassislik 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 bilim, ko'nikma, malaka va kompetensiyalariga qo'yiladigan talablar

- "Ishlab chiqarish sohasidagi dolzarb muammolari va zamonaviy yutuqlari" modulini o'zlashtirish jarayonida amalga oshiriladigan masalalar doirasida:

- Tinglovchi:

- o'lchash turlarini;
- o'lchash usullarini;
- o'lchash xatoliklarini;
- muntazam xatoliklar va ularni kamaytirish usullarini;
- texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning asosiy muammolari;
- texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning rivojlanish tendensiyasi;
- avtomatlashtirish sohasidagi respublikamizdagi ijtimoiy – iqtisodiy islohotlar natijalari, hududiy muammolar;
- texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish, kompyuter texnikasi orqali boshqarish, fan, texnika va texnologiyalarning eng so'nggi yutuqlari;
- texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning zamonaviy usullari;
- texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning texnik va dasturiy ta'minoti;
- texnologik jarayonlarni modellashtirishning asosiy muammolari;
- texnologik jarayonlarni modellashtirishning rivojlanish tendensiyasi;
- 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;
- avtomatik boshqarishning bugungi kundagi zamonaviy matematik apparat va usullarini haqida **bilimlarga ega bo'lishi**;
- EHM da texnologik obyektlar va ularni boshqarish tizimlarini identifikatsiyalash va modellashtirish masalalari yechish;
- tipik texnologik jarayonlarning statik va dinamik modellarini tuzish;
- texnologik jarayonlar uchun optimal sharoitlarni aniqlash va ularni amaliyotda qo'llay olish;
- obyektlar 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;
- texnologik jarayonlarni murakkab sharoitlarda adaptiv, robust va optimal boshqarish sistemalarini sintez qilish **ko'nikmalarini egallashi**;
- o'lchash usullarini tahlil qilish;
- texnologik jarayonlarni boshqarish obyekti sifatida tahlil qilish;

- texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning funksional sxemalarini tuzish;
- rostlash qonuni va rostlagichlarni tanlash va sozlash parametrlarining optimal qiymatlarini aniqlash;
- texnologik jarayonlarni matematik ifodalash;
- avtomatik rostlagichlarni hisoblash;
- avtomatik boshqarish sistemalarining sifatini baholash;
- zamonaviy boshqarish algoritmlarini qo‘llay bilish;
- immitatsion modellashtirish usulari va dasturlarida ishlash **malakalariga** ega bo‘lishi
- o‘lchash xatoliklarini kelib chiqish sabablarini aniqlash va ularni bartaraf etish;
- texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish;
- optimallashtirish masalalarini yechish usullarini amalda qo‘llash;
- texnik o‘lchashdagi xatoliklarning oldini olish;
- termoelektr materiallar va termoelektr o‘zgartkichlarni tahlil qilish
- dinamik jarayonlarni matematik ifodalash;
- holat parametrlari fazosi unumidan foydalanish;
- boshqaruv obyektlarning dinamik modellarini ko‘rish ;
- raqamli boshqaruv algoritmlari;
- texnologik jarayonlarni neyro-noqat’iy texnologiyalarga asoslangan usullarda modellashtirish;
- immitatsion modellashtirish usulari va dasturlarida ishlash **kompetensiyalarni egallashi lozim.**

Modulni tashkil etish va o‘tkazish bo‘yicha tavsiyalar

“Ishlab chiqarish sohasigidagi dolzarb muammolar va zamonaviy yutuqlari” moduli ma’ruza, amaliy mashg‘ulotlar hamda ko‘chma mashg‘ulot shaklida olib boriladi.

- kursni o‘qitish jarayonida ta’limning zamonaviy metodlari, axborot-kommunikatsiya texnologiyalari qo‘llanilishi, shuningdek, ma’ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida taqdimot va elektron-didaktik texnologiyalarni;

- o‘tkaziladigan amaliy mashg‘ulotlarda texnik vositalardan, blits-so‘rovlar, aqliy hujum, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, va boshqa interfaol ta’lim metodlarini qo‘llash nazarda tutiladi.

Modulning oliy ta’limdagi o‘rni

Modulni o‘zlashtirish orqali tinglovchilar ta’lim va tarbiya jarayonlarini normativ-huquqiy asoslarini o‘rganish, ularni tahlil etish, amalda qo‘llash va baholashga doir kasbiy kompetentlikka ega bo‘ladila

MODUL BO‘YICHA SOATLAR TAQSIMOTI

| № | Modul tarkibi | Auditoriyadagi o‘quv yuklamasi | | | |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------|-------------------|--------------------|
| | | Jumladan: | | | |
| | | Jami | Nazariy | Amaliy mashg‘ulot | Ko‘chma mashg‘ulot |
| 1. | Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va nazorat qilishning tarixi va rivojlanish tendensiyalari. Avtomatik boshqarish tizimlarining tasnifi. Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishni tizimli tahlil qilish. | 4 | 2 | | 2 |
| 2. | Sanoat korxonalarida qo‘llaniladigan texnologik o‘lchashlar va asboblari. O‘lchash turlari va usullari. O‘lchash xatoliklari va o‘lchash noaniqligi, ularning sinflanishi. Muntazam xatoliklar va ularni kamaytirish usullari. O‘lchash xatoligi va o‘lchash noaniqligi orasidagi bog‘liqlik. | 6 | 2 | 2 | 2 |
| 3. | Texnologik jarayonlarda haroratni nazorta qilish. Temperatura o‘lchash vositalarining tasnifi. Harorat shkalasi. Harorat o‘lchash vositalarining tasnifi. Kengayish termometrlari. Suyuqlik, dilatometrik va bimetalli termometrlar. Termoelektrik termometrlar. Potensiometrlar. Avtomatik potensiometrlar. Termoelektr materiallar va termoelektr o‘zgartkichlar. | 8 | 2 | 4 | 2 |
| 4. | Ishlab chiqarishdagi texnologik jihozlari, raqamli-dasturiy boshqariladigan kontrollerlar, moslanuvchan ishlab chiqarish, montaj va sozlash, ishlab chiqarishni rejalashtirish. Ishlab chiqarishda qarorlarini qabul qilish, ishlab chiqarishni tashkiliy-boshqaruv modellarini shakllantirish, ishlab chiqarish jarayonlarini modellashtirish va ishlab chiqarish tashkilotlarish | 4 | 2 | | 2 |
| 5. | Murakkab texnologik jarayonlarni bugungi zamonaviy matematik ifodalash usullari. Holat fazosi usuli, matritsalar yordamida ifodalash. Uzatish funksiyasi matritsalarini ko‘rinishida ifodalash. Noqat’iy to‘plamlar nazariyasidan foydalanish. | 6 | 2 | 4 | |

| | | | | | |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Noqat'iy mantiq usuli. Neyron turilaridan foydalanish. | | | | |
| 6. | Zamonaviy avtomatik boshqarishning nazariy va algoritmik asoslari va amalga oshirish usullari. Zamonaviy avtomatik boshqarishning nazariy va algoritmik asoslari va amalga oshirish usullari. Xolat rostlagichlari, adaptiv rostlagichlar, robust rostlagichlar, noqat'iy rostlagichlar, neyro-noqat'iy rostlagichlar, intellektual rostlagichlar. | 8 | 2 | 4 | 2 |
| 7 | Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslarining tarixi va rivojlanish tendensiyalari. Sanoat korxonalarida ishlatiladigan kompyuterli modellashtirish va optimallashtirish asoslari to'g'risida umumiy ma'lumot. Tizimlarni modellashtirish turlarining klassifikatsiyasi. Kimyoviy-texnologik jarayonlarni tizimli tahlil qilish. | 6 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | Sanoat korxonalarida qo'llaniladigan kimyoviy-texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari va prinsiplari. Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarni 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. | 4 | 2 | 2 | |
| | Jami: | 46 | 16 | 18 | 12 |

NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-mavzu: Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va nazorat qilishning tarixi va rivojlanish tendensiyalari.

Avtomatik boshqarish tizimlarining tasnifi. Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishni tizimli tahlil qilish.

2-mavzu: Sanoat korxonalarida qo'llaniladigan texnologik o'lchashlar va asboblari. O'lchash turlari va usullari.

O'lchash xatoliklari va o'lchash noaniqligi, ularning sinflanishi. Muntazam xatoliklar va ularni kamaytirish usullari. O'lchash xatoligi va o'lchash noaniqligi orasidagi bog'liqlik.

3-mavzu: Texnologik jarayonlarda haroratni nazorta qilish. Temperatura o'lchash vositalarining tasnifi. Harorat shkalasi.

Harorat o'lchash vositalarining tasnifi. Kengayish termometrlari. Suyuqlikli, dilatometrik va bimetalli termometrlar. Termoelektrik termometrlar. Potensiometrlar. Avtomatik potensiometrlar. Termoelektr materiallar va termoelektr o'zgartkichlar.

4-mavzu: Ishlab chiqarishdagi texnologik jihozlari, raqamli-dasturiy boshqariladigan kontrollerlar, moslanuvchan ishlab chiqarish, montaj va sozlash, ishlab chiqarishni rejalashtirish.

Ishlab chiqarishda qarorlarini qabul qilish, ishlab chiqarishni tashkiliy-boshqaruv modellarini shakllantirish, ishlab chiqarish jarayonlarini modellashtirish va ishlab chiqarish tashkilotlarish

5-mavzu: Murakkab texnologik jarayonlarni bugungi zamonaviy matematik ifodalash usullari.

Holat fazosi usuli, matritsalar yordamida ifodalash. Uzatish funksiyasi matritsalarini ko'rinishida ifodalash. Noqat'iy to'plamlar nazariyasidan foydalanish. Noqat'iy mantiq usuli. Neyron turilaridan foydalanish.

6-mavzu: Zamonaviy avtomatik boshqarishning nazariy va algoritmik asoslari va amalga oshirish usullari.

Zamonaviy avtomatik boshqarishning nazariy va algoritmik asoslari va amalga oshirish usullari. Xolat rostagichlari, adaptiv rostagichlar, robust rostagichlar, noqat'iy rostagichlar, neyro-noqat'iy rostagichlar, intellektual rostagichlar.

7-mavzu: Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslarining tarixi va rivojlanish tendensiyalari.

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

8-mavzu: Sanoat korxonalarida qo'llaniladigan kimyoviy-texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari va prinsiplari.

Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarni 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.

AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-amaliy mashg'ulot: O'lchash xatoliklari va o'lchash noaniqligi. (2 soat)

O'lchash xatoliklari va o'lchash noaniqligi, ularning sinflanishi. O'lchash xatoliklarini ifodalash usullar. Tasodifiy xatoliklar. Muntazam xatoliklar va ularni kamaytirish usullari. O'lchash xatoligi va o'lchash noaniqligi orasidagi bog'liqlik.

2-amaliy mashg‘ulot: Texnologik jarayonlarda haroratni nazorta qilish. (4 soat) Kengayish termometrlari, suyuqlikli, dilatometrik va bimetalli termometrlarni hisoblash. Termoelektrik va qarshilikli termometrlarni hisoblash.

3-amaliy mashg‘ulot: Murakkab texnologik jarayonlarni matematik ifodalash usullari (4 soat). Holat fazosi usuli, matritsalar yordamida ifodalash. Uzatish funksiyasi matritsalarini ko‘rinishida ifodalash. Noqat‘iy to‘plamlar nazariyasidan foydalanish. Noqat‘iy mantiq usuli. Neyron turilaridan foydalanish.

4-amaliy mashg‘ulot: Zamonaviy avtomatik boshqarishning nazariy va algoritmik asoslari va amalga oshirish usullari (4 soat). Zamonaviy avtomatik boshqarishning nazariy va algoritmik asoslari va amalga oshirish usullari. Xolat rostagichlari, adaptiv rostagichlar, robust rostagichlar, noqat‘iy rostagichlar, neuro-noqat‘iy rostagichlar, intellektual rostagichlar.

5- amaliy mashg‘ulot: Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari (2 soat). Texnologik jarayonlarni tizimli tahlil qilish. Optimallashtirish masalasining qo‘yilishi.

6- amaliy mashg‘ulot: Kimyoviy-texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari va prinsiplari. (2 soat). Ideal aralashuv gidrodinamik modeli, ideal o‘rin almashuv gidrodinamik modeli hamda diffuzion model bilan ifodalanuvchi jarayonlarning dinamik va statik rejimlarini matematik ifodalash.

O‘QITISH SHAKLLARI

- Mazkur modul bo‘yicha quyidagi o‘qitish shakllaridan foydalaniladi:
- ma‘ruzalar, amaliy mashg‘ulotlar (ma‘lumotlar va texnologiyalarni anglab olish, motivatsiyani rivojlantirish, nazariy bilimlarni mustahkamlash);
- davra suhbatlari (ko‘rilayotgan loyiha yechimlari bo‘yicha taklif berish qobiliyatini rivojlantirish, eshitish, idrok qilish va mantiqiy xulosalar chiqarish);
- bahs va munozaralar (loyihalar yechimi bo‘yicha dalillar va asosli argumentlarni taqdim qilish, eshitish va muammolar yechimini topish qobiliyatini rivojlantirish).

FOYDALANILGAN 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. Мирзиёев Ш.М. Нияти улуғ халқнинг иши ҳам улуғ, ҳаёти ёруғ ва келажаги фаровон бўлади. 3-жилд.– Т.: “Ўзбекистон”, 2019. – 400 б.
5. Мирзиёев Ш.М. Миллий тикланишдан – миллий юксалиш сари.

II. Normativ-huquqiy hujjatlar:

6. O‘zbekiston Respublikasining Konstitutsiyasi.–Т.:O‘zbekiston, 2018.
7. O‘zbekiston Respublikasining 2020 yil 23 sentabrda qabul qilingan “Ta’lim to‘g‘risida”gi O‘RQ-637-sonli Qonuni.
8. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevral “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida”gi 4947-sonli Farmoni.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 8 октябрь “Ўзбекистон Республикаси олий таълим тизимини 2030 йилгача ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида”ги ПФ-5847-сонли Фармони.
13. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyevning 2020 yil 25 yanvardagi Oliy Majlisga Murojaatnomasi.
14. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2001 yil 16 avgustdagi “Oliy ta’limning davlat ta’lim standartlarini tasdiqlash to‘g‘risida”gi 343-sonli Qarori.
15. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2015 yil 10 yanvardagi “Oliy ta’limning Davlat ta’lim standartlarini tasdiqlash to‘g‘risida”gi 2001 yil 16 avgustdagi “343-sonli qaroriga o‘zgartirish va qo‘shimchalar kiritish haqida”gi 3-sonli qarori.

III. Maxsus adabiyotlar:

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. –Т.: Fan va texnologiya, 2019.
2. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va identifikatsiyalash. Oliy o‘quv yurtlari uchun o‘quv qo‘llanma. – Т.: 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-технологических процессов: Учеб. пособие для вузов. – М.: ИКС “Академкнига”, 2006. 416с.

5. Richard C. Dorf, Robert H. Bishop Modern Control Systems , Twelfth edition 2010. – 890 s.

6. Cecil L. Smith. Practical Process Control: Tuning and Troubleshooting. USA: Wiley, 2009. - 448 p.

7. Alan S. Moris, Reza Langari. Measurement and Instrumentation. -UK: Academic Press, 2016. -697p.

8. De Silva, Clarence W., Sensors and actuators : Engineering System Instrumentation, Taylor & Francis, 2015, 831p. ISBN 13: 978-1-4665-0682-4.

9. Nathan Ida, Sensors, Actuators, and Their Interfaces: A Multidisciplinary Introduction, SciTech Publishing, 2014, 784p, ISBN 13: 978-1-6135-3006-1

10. K. Iwansson, G. Sinapius, W. Hoornaert, S. Middelhoek, Measuring Current Voltage and Power Handbook of Sensors and Actuators Vol 7, Elsevier Science, 1999, 233p, ISBN 13: 978-0-4447-2001-6.

11. Stefan Johann Rupitsch, Piezoelectric Sensors and Actuators, Springer Berlin, 2019, 566p, ISBN 13: 978-3-662-57534-5.

IV. Internet saytlar:

16. <http://edu.uz> – O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi.

17. <http://lex.uz> – O‘zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma’lumotlari milliy bazasi.

18. <http://bimm.uz> – Oliy ta’lim tizimi pedagog va rahbar kadrlarini qayta tayyorlash va ularning malakasini oshirishni tashkil etish Bosh ilmiy-metodik markazi.

19. <http://ziyonet.uz> – Ta’lim portali Ziyonet.

20. <http://natlib.uz> – Alisher Navoiy nomidagi O‘zbekiston Milliy kutubxonasi.

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

“Aqliy hujum” metodi - biror muammo bo‘yicha ta’lim oluvchilar tomonidan bildirilgan erkin fikr va mulohazalarni to‘plab, ular orqali ma’lum bir yechimga kelinadigan metoddir. “Aqliy hujum” metodining yozma va og‘zaki shakllari mavjud. Og‘zaki shaklida ta’lim beruvchi tomonidan berilgan savolga ta’lim oluvchilarning har biri o‘z fikrini og‘zaki bildiradi. Ta’lim oluvchilar o‘z javoblarini aniq va qisqa tarzda bayon etadilar. Yozma shaklida esa berilgan savolga ta’lim oluvchilar o‘z javoblarini qog‘oz kartochkalarga qisqa va barchaga ko‘rinarli tarzda yozadilar. Javoblar doskaga (magnitlar yordamida) yoki «pinbord» doskasiga (ignalar yordamida) mahkamlanadi. “Aqliy hujum” metodining yozma shaklida javoblarni ma’lum belgilar bo‘yicha guruhlab chiqish imkoniyati mavjuddir. Ushbu metod to‘g‘ri va ijobiy qo‘llanilganda shaxsni erkin, ijodiy va nostandart fikrlashga o‘rgatadi. “Aqliy hujum” metodidan foydalanilganda ta’lim oluvchilarning barchasini jalb etish imkoniyati bo‘ladi, shu jumladan ta’lim oluvchilarda muloqot qilish va munozara olib borish madaniyati shakllanadi. Ta’lim oluvchilar o‘z fikrini faqat og‘zaki emas, balki yozma ravishda bayon etish mahorati, mantiqiy va tizimli fikr yuritish ko‘nikmasi rivojlanadi. Bildirilgan fikrlar baholanmasligi ta’lim oluvchilarda turli g‘oyalar shakllanishiga olib keladi. Bu metod ta’lim oluvchilarda ijodiy tafakkurni rivojlantirish uchun xizmat qiladi. “Aqliy hujum” metodi ta’lim beruvchi tomonidan qo‘yilgan maqsadga qarab amalga oshiriladi:

1. Ta’lim oluvchilarning boshlang‘ich bilimlarini aniqlash maqsad qilib qo‘yilganda, bu metod darsning mavzuga kirish qismida amalga oshiriladi.

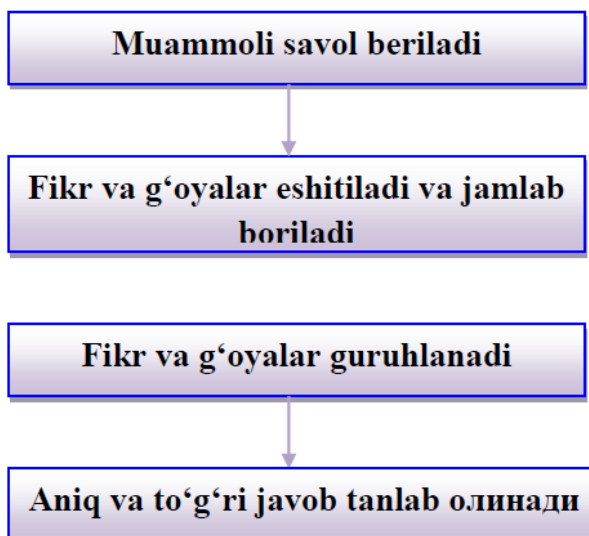
2. Mavzuni takrorlash yoki bir mavzuni keyingi mavzu bilan bog‘lash maqsad qilib qo‘yilganda -yangi mavzuga o‘tish qismida amalga oshiriladi.

3. O‘tilgan mavzuni mustahkamlash maqsad qilib qo‘yilganda-mavzudan so‘ng, darsning mustahkamlash qismida amalga oshiriladi.

“Aqliy hujum” metodini qo‘llashdagi asosiy qoidalar:

1. Bildirilgan fikr-g‘oyalar muhokama qilinmaydi va baholanmaydi.
2. Bildirilgan har qanday fikr-g‘oyalar, ular hatto to‘g‘ri bo‘lmasa ham inobatga olinadi.
3. Har bir ta’lim oluvchi qatnashishi shart.

Quyida “Aqliy hujum” metodining tuzilmasi keltirilgan.



“Aqliy hujum” metodining tuzilmasi

“Aqliy hujum” metodining bosqichlari quyidagilardan iborat:

1. Ta’lim oluvchilarga savol tashlanadi va ularga shu savol bo‘yicha o‘z javoblarini (fikr, g‘oya va mulohaza) bildirishlarini so‘raladi;
2. Ta’lim oluvchilar savol bo‘yicha o‘z fikr-mulohazalarini bildirishadi;
3. Ta’lim oluvchilarning fikr-g‘oyalari (magnitafonga, videotasmaga, rangli qog‘ozlarga yoki doskaga) to‘planadi;
4. Fikr-g‘oyalar ma’lum belgilar bo‘yicha guruhlanadi;
5. Yuqorida qo‘yilgan savolga aniq va to‘g‘ri javob tanlab olinadi.

“Aqliy hujum” metodining afzalliklari:

- natijalar baholanmasligi ta’lim oluvchilarda turli fikr-g‘oyalarning shakllanishiga olib keladi;
- ta’lim oluvchilarning barchasi ishtirok etadi;
- fikr-g‘oyalar vizuallashtirilib boriladi;
- ta’lim oluvchilarning boshlang‘ich bilimlarini tekshirib ko‘rish imkoniyati mavjud;
- ta’lim oluvchilarda mavzuga qiziqish uyg‘otadi.

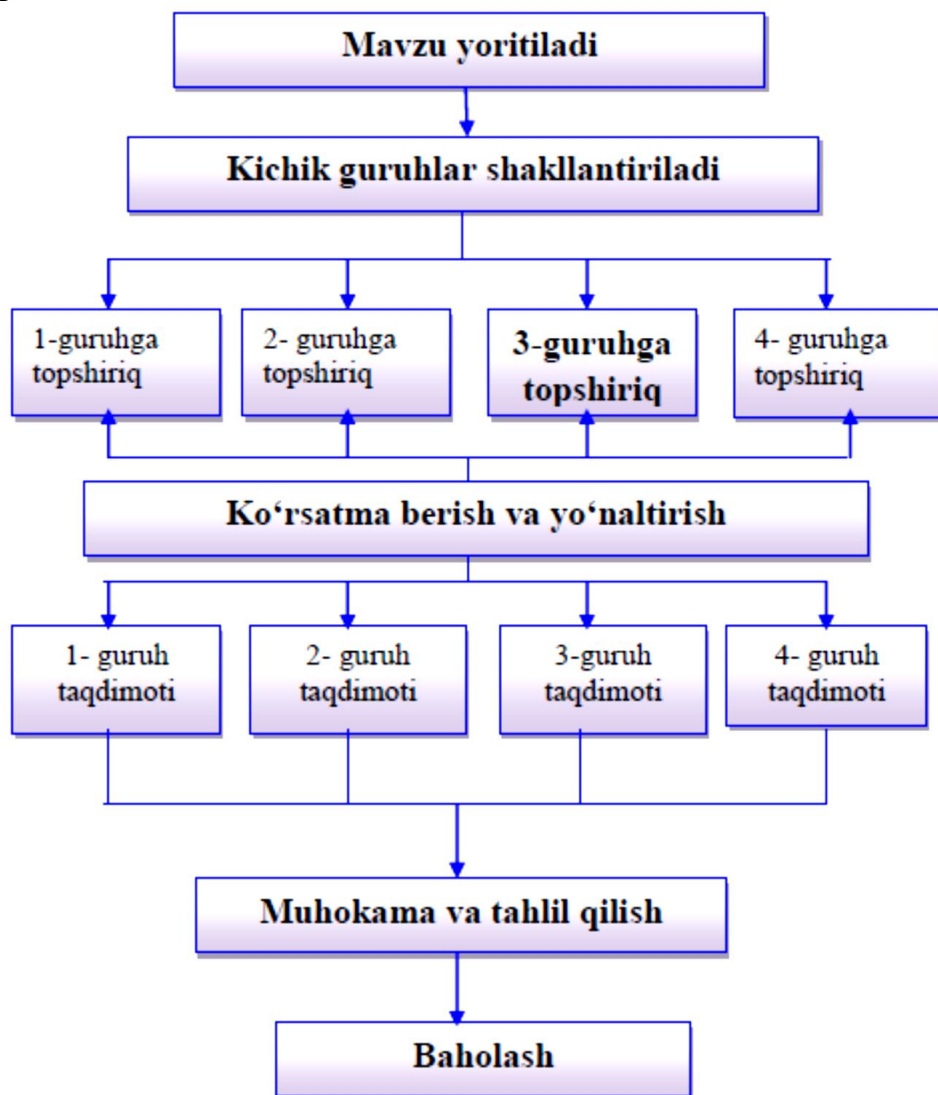
“Aqliy hujum” metodining kamchiliklari:

- ta’lim beruvchi tomonidan savolni to‘g‘ri qo‘ya olmaslik;
- ta’lim beruvchidan yuqori darajada eshitish qobiliyatining talab etilishi.

“Kichik guruhlarda ishlash” metodi - ta’lim oluvchilarni faollashtirish maqsadida ularni kichik guruhlariga ajratgan holda o‘quv materialini o‘rganish yoki berilgan topshiriqni bajarishga qaratilgan darsdagi ijodiy ish.

Ushbu metod qo'llanilganda ta'lim oluvchi kichik guruhlarda ishlab, darsda faol ishtirok etish huquqiga, boshlovchi roliga bo'lishga, bir-biridan o'rganishga va turli nuqtai- nazarlarni qadrlash imkoniga ega bo'ladi.

“Kichik guruhlarda ishlash” metodi qo'llanilganda ta'lim beruvchi boshqa interfaol metodlarga qaraganda vaqtni tejash imkoniyatiga ega bo'ladi. Chunki ta'lim beruvchi bir vaqtning o'zida barcha ta'lim oluvchilarni mavzuga jalb eta oladi va baholay oladi. Quyida “Kichik guruhlarda ishlash” metodining tuzilmasi keltirilgan.



“Kichik guruhlarda ishlash” metodining tuzilmasi

“Kichik guruhlarda ishlash” metodining bosqichlari quyidagilardan iborat:

1. Faoliyat yo'nalishi aniqlanadi. Mavzu bo'yicha bir-biriga bog'liq bo'lgan masalalar belgilanadi.
2. Kichik guruhlar belgilanadi. Ta'lim oluvchilar guruhlariga 3-6 kishidan bo'linishlari mumkin.
3. Kichik guruhlar topshiriqni bajarishga kirishadilar.
4. Ta'lim beruvchi tomonidan aniq ko'rsatmalar beriladi va yo'naltirib turiladi.

5. Kichik guruhlar taqdimot qiladilar.
6. Bajirilgan topshiriqlar muhokama va tahlil qilinadi.
7. Kichik guruhlar baholanadi.

«Kichik guruhlarda ishlash» metodining afzalligi:

- o‘qitish mazmunini yaxshi o‘zlashtirishga olib keladi;
- muloqotga kirishish ko‘nikmasining takomillashishiga olib keladi;
- vaqtni tejash imkoniyati mavjud;
- barcha ta‘lim oluvchilar jalb etiladi;
- o‘z-o‘zini va guruhlararo baholash imkoniyati mavjud bo‘ladi.

«Kichik guruhlarda ishlash» metodining kamchiliklari:

- ba‘zi kichik guruhlarda kuchsiz ta‘lim oluvchilar bo‘lganligi sababli kuchli ta‘lim oluvchilarning ham past baho olish ehtimoli bor;
- barcha ta‘lim oluvchilarni nazorat qilish imkoniyati past bo‘ladi;
- guruhlararo o‘zaro salbiy raqobatlar paydo bo‘lib qolishi mumkin;
- guruh ichida o‘zaro nizo paydo bo‘lishi mumkin.

“Davra suhbatı” metodi – aylana stol atrofida berilgan muammo yoki savollar yuzasidan ta‘lim oluvchilar tomonidan o‘z fikr-mulohazalarini bildirish orqali olib boriladigan o‘qitish metodidir.

“Davra suhbatı” metodi qo‘llanilganda stol-stullarni doira shaklida joylashtirish kerak. Bu har bir ta‘lim oluvchining bir-biri bilan “ko‘z aloqasi”ni o‘rnatib turishiga yordam beradi. Davra suhbatining og‘zaki va yozma shakllari mavjuddir. Og‘zaki davra suhbatida ta‘lim beruvchi mavzuni boshlab beradi va ta‘lim oluvchilardan ushbu savol bo‘yicha o‘z fikr-mulohazalarini bildirishlarini so‘raydi va aylana bo‘ylab har bir ta‘lim oluvchi o‘z fikr-mulohazalarini og‘zaki bayon etadilar. So‘zlayotgan ta‘lim oluvchini barcha diqqat bilan tinglaydi, agar muhokama qilish lozim bo‘lsa, barcha fikr-mulohazalar tinglanib bo‘lingandan so‘ng muhokama qilinadi. Bu esa ta‘lim oluvchilarning mustaqil fikrlashiga va nutq madaniyatining rivojlanishiga yordam beradi.

“Davra suhbatı” metodining tuzilmasi

“Davra suhbatı” metodining bosqichlari quyidagilardan iborat:

1. Mashg‘ulot mavzusi e‘lon qilinadi.
2. Ta‘lim beruvchi ta‘lim oluvchilarni mashg‘ulotni o‘tkazish tartibi bilan tanishtiradi.
3. Har bir ta‘lim oluvchiga bittadan konvert va javoblar yozish uchun guruhda necha ta‘lim oluvchi bo‘lsa, shunchadan “Javoblar varaqalari”ni tarqatilib, har bir javobni yozish uchun ajratilgan vaqt belgilab qo‘yiladi. Ta‘lim oluvchi konvertga va “Javoblar varaqalari”ga o‘z ismi-sharifini yozadi.
4. Ta‘lim oluvchi konvert ustiga mavzu bo‘yicha o‘z savolini yozadi va “Javoblar varaqasi”ga o‘z javobini yozib, konvert ichiga solib qo‘yadi.
5. Konvertga savol yozgan ta‘lim oluvchi konvertni soat yo‘nalishi bo‘yicha yonidagi ta‘lim oluvchiga uzatadi.
6. Konvertni olgan ta‘lim oluvchi konvert ustidagi savolga “Javoblar varaqalari”dan biriga javob yozadi va konvert ichiga solib qo‘yadi hamda yonidagi ta‘lim oluvchiga uzatadi.
7. Konvert davra stoli bo‘ylab aylanib, yana savol yozgan ta‘lim oluvchining o‘ziga qaytib keladi. Savol yozgan ta‘lim oluvchi konvertdagi “Javoblar varaqalari”ni baholaydi.
8. Barcha konvertlar yig‘ib olinadi va tahlil qilinadi. Ushbu metod orqali ta‘lim oluvchilar berilgan mavzu bo‘yicha o‘zlarining bilimlarini qisqa va aniq ifoda eta oladilar. Bundan tashqari ushbu metod orqali ta‘lim oluvchilarni muayyan mavzu bo‘yicha baholash imkoniyati yaratiladi. Bunda ta‘lim oluvchilar o‘zlari bergan savollariga guruhdagi boshqa ta‘lim oluvchilar bergan javoblarini baholashlari va ta‘lim beruvchi ham ta‘lim oluvchilarni ob‘ektiv baholashi mumkin.

“Davra suhbatı” metodining afzalliklari:

- o‘tilgan materialining yaxshi esda qolishiga yordam beradi;
- barcha ta‘lim oluvchilar ishtirok etadilar;
- har bir ta‘lim oluvchi o‘zining baholanishi mas‘uliyatini his etadi;
- o‘z fikrini erkin ifoda etish uchun imkoniyat yaratiladi.

“Davra suhbatı” metodining kamchiliklari:

- ko‘p vaqt talab etiladi;
- ta‘lim beruvchining o‘zi ham rivojlangan fikrlash qobiliyatiga ega bo‘lishi talab etiladi;
- ta‘lim oluvchilarning bilim darajasiga mos va qiziqarli bo‘lgan mavzu tanlash talab etiladi.

Bundan tashqari

- Insert usuli
- Klasterli tahlil
- SWOT-tahlil
- T-jadval
- Venn diagrammasi

- BBB jadvali
- FSMU jadvali
- Sinkveyn usuli
- Interfaol testlar
- Aqliy hujum
- Kichik guruhda ishlash
- Rolli o‘yin
- va h.k. faoliyat turlaridan foydalaniladi.

III. NAZARIY MATERIALLAR

1- Mavzu: Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslarining tarixi va rivojlanish tendensiyalari.

Reja:

- 1. Kirish**
- 2. Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning dastlabki bosqichlari**
 - Mexanizatsiya davri
 - Birinchi avtomatlashtirish tizimlari
- 3. Avtomatlashtirishning rivojlanish bosqichlari**
 - Sanoat inqilobidan keyingi davr
 - Kompyuterlashtirish va dasturlashtirilgan boshqaruv
 - Zamonaviy avtomatlashtirish tizimlari
- 4. Nazorat qilish tizimlarining rivojlanishi**
 - An'anaviy nazorat vositalari
 - Elektron va raqamli nazorat tizimlari
- 5. Kelajak tendensiyalari va istiqbollari**
 - Sun'iy intellekt va mashinasozlikning rivoji
 - IoT va aqlli ishlab chiqarish tizimlari
- 6. Xulosa**

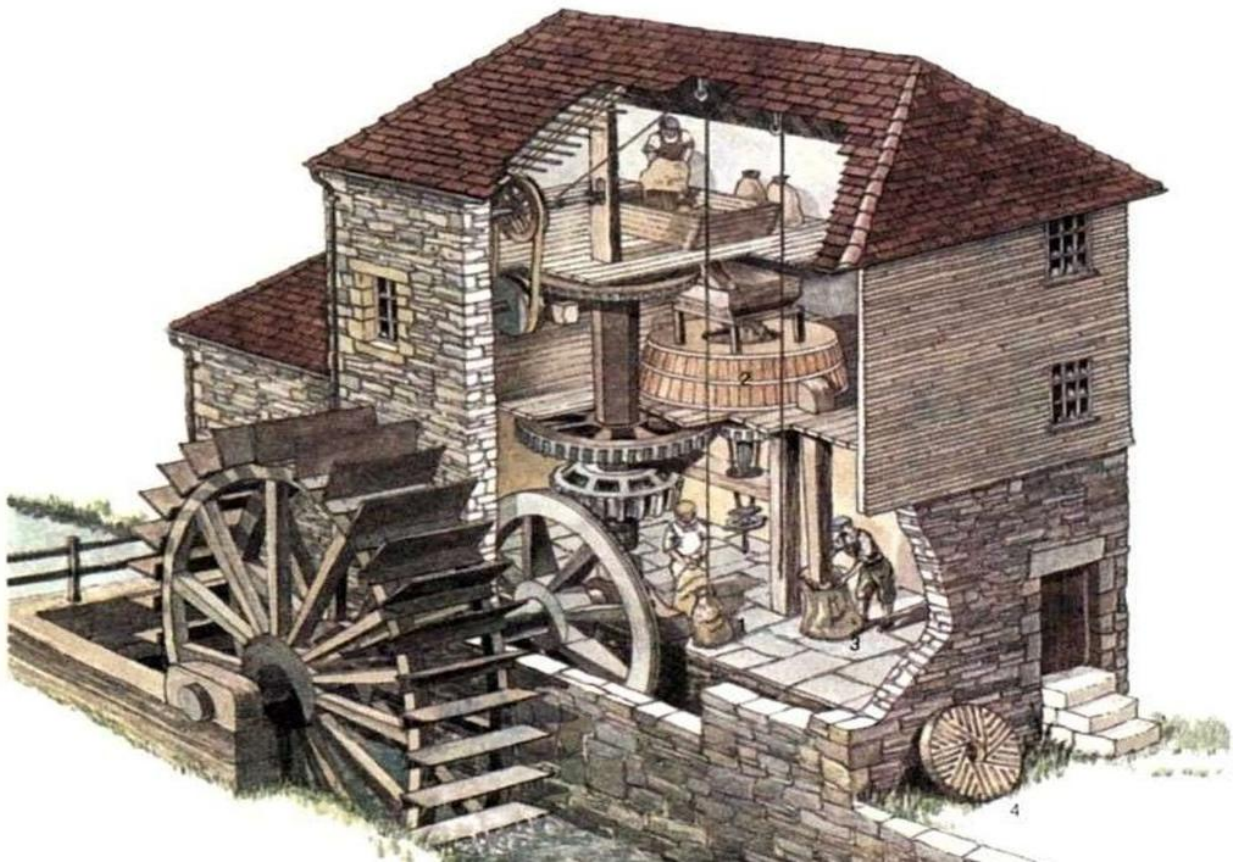
Kirish

Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va nazorat qilish insoniyat faoliyatining ajralmas qismiga aylandi. Bu jarayonlar ish unumdorligini oshirish, sifatni yaxshilash va xavfsizlikni ta'minlashga yordam beradi. Ushbu ma'ruzada avtomatlashtirishning tarixi, rivojlanish bosqichlari va kelajakdagi tendensiyalari haqida so'z yuritimiz.

Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning dastlabki bosqichlari

Mexanizatsiya davri

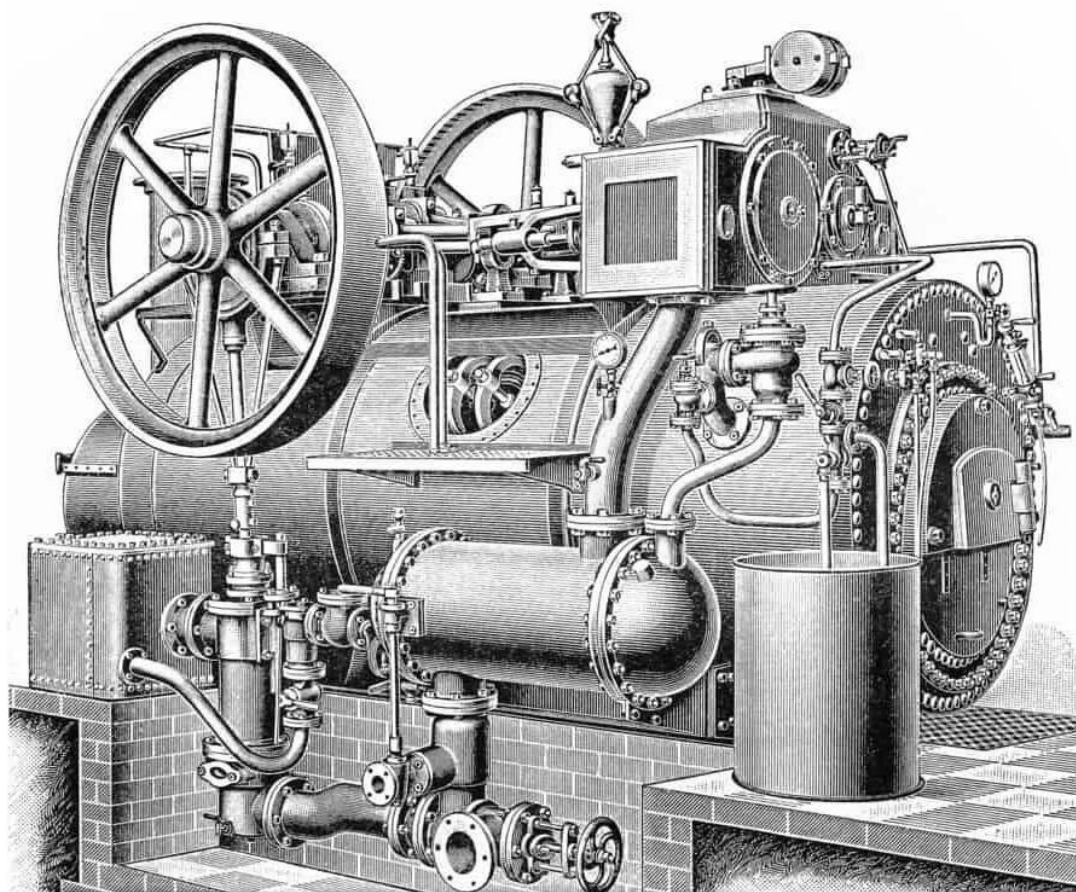
Mexanizatsiya davri insoniyat tarixida texnik taraqqiyotning boshlang'ich bosqichi hisoblanadi. Bu davrda asosiy e'tibor inson mehnatini yengillashtirishga qaratilgan mexanik qurilmalarni yaratishga qaratilgan edi. Mexanizatsiya asosan qishloq xo'jaligi, to'qimachilik va oddiy mexanik asbob-uskunalarni ishlab chiqarishga qaratilgan.



Ilyustratsiya 1: Mexanizatsiya davrini aks ettiruvchi dastlabki tegirmonlar va oddiy mexanizmlar tasviri.

Birinchi avtomatlashtirish tizimlari

Birinchi avtomatlashtirish tizimlari XIX asrning o'rtalarida sanoat inqilobi davrida paydo bo'lgan. Ushbu davrda to'qimachilik sanoati va bug' dvigatellari avtomatlashtirishning asosiy yo'nalishlari hisoblangan. To'qimachilik dastgohlari va birinchi mexanik soatlar bu davrda keng qo'llanilgan.



Ilyustratsiya 2: Birinchi bug' dvigateli va mexanik dastgohlarning tasviri.

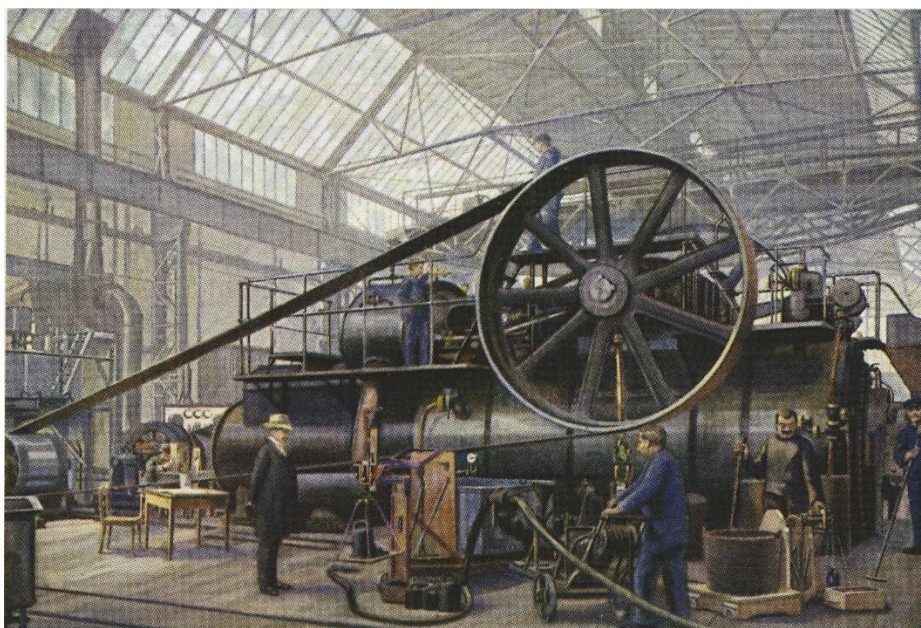
Jadval 1: Mexanizatsiya va birinchi avtomatlashtirish tizimlarining taqqoslanishi

| Ko'rsatkich | Mexanizatsiya | Birinchi avtomatlashtirish |
|--------------------|----------------------|-----------------------------------|
| Nazorat | Qo'lda boshqaruv | Mexanik tizimlar |
| Asbob-uskunalar | Oddiy mexanizmlar | Murakkab mexanizmlar |
| Unumdorlik | Past | O'rtacha |

Avtomatlashtirishning rivojlanish bosqichlari

Sanoat inqilobidan keyingi davr

Sanoat inqilobi texnologik rivojlanishda ulkan sakrash bo'ldi. Bug' dvigatellari va dastlabki mexanik tizimlar ishlab chiqarishda inqilobiy o'zgarishlarni keltirib chiqardi. Sanoat ishlab chiqarish jarayonlarida avtomatlashtirilgan tizimlar sezilarli o'rin egalladi.

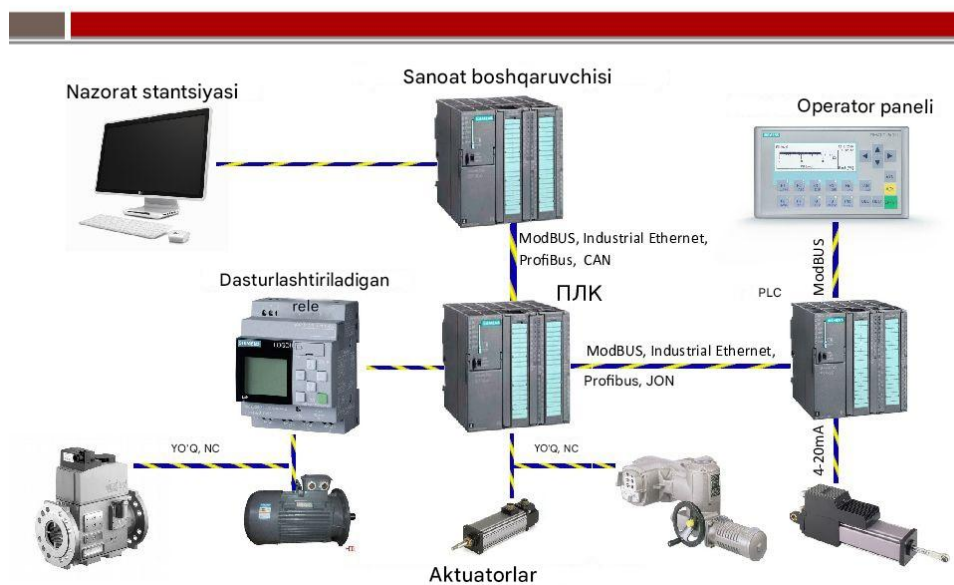


Ilyustratsiya 3: Sanoat inqilobi davrida fabrikalar va bug' dvigatellarining ko'rinishi.

Kompyuterlashtirish va dasturlashtirilgan boshqaruv

XX asrda elektronika va dasturiy ta'minotning rivoji avtomatlashtirishni yangi bosqichga olib chiqdi. PLC (Programmable Logic Controller) kabi qurilmalar paydo bo'ldi. Bu qurilmalar ishlab chiqarish jarayonlarini dasturlashtirish va optimallashtirish imkoniyatini berdi.

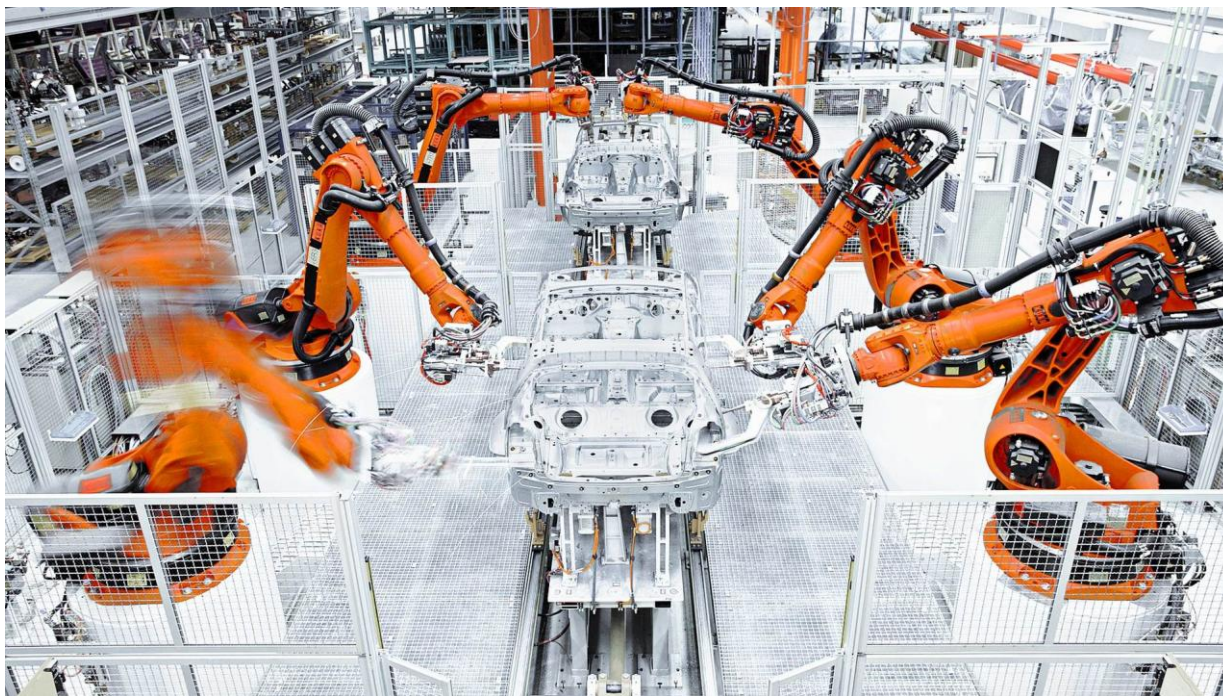
SCADA



Ilyustratsiya 4: PLC tizimlarining ishlash printsipini ko'rsatuvchi diagramma.

Zamonaviy avtomatlashtirish tizimlari

Hozirgi davrda avtomatlashtirish aqlli tizimlar va sun'iy intellekt yordamida boshqarilmoqda. Robototexnika va IoT tizimlari ishlab chiqarishda keng qo'llanilmoqda. Bular yuqori aniqlik va moslashuvchanlikni ta'minlaydi.



Ilyustratsiya 5: Robototexnika va aqlli ishlab chiqarish tizimlari tasviri.

Nazorat qilish tizimlarining rivojlanishi

An'anaviy nazorat vositalari

Dastlabki nazorat qilish tizimlari mexanik va gidravlik qurilmalardan iborat bo'lgan. Bular asosan qo'lda boshqariladigan tizimlar edi. Ish jarayonlari ko'p hollarda inson tajribasiga bog'liq bo'lgan.

Elektron va raqamli nazorat tizimlari

Elektron nazorat vositalarining rivojlanishi ishlab chiqarish jarayonlarini yanada aniq va samarali boshqarish imkonini berdi. Raqamli texnologiyalar orqali jarayonlarni real vaqt rejimida kuzatish va tahlil qilish mumkin bo'ldi.

Jadval 2: An'anaviy va zamonaviy nazorat tizimlarining taqqoslanishi

| Ko'rsatkich | An'anaviy tizimlar | Zamonaviy tizimlar |
|------------------|----------------------|---------------------|
| Nazorat aniqligi | Past | Yuqori |
| Texnologiyalar | Mexanik va gidravlik | Elektron va raqamli |
| Moslashuvchanlik | Cheklangan | Yuqori |

Turli texnologik uskunalar va sistemalar talab etilgan vazifalarni bajarishi uchun biron bir boshqarish jarayonini tashkillashtirish lozim. Boshqarish jarayoni "qo'l" usulida yoki umumiy xolda avtomatlashtik boshqarish sistemalari deb ataluvchi texnik vositalar birligi orqali amalga oshiriladi.

Avtomatik boshqarish sistemalarini tadbiq etish va rivojlantirishning zarurligi o'z ichiga elementar bazani, taxlil va sintezning nazariy masalalarini, loyixalashtirish va talab etilgan ishonchlilikni ta'minlovchi alohida ilmiy-texnik yo'nalishning yaratilishiga sabab bo'ldi. Shu bilan birga bu alohida yo'nalish elektronika, matematika shuningdek fan va texnikaning boshqa bo'limlari bilan uzviy bog'liqdir. Taxlil etilayotgan masalalar eng umumiy bo'lib avtomatik boshqarish va roslash sistemalarida kechayotgan jarayonlarni yagona nuqtai nazardan xarakteristikalaydi.

Sanoat ishlab chiqarishining texnologik jarayonlarini avtomatlashtirish texnik progressning ishlab chiqarish madaniyatining yuksalishiga, maxsulot sifatini oshishiga, uskuna unumdorligiga, maxsulotni ishlab chiqarishda xom ashyoning umumiy sarfini, energiya va mexnat sarfini kamaytirishga, atrof muhit himoyasini yaxshilashga, insonni ishlab chiqarishning zararli sharoitlaridan ozod qilishga shu bilan birga qator sotsial, iqtisodiy va texnik ko'rsatgichlarni yaxshilashga qaratilgan asoslaridan biridir.

Xozirgi vaqtda ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish soxasidagi asosiy urinishlar boshqaruvchi hisoblash mashinalari va mikroprotessorlarni qo'llash asosida texnologik jarayonlarni optimallashtiruvchi avtomatik sistemalarini yaratishga qaratilgan. Kun tartibida ishlab chiqarish jarayonining barcha bosqichlari va xolatlarini boshqarishni avtomatlashtirish haqidagi masala, texnologik jarayon va uskunalarni avtomatik tashxizlash sistemalarini yaratish, ishlab chiqarish avtomatlari va apparatlarini yaratish turadi.

Yuqorida ko'rib o'tilgan avtomatlashtirish sistemalarining rivojlanishi texnologik parametrlar va jarayonlarni yuqori samarali avtomatik roslash sistemalarining mavjudligi orqali ta'minlanadi. Bunday sistemalar texnologik parametrlar va jarayonlarning avtomatik stabilliligini ta'minlaydi va ko'p xollarda ierarxik (supervizor) usulda texnologik jarayonlarni optimallashtirish sistemalarini qurish uchun ijro etuvchi uskuna sifatida xizmat qiladi. Bu xolda avtomatik optimallashtirish sistemalarining chiqishi stabillashtirish sistemalari uchun o'zgaruvchan vzifa sifatida xizmat qiladi. Stabillashtirish sistemalari esa roslanayotgan

o'zgaruvchi kattaliklarni vazifaga mos kelishini ta'minlagani holda ierarxiyaning yuqori satxi sistemalari uchun ijro etuvchi sistema vazifasini bajaradi.

“Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish” fani kimyo, neft-kimyo, oziq ovqat ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirishning asosiy o'ziga xosliklarini, texnologik jarayonlarni avtomatik rostdash va boshqarish sistemalarini, ularning ishonchliligi va samaradorligini o'rganishga qaratilgan.

Texnologik jarayonlarni rostdash va boshqarish ob'ektlari va sistemalarining uziga xosliklarini tadqiq qilishda “Avtomatik boshqarish nazariyasi”, “Texnologik o'lchashlar va asboblari” va boshqa umumtexnik va kasbga yo'naltirilgan fanlardan foydalaniladi.

Uzluksiz texnologik jarayonlarni avtomatik boshqarish sistemalari ko'rib chiqilganda katta e'tibor ishlab chiqarishning yordamchi tartiblari va bosqichlari: ishga tushirish va to'xtatish tartibi, avariya oldi va avariya sharoitlari, qattiq fazali maxsulotlarni tushirish va yuklash bosqichlarini avtomatlashtirish darajasining oshirilishiga qaratiladi.

Avtomatlashtirish – texnologik jarayonlarni odam ishtirokisiz boshqaradigan texnik vositalarni joriy etish demakdir. Avtomatlashtirish ishlab chiqarish jarayonidagi odam ishtirok etmagan sanoatning yangi bosqichi bo'lib, bunda texnologik va ishlab chiqarish jarayonlarini boshqarish funksiyasini avtomatik qurilmalar bajaradi. Avtomatlashtirishni joriy etish ishlab chiqarishning asosiy texnik – iqtisodiy ko'rsatkichlarining yaxshilanishiga, ya'ni ishlab chiqarilayotgan mahsulot miqdori va sifatining oshishi hamda tannarxining kamayishiga olib keladi.

Avtomatika fan va texnikaning avtomatik boshqarish nazariyasi va amaliyoti, avtomatik sistemalarni qurish prinsiplari va texnik jihatlarni o'z ichiga oladi. Avtomatlashtirish – bu texnik jihozlarning qo'llanilishi, matematik usullar va boshqarish sistemalarida, buning natijasida inson qisman yoki butunlay informatsiya olishda o'zgartirish, uzatish va energiyani ishlatishdan ozod bo'ladi.

Avtomatlashtirishning maqsadi – mehnat unumdorligi va ishlab chiqarishning sifatini oshirish rejalarini avtomatlashtirish, optimallashtirish va boshqarish, insonni zararli sharoitlarda ishlashdan ozod qilishdir. U fan va texnikani umumiy rivojlantirish natijasidir. Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning rivojlanishi asosan 50-60 - yillarda boshlangan. Texnika siyosatini maqsad sari yo'naltirilganligi hisobiga kimyoviy ishlab chiqarishning turli sohalarda avtomatlashtirishning darajasi oshdi. Texnologik jihozlanishning yaxlitligi va undagi o'zlashtirilgan texnologik jarayonlarni boshqarishni texnologik jarayonda amalga oshirilishi, texnologik ob'ektni boshqarishni tashkil qiladi. Axborotlarni avtomatlashtirilgan holda yig'ish va qayta ishlashni ta'minlovchi hamda inson faoliyatining turli sohalardagi optimal boshqarish uchun zarur bo'lgan inson-mashina sistemasiga – avtomatlashtirilgan boshqarish sistemasi (ABS) deyiladi.

«Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish» kursining asosiy maqsadi: avtomatikaning zamonaviy texnik vositalari hamda EHM bilan boshqariladigan mikroprotsessorli texnika bazasi asosida ARSlarni qurish usullari va prinsiplarini to'la-to'kis o'rganishdan iborat. Kursning amaliy mohiyati mamlakatimiz xalq xo'jaligi taraqqiyotidagi ustuvor vazifalar bilan bog'langan.

Texnik jarayonlarda odamning ishtirok etishiga ko'ra avtomatlashtirishni quyidagilarga ajratish mumkin: avtomatik nazorat, avtomatik rostdash va avtomatik boshqarish.

Avtomatik nazorat – texnologik jarayonlarda tezkor ma'lumotlarni avtomatik ravishda qabul qilish va uni qayta ishlash uchun kerakli bo'lgan sharoitlarni ta'minlaydi.

Avtomatik rostdash – texnologik jarayonlarning tegishli parametrlarini avtomatik rostdovchi asboblarda yordamida talab qilingan sathda saqlanishini nazarda tutadi. Bu holda odam faqat avtomatik rostdash sistemaining (ART) to'g'ri ishlashini nazorat qiladi.

Avtomatik boshqarish – texnologik operatsiyalarni belgilangan ketma-ketlikda avtomatik ravishda bajarilishini va boshqaruv ob'ektiga nisbatan bo'ladigan ta'sirlarning muayyan muttasiligini ishlab chiqishdan iborat.

Ishlab chiqarish jarayonlarining avtomatlashtirilishi asosan uch bosqichdan iborat bo'ladi:

Birinchi bosqich- bunda asboblarni mashina va apparatlar yaqiniga joylashtirish deyarli qiyinchiliklar tug'dirgan. Avtomatlashtirishning bu davrida shkalasi yaxshi ko'rinadigan yirik o'lchamli asboblarda ishlatiladi. Bunda bir korpusga o'lchash asbobi, rostdagich va topshiriq beruvchi qurilma joylashtiriladi.

Ikkinchi bosqich– ayrim jarayonlarning kompleks avtomatlashtirilishidir. Bunda rostdash alohida shchitga o'rnatilgan asboblarda bo'yicha olib boriladi. Yirik o'lchamli asboblardan foydalanish bu shchitning bir necha metrda cho'zilib ketishiga olib keladi va shchitni nazorat qilish qiyinlashadi, avtomatlashtirishning bu davrida shchitdagi asboblarning hajmini kichiklashtirish zarurati paydo bo'ladi. Bu masalani hal qilish uchun kichik o'lchamli ikkilamchi asboblarda ishlatiladi.

Uchinchi bosqich (to'liq avtomatlashtirish bosqichi) – agregat va sexlarni yalpisiga avtomatlashtirish bilan xarakterlanadi. Bu davrning xarakterli xususiyati shundaki, boshqarish yagona nazorat punktiga markazlashtiriladi. Shu bilan birga, mitti ikkilamchi asboblarni ishlatish ehtiyoji paydo bo'ladi. Doimiy nazoratni talab qilinadigan o'lchash va rostdash asboblari (yirik o'lchamli) shchitdan tashqariga o'rnatiladi.

Har bir texnologik jarayon *texnologik jarayon parametrlari* deb ataluvchi o'zgaruvchan fizikaviy va kimyoviy kattaliklar (bosim, sarf, harorat, namlik, konsentratsiya va hokazo) bilan xarakterlanadi. Texnologik apparatura jarayonning turli oqib o'tishini ta'minlashi uchun muayyan jarayonni xarakterlovchi parametrlarni berilgan qiymatda saqlashi lozim.

Qiymatni barqarorlash – yoki bir tekisda o'zgarishini ta'minlash zarur bo'lgan parametrda *rostlanuvchi kattalik* deb ataladi. Rostlanuvchi kattalikning qiymatini barqarorlash yoki ma'lum qonun bo'yicha o'zgarishini amalga oshirish uchun mo'ljallangan asbob *avtomatik rostdagich* deyiladi. Rostlanuvchi kattalikning ayni paytda o'lchangan qiymati, rostdanuvchi kattalikning *hozirgi qiymati* deyiladi. Rostlanuvchi kattalikning texnologik reglament bo'yicha ayni vaqtda doimiy saqlanishi shart bo'lgan qiymati rostdanuvchi kattalikning *berilgan qiymati* deyiladi. Texnologik reglament rostdanuvchi kattalikning hozirgi va berilgan qiymatlarini vaqtning har bir onida teng bo'lishini talab qiladi. Ammo ichki yoki tashqi sharoitlarning o'zgarishi sababli rostdanuvchi kattalikning hozirgi qiymati berilgan qiymatidan chetga chiqishi mumkin. Shu paytda hosil bo'lgan qiymatlar farqini *xato* yoki *nomoslik* deyiladi.

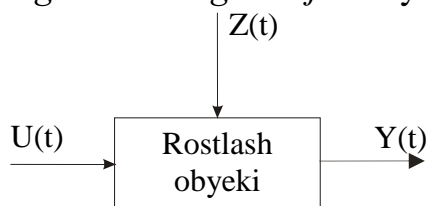
Xato yoki nomoslik nolga teng bo'lgan texnologik jarayon *turg'unlashgan rejim* deyiladi. Turg'unlashgan rejimda moddiy va energetik balanslar qat'iy saqlanadi.

Har qanday texnologik jarayon uchun maxsulotning eng yaxshi sifati va eng kam sarf-xarajatlarda talab etilgan samaradorlikni ta'minlovchi optimal sharoitlar mavjud. Ushbu sharoitlarning birligi *normal texnologik sharoit* deb ataladi. Texnologik jarayon avtomatik tarzda rostlanayotgan sanoat uskunasi *rostlash ob'ekti* deyiladi. Har qanday texnologik jarayon rostlash ob'ekti sifatida quyidagi o'zgaruvchilarning asosiy guruxi orqali xarakteristikalanadi (1. rasm).

1) Jarayon holatini xarakteristikalovchi o'zgaruvchilar (ularning birligini $Y(t)$ vektori orqali belgilaymiz). Bu o'zgaruvchilarni rostlash jarayonida bir holatda ushlab turish yoki berilgan qonun bo'yicha o'zgartirish lozim. O'zgaruvchilarni stabilashtirish aniqligi texnologiya va rostlash sistemasining imkoniyatlari taqozo etadigan talablarga bog'liq holda turlicha bo'lishi mumkin. Odatda $Y(t)$ vektoriga kiruvchi o'zgaruvchilar bevosita o'lchanadi, lekin ba'zi holatlarda ularni boshqa bevosita o'lchanuvchi o'zgaruvchilar bo'yicha ob'ekt modelini qo'llab hisoblash mumkin. $Y(t)$ vektori odatda *rostlanuvchi kattaliklar vektori* (yoki ishchi parametr) deb ataladi. Ko'p hollarda ishchi parametrlari tezlik (chiziqli va aylanuvchan), harorat, bosim, chiziqli va burchak siljish kabi fizik kattaliklarni ko'rsatadi.

2) O'zgarishi orqali rostlash sistemasi ob'ektni boshqarish maqsadida unga ta'sir etishi mumkin bo'lgan o'zgaruvchilar. Ushbu o'zgaruvchilar birligi $U(t)$ vektori orqali belgilanadi va *rostlovchi ta'sirlar vektori* deb yuritiladi. Odatda rostlovchi ta'sirlar sifatida moddiy oqim sarflari yoki energiya oqimi o'zgarishi xizmat qiladi.

3) Amalda ko'pincha xom-ashyoning sarfi va tarkibi, apparatlardagi harorat, bosim va hokazolarning o'zgarishi kuzatiladi. Texnologik jarayonning maqsadga muvofiq ravishda oqib o'tishiga teskari ta'sir ko'rsatuvchi hamda sistemalardagi moddiy va energetik balansni buzuvchi o'zgaruvchilar *g'alayonlanishlar* deb ataladi. G'alayonli ta'sirlar o'z o'rnida o'lchanadigan va o'lchanmaydigan o'layonlarga bo'linadi. G'alayonlanishlar ta'sirida xato paydo bo'ladigan texnologik jarayon rejimi *turg'unlashmagan rejim* deyiladi.



1-Rasm. Rostlash ob'ektiga ta'sir qiluvchi o'zgaruvchilar

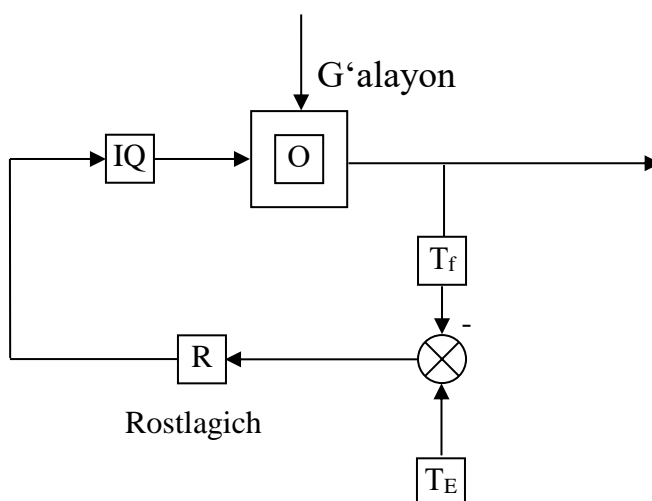
Shunday qilib, sanoatning eng muhim talablaridan biri – texnologik jarayonning turg'unlashgan rejimini saqlashdan iborat. Moddiy va energetik balansga rioya qiladigan mashina yoki apparat *rostlanuvchi ob'ekt* deyiladi.

Texnologik jarayonlarni avtomatik boshqarishning vazifasi rostlagich yordamida rostlanuvchi ob'ektdagi kerak bo'lgan texnologik sharoitni avtomatik ravishda saqlash, agar bu sharoit buzilsa, uni qayta tiklashdan iboratdir. Avtomatik rostlash vaqtida

(rostlanuvchi ob'ektga rostlagichning ta'siri tufayli) rostlanuvchi kattalikning hozirgi qiymati berilgan qiymatiga teng yoki shunga yaqin bo'ladi.

Avtomatik sistemalar bir-birlari bilan ma'lum ketma-ketlikda bog'langan bo'lib, har biri tegishli vazifani bajaruvchi alohida elementlardan iborat. Mustaqil funksiyani bajaruvchi avtomatik sistema tarkibining biror qismi *avtomatika elementi* deyiladi. Avtomatika elementlarini ularning funksional vazifasiga ko'ra tasniflash maqsadga muvofiqdir. Avtomatik sistema elementlarining tarkibiga kiruvchi funksional bog'lanishni ifodalovchi sxema esa *funksional sxema* deb ataladi. Bundan tashqari, shu avtomatik sistemani turli dinamik xususiyatlarga ega bo'lgan va bir – birlari bilan bog'langan sodda zvenolar shaklida tasvirlash ham mumkin. Bu holda avtomatik sistemaning sxemasi zvenolarning bog'lanishini aks ettiradi va *sistemaning tuzilish sxemasi* deyiladi (2 rasm).

Rostlanuvchan ob'ekt va avtomatik rostlagich birligi ARSni tashkil qilib, rostlash *konturi* nomli tutash zanjirni hosil qiladi. Bu zanjir ARSning tuzilish sxemasiga emas, balki funksional sxemasiga tegishli bo'ladi.



Ris. 2. ARSning struktura sxemasi.

Kelajak tendensiyalari va istiqbollari

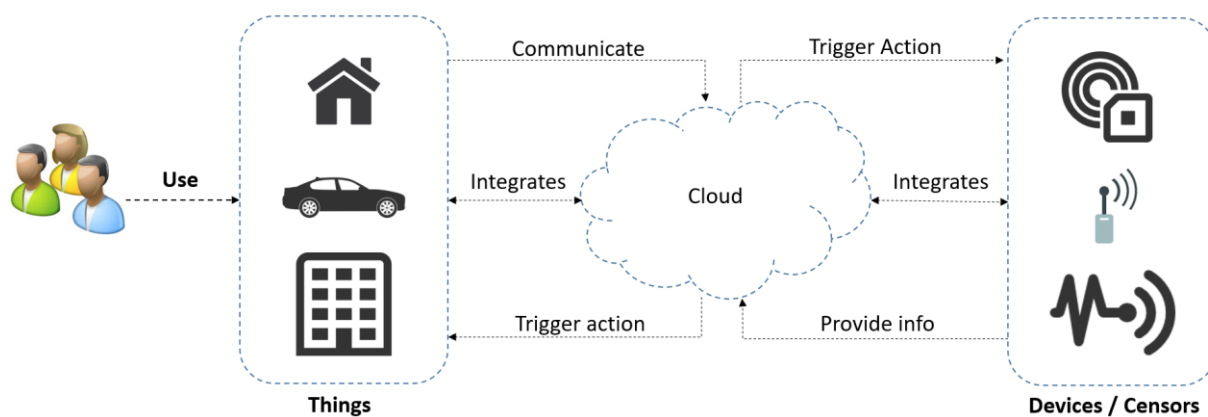
Sun'iy intellekt va mashinasozlikning rivoji

Sun'iy intellektning rivoji avtomatlashtirish sohasida yangi imkoniyatlar ochmoqda. Bu texnologiyalar ishlab chiqarish jarayonlarining moslashuvchanligini oshiradi. Shuningdek, avtomatlashtirilgan tizimlar yordamida murakkab muammolarni hal qilish mumkin.

IoT va aqlli ishlab chiqarish tizimlari

Narsalar interneti (IoT) va aqlli tizimlar kelajak avtomatlashtirishning asosiy yo'nalishlari hisoblanadi. Bu tizimlar ishlab chiqarishni optimallashtirish va resurslardan samarali foydalanish imkonini beradi. IoT qurilmalari yordamida barcha tizimlar bir-biri bilan bog'langan holda ishlaydi.

IoT Architecture



Ilyustratsiya 6: IoT va aqlli tizimlar arxitekturasi tasviri.

Xulosa

Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va nazorat qilish inson faoliyatini yangi bosqichga olib chiqdi. Ushbu jarayonlar yordamida samaradorlik oshirilib, yangi texnologiyalar yaratildi. Kelajakda sun'iy intellekt va IoT kabi innovatsiyalar avtomatlashtirishning rivojlanishida muhim rol o'ynashi kutilmoqda.

Glossariy

Model - ob'ekt yoki sistemaning real mavjudligidan farqli ravishda boshka bir qancha ko'rinishdagi tasvirlanishidir

Matematik model - tadqiq etilayotgan ob'ektda bo'layotgan jarayonni qo'yilgan aniqlik bo'yicha ko'rsatib beruvchi matematik ifoda ko'rinishida bo'ladi

Grafik model - Ob'ekt va sistemalarning xususiyatlarini ifodalash uchun sonli tablitsa va grafiklardan xam foydalaniladi

Analitik model - Bir muncha murakkabroq xollarda matematik model ob'ekt kirish va chiqish o'zgaruvchilari orasidagi bog'lanishni ifodalaydi va aniq tenglama ko'rinishida beriladi

Fizik model –real ob'ektning xususiyatlarining yoki xarakterini o'zida mujassam etgan fizik qurilma yoki maketga aytiladi

O'z-o'zini tekshirish uchun nazorat savollari

1. Avtomatlashtirishga ta'rif bering.
2. Avtomatlashtirishning maqsadi nimalardan iborat?
3. ARSning ta'rifi.
4. Avtomatik nazorat,rostlash va boshqarish tshunchalari.
5. Avtomatlashtirish qanday bosqichlardan iborat?
6. Rostlanuvchi, boshqaruvchi va g'alayonli o'zgaruvchilarga ta'rif bering.
7. Texnologik jarayon parametrlari tshunchasiga ta'rif bering.
8. Avtomatik rostlagich nima?
9. Hozirgi qiymat, berilgan qiymat va xatoliq tshunchalari nima?
10. Turg'unlashgan va turg'unlashmagan rejimlar tshunchalari.
11. Qanday ob'ekt rostlanuvchi ob'ekt deyiladi?
12. Avtomatika elementi deganda nimani tshunasiz?
13. Sistemaning funkqional va struktura sxemalari nima?

2-Mavzu: O'lchash to'g'risidagi umumiy ma'lumotlar. Sanoat korxonalarida qo'llaniladigan texnologik o'lchashlar va asboblari. O'lchash xatoliklari. O'lchash vositalarining strukturaviy sxemasi to'g'risida umumiy tushunchalar.

Reja:

1. O'lchashlar.
2. O'lchash turlari.
3. O'lchash usullari.
4. Metrologiya haqida tushuncha.
5. Halqaro (SI) birliklar tizimi.
6. Birliklarning karrali va ulushli qiymatlar.
7. O'lchash xatoliklari, ularning tabaqalanishi.
8. Muntazam xatoliklar va ularni kamaytirish usullari.

Kalit so'zlar: o'lchash, texnologiya, o'lchash natijasi, bevosita o'lchash, bilvosita o'lchash, birlashtirib o'lchash, mutlaq o'lchash, nisbiy o'lchash.

2.1. O'lchashlar.

Sanoat qurilmalarini zamonaviy darajasining rivojlanishi katta birlik quvvatli majmualar qo'llaniladigan texnologik jarayonlarning jadallashuvi bilan tavsiflanadi. Masalan, issiqlik energetikasida birlik quvvat 30 yil mobaynida o'n barobar, atom energetikasida esa yuz barobar oshib ketdi. Texnologik jarayonlarning yuz berish tezligi kam taxminan shunchaga o'sdi. Bugungi kunda bitta majmuada minglab sondagi o'lchanadigan parametrlarni aniqlash mumkin. Ko'pgina kollarida o'lchash vositalari va informatsion – boshqaruv tizimlarining ishonchliligi butun agregatning ishonchliligi bilan belgilanadi. Avtomatik nazorat va parametrlarning ishonchli qiymatlarini bilmasdan turib ular orqali jarayonlar va agregatlarni boshqarib bo'lmaydi. Jarayon va agregatlarni avtomatlashtirish va ular ustida ilmiy izlanishlar olib borishda o'lchashlar muxim rol o'ynaydi.

Oxirgi o'n yillik mikroprotessorli texnika nafaqat ikkilamchi o'zgartirgichlarga balki bevosita texnologik obyektlarga o'rnatilgan birlamchi o'zgartirgichlarga xam jadal o'rnatilayotganligi bilan tavsiflanadi. Mikroprotessorli (intellektual) o'lchash vositalari orqali o'lchash natijalariga ishlov berish, o'zgartirish va ularni aks ettirish usullarining funksional imkoniyatlari o'zgartirilmoqda. Ushbu asboblari asosan sanoatning mikroprotessorli boshqaruv tizimlari va ilmiy tadqiqotlarning informatsion – boshqaruv tizimlarini yaratish uchun xizmat qiladi. Mikroelektron texnologiya asosida bir qator sezgir elementlar (sensorlar) ishlab chiqilgan bo'lib, ular sanoat sharoitlarida eritma va gazlarning tarkibidagi moddalarning mikrokonstratsiyalarini nazorat qilish imkonini beradi. Ulardan foydalanib texnologik obyektlarning kolatini tezkor diagnostika va taklil qilish uchun turli ko'rinishli asboblari yaratilgan.

Darslikda sertifikatsiyalangan o'lchash vositalarining ishlashi asos qilib olingan fizik kodisa va o'lchash prinsiplari ko'rib chiqilgan va o'lchash o'zgartirgichlari va ikkilamchi o'lchash asboblariining prinsipial sxemalari, ularning texnik tavsiflarini reglamentlashtiruvchi standartlar keltirilgan. Sanoatda

qo'llaniladigan o'lchov va boshqaruv tizimlari ko'rib chiqilgan va ular yordamida informatsion funksiyalarni amalga oshirilish usullari va sifati ta'klil qilingan. O'lchash turli tashqi faktorlar ta'sir qiluvchi sezgir elementlar, o'zgartirgichlar va ikkilamchi o'lchash qurilmalarining birgalikda ishlashini aks ettiruvchi yagona jarayon ko'rinishida ifodalangan.

So'nggi yillardagi o'lchash vositalarining ishlash prinsiplarini evolyutsiyasiga nisbatan zamonaviy o'lchash vositalarining konstruksiyasini uzluksiz takomillashish tezligini yuqoriligidan kelib chiqqan kolda darslikda ma'lumotlarni bayon qilish uslubi o'lchash vositalarining ishlash prinsipi va ularning prinsipial sxemalarini ta'klil qilishni o'z ichiga olgan. Shundan kelib chiqqan kolda o'quvchi o'lchash vositalarining konstruksiyasi, ularni o'rnatish va sozlash qoidalarini tajriba ishlarini bajarish davomida, shuningdek avtomatlashtirish vositalarini loyikalash, o'rnatish va ishlatish bilan bog'liq bo'lgan fanlarni o'zlashtirish davomida o'rganadi.

O'lchash — fizik kattaliklar qiymatlarini tajribada maxsus texnik vositalar yordamida aniqlash.

Ko'p hollarda o'lchash jarayonida o'lchanayotgan kattalikni shunday fizik kattalik bilan taqqoslanadiki, unga 1 ga teng bo'lgan qiymat beriladi va u fizik kattalik birligi yoki *o'lchov birligi* deyiladi.

O'lchash natijasi — kattalikning o'lchash usuli bilan, masalan, kattalikni o'lchov birligi bilan taqqoslash yordamida topilgan qiymatidan iborat. O'lchash natijasini tenglama ko'rinishida quyidagicha yozish mumkin:

$$U = \frac{Q}{q} \quad \text{ёku} \quad Q = U * q \quad (2.1)$$

bu yerda, Q —o'lchanayotgan fizik kattalik, U — o'lchash natijasi yoki o'lchanayotgan kattalikning son qiymati, q — fizik kattalik birligi.

(2.1) tenglama o'lchashning asosiy tenglamasi deyiladi. Uning o'ng tomoni o'lchash natijasi deb yuritiladi. O'lchash natijasi doimo o'lchamli kattalik bo'lib, u o'z nomiga ega bo'lgan q birlikdan hamda ayni birlikdan o'lchanayotgan kattalikda nechta borligini anglatadigan U sondan tashkil topgan.

O'lchanayotgan kattalikning son qiymati bevosita, bilvosita, birlashtirib va birgalikda o'lchash usullari yordamida topiladi. Laboratoriya amaliyotida va ilmiy tekshirishlarda birlashtirib va birgalikda o'lchash usullaridan foydalaniladi.

2.2. O'lchash turlari.

Bevosita o'lchash deb shunday o'lchashga aytiladiki, unda o'lchanayotgan kattalikning izlanayotgan qiymati tajriba ma'lumotlaridan bevosita aniqlanadi. Masalan, haroratni termometr bilan, bosimni manometr bilan, uzunlikni chizg'ich bilan o'lchash va hokazo bevosita o'lchashdan iborat.

Bevosita o'lchash tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$Q_{\text{beev.}} = C * n \quad (2.2)$$

bu yerda, Q_{beev} — o'lchanayotgan kattalikning uning uchun qabul qilingan o'lchov birliklaridagi qiymati; S —raqamli hisoblash qurilmasi shkalasi bo'linmalarining

yoki bir marta ko'rsatishining o'lchanayotgan kattalik birliklaridagi qiymati; n — shkala bo'linmalarining hisobida indikatorli qurilma bo'yicha olingan sanoq.

Bilvosita o'lchash deb shunday o'lchashga aytiladiki, unda o'lchash natijasi o'lchanayotgan kattalik bilan ma'lum munosabat yordamida bog'langan kattaliklarni bevosita o'lchashga asoslangan bo'ladi. Bilvosita o'lchash tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$Q_{\text{ovuz}} = f(Q_1, Q_2, \dots, Q_{\text{ovuz}}^n) \quad (2.3)$$

bu yerda, Q_{bil} — o'lchanayotgan kattalikning izlangan qiymati; Q_1, Q_2, \dots, Q_n — bevosita o'lchanadigan kattaliklarning son qiymatlari.

Bilvosita o'lchashga o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligini uning qarshiligi, uzunligi va kundalang kesimini yuzi bo'yicha topish; modda zichligini uning massasi va xajmini o'lchash natijasi bo'yicha topish va boshqalar misol bo'la oladi. Bilvosita o'lchashlar bevosita o'lchashlarning iloji bo'lmagan ishlab chiqarish jarayonlarini nazorat qilishda keng qo'llanadi.

Birlashtirib o'lchash bir necha bir nomli kattaliklarni bir vaqtda o'lchashdan iboratki, unda izlangan kattaliklarning qiymatlari bevosita o'lchashda hosil qilingan tenglamalar tizimidan topiladi.

Bir vaqtda ikki yoki bir necha nomli turli kattaliklarni, ularning orasidagi funksional munosabatlarni topish uchun olib borilgan o'lchashlar birgalikda o'lchash deyiladi. Jumladan o'lchash rezistorining 20°S dagi elektr qarshiligi va harorat koeffitsiyentlari uning qarshiligini turli haroratlarda bevosita o'lchash ma'lumotlari bo'yicha topiladi.

2.3. O'lchash usullari.

O'lchashlar yana mutlaq va nisbiy o'lchashlarga bo'linadi.

Bitta yoki bir necha asosiy kattaliklarni fizik konstantalar qiymatlaridan foydalanib yoki foydalanmasdan bevosita o'lchash **mutlaq o'lchash** deb ataladi. Masalan, shtangensirkul yordamida bajarilgan o'lchashlar mutlaq o'lchashdir, chunki unda o'lchanayotgan kattalik qiymatini bevosita olinadi.

Biror kattalikning shu ismli birlik vazifasini bajarayotgan kattalikka nisbatini o'lchash yoki kattalikni shu ismli birlik kattalik deb qabul qilingan kattalik bo'yicha o'lchash **nisbiy o'lchash** deb ataladi. Masalan, haroratni termoelektr effektdan foydalanishga asoslangan o'lchash yoki massani tortish usuli bilan, ya'ni massaga mutanosib bo'lgan og'irlik kuchidan foydalanish usuli bilan o'lchash nisbiy o'lchashdan iborat. Nisbiy o'lchashdan katta aniqlik zarur bo'lgan hollarda foydalaniladi.

2.4. Metrologiya haqida tushuncha.

Metrologiya — o'lchashlar, uni ta'minlash usullari va vositalari hamda talab etilgan aniqlikka erishish yullari haqidagi fan. Metrologiyaning asosini o'lchashning umumiy masalalari, fizik kattaliklar birligi va ularning tizimlari haqidagi ma'lumotlar, o'lchashning usul va vositalari, o'lchash natijasining to'g'riligini aniqlash usullari va hokazolar hosil qiladi. O'lchashga doir fizik kattaliklar mexanik, elektr, issiqlik, optik, akustik bo'lishi mumkin. Bu kattaliklarning bir turi texnologik

jarayon rivojlanishining bevosita ko'rsatkichi bo'lsa, boshqalari shu jarayon bilan funksional bog'langan bo'ladi.

Fizik hodisalarni o'rganish va ulardan amalda foydalanish turli fizik kattaliklarni o'lchash, ya'ni ma'lumot olish bilan bog'lik. Ma'lumot qancha to'la va xolisona bo'lsa, fizik hodisalarning tub ma'nosini tushunish shunchalik chuqur bo'ladi. Fizik kattalikning muayyan qiymati texnologik jarayonning rivojlanishi haqidagi ma'lumotning muhim qismidir. Turli usul va asboblardan orqali ifodalangan texnologik jarayonning holati haqidagi axborotlarni *ma'lumot*, ya'ni *informatsiya* deb bilamiz. Informatsiyalar, asosan, o'lchash asboblari va qurilmalari yordamida olinadi.

Fizik obyektning sifat jihatdan umumiy, lekin miqdor jihatdan har bir obyekt uchun alohida xususiyati *fizik kattalik* deb ataladi. Shunday qilib, har bir fizik kattalik aynan shu kattalikning sonli qiymati birligiga kupaytmasidan iborat bo'lgan individual qiymati bilan ifodalanadi.

Bir-biriga muayyan erksizlik bilan bog'langan kattaliklar yig'indisi *fizik kattaliklar tizimi* deyiladi. Fizik kattaliklar tizimi asosiy, qo'shimcha va hosila kattaliklardan iborat. Tizimga kirgan va boshqa tizimlarga nisbatan shartli ravishda erkin hisoblangan fizik kattalik *asosiy fizik kattalik* deb ataladi.

2.5. Halqaro (SI) birliklar tizimi.

Xalqaro birliklar tizimi — SI (Sisteme International - SI) fan va texnikaning barcha sohalarini uchun fizik kattaliklarning universal tizimi bo'lib, 1960 yilning oktabr oyida O'lchov va tarozilar XI Bosh konferensiyasida qabul qilingan.

SI ning joriy etilishi shu tizimda nazarda tutilgan va uning tarkibiga kirmaydigan (ammo hozir o'lchov birliklari sifatida qo'llanilayotgan) birliklarning ilmiy-tadqiqot natijalarini hisoblashda, ishlab chiqarish vositalari va asbob uskunalarini loyihalashda, qurilish hamda qurilgan obyektlardan foydalanishda, shuningdek o'quv-ta'lim ishlarida ko'p qiyinchiliklar tug'dirayotgan o'lchov birliklaridagi turli hillikka barham beradi. SI ning hozirgi qo'llanilayotgan ayrim o'lchov tizimlariga nisbatan muhim afzalligi shundaki, u —universal; o'lchov birliklarini birxillashtirgan; asosiy, qo'shimcha va o'z hosilaviy birliklarini amaliyot uchun qulay o'lchamlarga mujassamlashtirgan; kogerent, ya'ni hosilaviy birliklar o'lchamlarini aniqlovchi fizik tenglamalardagi mutanosiblik koeffitsiyentlarini tugatgan tizimidir. Uning tatbiqi bilan hisoblash tenglamalarining yozilishi ancha soddalashdi.

Xalqaro birliklar tizimi (SI) da yettita asosiy va ikkita qo'shimcha kattalik qabul qilingan. Shuningdek, ular asosida ko'pgina hosilaviy kattaliklar va ularning birliklari ham tasdiqlangan. 1.1-jadvalda xalqaro birliklar tizimi (SI) da ifodalangan asosiy va qo'shimcha hamda o'quv jarayonida tez-tez uchrab turadigan muhim hosilaviy kattaliklarning o'lchov birliklari, belgilari keltirilgan.

Halqaro (SI) birliklar tizimi

| Tartib № | Kattaliklar | O'lchov birligi | Qisqartirilgan belgilari | | Hosila birliklar o'lchovi |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------------------|
| | | | O'zbekcha | halqaro | |
| Asosiy birliklar | | | | | |
| 1 | Uzunlik | Metr | M | m | - |
| 2 | Massa | Kilogramm | Kg | kg | - |
| 3 | Vaqt | Sekund | S | S | - |
| 4 | Tok kuchi | Amper | A | A | - |
| 5 | Termodinamik | Kelvin gradusi | K | K | - |
| 6 | Yorug'lik kuchi | Kandela | Kd | cd | - |
| 7 | Modda miqdori | mol | Mol | mol | - |
| Qo'shimcha birliklar | | | | | |
| 1 | Yassi burchak | radian | Rad | rad | - |
| 2 | Fazoviy burchak | steradian | Sr | sr | - |
| Hosila birliklar | | | | | |
| 1 | Yuza | metr kvadrat | m ² | m ² | i (m) ² |
| 2 | Hajm | metr kub | m ³ | m ³ | I (m) ³ |
| 3 | Chastota | Gers | Gs | Hz | I:(c) |
| 4 | Zichlik | Kilogramm taqsim metr kub | kg/m ³ | kg/ m ³ | (1kg):(1m ³) |
| 5 | Tezlik | metr taqsim sekund | m/s | m/s | (1m):(1s) |
| 6 | Burchak tezlik | radian taqsim sekund | rad/s | rad/s | (1rad):(1s) |
| 7 | Tezlanish | metr taqsim sekund kvadrat | m/s ² | m/s ² | (1m):(1s) ² |
| 8 | Burchak tezlanish | radian taqsim sekund kvadrat | rad/s ² | rad/s ² | (1rad):(1s) ² |
| 9 | Kuch | Nyuton | N | N | (1kg):(1m): (1s) ² |
| 10 | Bosim | nyuton taqsim metr kvadrat | N/m ² | N/m ² | (1N):(1m) ² |
| 11 | Dinamik qovushoqlik | Nyuton ko'paytirilgan sekund taqsim metr | N·s/m ² | N·S/m ² | (1N)·(1s):(1m) ² |
| 12 | Kinematik qovushoqlik | metr kvad. taqsim sekund | m ² /s | m ² /s | (1m) ² :(1s) |
| 13 | Ish, energiya, issiqlik miqdori | joul | J | J | (1J):(1s) |
| 14 | Quvvat | vatt | Vt | W | (1J): (1s) |
| 15 | Elektr miqdori | kulon | Kl | G | (1A):(1c) |
| | Elektr kuchlanish, | | | | |

| | | | | | |
|----------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| 16 | Elektr potentsiallar ayirmasi, elektr yurituvchi kuch | volt | V | V | (1Bt):(1A) |
| 17 | Elektr maydoni nuchlanganligi | volt taqsim metr | V/m | V/m | (1V):(1m) |
| 18 | Elektr qarshilik | Om | Om | Ω | (1Vt):(1A) |
| Tartib № | Kattaliklar | O'lchov birligi | Qisqartirilgan belgilari | | Hosila birliklar o'lchovi |
| | | | O'zbekcha | halqaro | |
| 19 | Elektr sig'im | Farada | F | F | (1K):(1V) |
| 20 | Magnit induksiyasi oqimi | Veber | VB | Wb | (1k):(1Om) |
| 21 | Induktivlik | genri | Gn | N | (1Vb):(1A) |
| 22 | Magnit induksiyasi | tesla | Tl | T | (1Vb):(1m) ² |
| 23 | Magnit maydoni kuchlanganligi | amper taqsim metr | A/M | A/m | (1A):(1m) |
| 24 | Magnit yurituvchi kuch | Amper | A | A | (1A) |
| 25 | Yorug'lik oqimi | Lyumen | Lm | Lm | (1qd):(1sr) |
| 26 | Ravshanlik | kandela taqsim metr kvadrat yoki nit lyuks | kd/m ² | cd/m ² | (1kA):(1m) ² |
| 27 | Yoritilish darajasi | Lyuks | LK | Lk | (1lm):(1m) ² |

1.6. Birliklarning karrali va ulushli qiymatlar.

Shunday soxalar borki, unda SI birliklarini ishlatish hisoblashlarda bir oz qiyinchiliklar tug'diradi. Masalan, SI ga binoan massani doimo kilogrammlarda o'lchash noqulay. U goh gramm (g) larda ifodalansa, gox tonna (t) larda o'lchanadi. Shu sababli massani gramm (g), milligramm (mg), tonna (t) kabi birliklarda ifodalash qulay. Ular asosida massa hisobini shu birliklarda olib borish xato hisoblanmaydi.

Shuning uchun, ba'zi hisoblashlarda qulaylik yaratish maqsadida birliklarning o'nlik karrali va ulushli qiymatlaridan foydalaniladi.

Birliklarning unlik karrali va ulushli qiymatlari barcha birliklardan emas, balki amaliy hisoblarda qulaylik yaratadigan birliklardangina hosil qilinadi. Shunday sohalar ham borki, ularda doimo karrali yoki ulushli birliklardangina ishlatiladi (masalan, chizmachilikda ularning o'lchamlari faqat millimetr — mm da ifodalanadi).

Birliklarning karrali va ulushli qiymatlar

| № | Kattalik nomi | Belgilari | | |
|----|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | SI birliklari | SI ning karrali va ulushli birliklari | SI ga kirmagan birliklar |
| 1 | Uzunlik | m (metr) | km; sm; mm; mkm; nm. | |
| 2 | Yuza | m ² (metr kvadrat) | km ² ; dm ² ; sm ² mm ² | |
| 3 | Hajm va sig' im | m ³ (metr kub) | dm ³ ; sm ³ ; mm ³ | l (litr) |
| 4 | Yassi burchak | rad (radian) | mrاد; mkrاد | ... ⁰ , (gradus) ...' ['] (minut) ...'' ^{''} (sekund) |
| 5 | Vaqt | s (sekund) | ks; ms; mks; | Sut (sutka) Soat (soat, min) |
| 6 | Tezlik | m/s | - | km/soat |
| 7 | Aylanishlar takrorligi | s ⁻¹ | - | min ⁻¹ |
| 8 | Massa | kg (kilogramm) | Mg; g; mg; mkg | t (tonna) |
| 9 | Kuch, og'irlik | N (nyuton) | MN; kN; mKN | |
| 10 | Kuch momenti | N·m | MN·m; kN·m; mKN·m | |
| 11 | Bosim | Pa (paskal) | GPa; MPa; kPa; mKPa | |
| 12 | Dinamik qovushoqlik | Pa·s | mPa·s | |
| 13 | Kinetik qovushoqlik | m ² /s | mm ² /s | |
| 14 | Energiya, ish | J (joule) | TJ; GJ; MJ; kJ; mJ | EV (elektron volt) |
| 15 | Quvvat | Vt (vatt) | GVt; MVt; kVt; mKVt | |
| 16 | Harorat | K (kelvin) | MK; kK; mK | |
| 17 | Elektr toki (elektr tokining kuchi) | A (amper) | kA; MA; mA; nA; pA | |
| 18 | Elektr miqdori, elektr zaryad | Kl (Kulon) | mKl; mKl; nKl; pKl | |
| 19 | Modda miqdori | mol | kmol; mmol; mkmol | |
| 20 | Molyar massa | kg/mol | g/mol | |

1.1 va 1.2- jadvallarda fan, texnika va xalq xo'jaligining turli sohalarida keng qo'llaniladigan birliklarning o'nlik karrali va ulushli qiymatlari keltirilgan.

Tayanch so'z va iboralar: o'lchash xatoliklari, absolyut xatolik, o'lchash asboblarining xatoligi, statistik va dinamik xatoliklar, muntazam xatoliklar.

1. O'lchash xatoliklari, ularning tabaqalanishi.

O'lchash natijasida, odatda, o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatidan farq qiladigan qiymati topiladi. Qo'pincha, fizik kattalikning haqiqiy qiymati noma'lum bo'ladi va shu kattalikning qiymati o'rnida uning tajriba yordamida topilgan qiymatlaridan foydalaniladi. Bu qiymat kattalikning haqiqiy qiymatiga shuncha yaqin bo'ladi ki ko'zda tutilgan maqsad uchun undan foydalanish mumkin. Kattalikning o'lchash usuli bilan topilgan qiymati *o'lchash natijasi* deyiladi. O'lchash natijasi bilan o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati orasidagi farq *o'lchash xatoligi* deyiladi. O'lchanayotgan kattalik birliklarida ifodalangan o'lchash xatoligi o'lchashning *mutlaq xatoligi* deyiladi:

$$\Delta X = X - X_h \quad (2.1)$$

bu yerda, ΔX — mutlaq xatolik; X — o'lchash natijasi; X_h — o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati.

O'lchash mutlaq xatoligining o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga nisbati o'lchashning *nisbiy xatoligi* deyiladi.

O'lchash xatoliklari ularning kelib chiqishi sabablariga ko'ra muntazam, tasodifiy va qo'pol xatoliklarga bo'linadi.

Muntazam xatolik deyilganda faqat bitta kattalikni qayta-qayta o'lchaganda o'zgarish bo'lib qoladigan yoki biror qonun bo'yicha o'zgaradigan o'lchash xatoligi tushuniladi. Ular aniq qiymat va ishoraga ega bo'ladi, ularni tuzatmalar kiritish bilan yo'qotish mumkin.

Kattalikni o'lchash natijasida olgan qiymatga muntazam xatolikni yo'qotish maqsadida qo'shiladigan qiymat tuzatma deb ataladi. Odatda, muntazam xatoliklar instrumental (o'lchash asboblari), o'lchash usullari, subyektiv (noaniq o'qish), o'rnatish, uslubiy xatoliklarga bo'linadi.

Instrumental xatolik deyilganda qo'llanayotgan o'lchov asboblari xatoliklariga bog'liq bo'lgan o'lchash xatoliklari tushuniladi. Yuqori aniqlikda o'lchaydigan asboblarda qo'llanganda o'lchov asboblarining takomillashmagani orqasida kelib chiqadigan instrumental xatoliklar tuzatma kiritish usuli bilan yo'qotiladi. Texnik o'lchov asboblarining instrumental xatoliklarini yo'qotib bo'lmaydi, chunki bu asboblarni tekshirilganda tuzatmalar bilan ta'minlanmaydi.

O'lchash usuli xatoligi deyilganda usulning takomillashmaganligi orqasida kelib chiqadigan xatolik tushuniladi. Ular, ko'pincha, yangi usullar qo'llaganda, qiymatlar orasidagi haqiqiy bog'lanishni taxminiy apporoksimatsiya qiluvchi tenglamalardan foydalanilganda paydo bo'ladi. O'lchash usuli xatoligi o'lchov vositasi, xususan, o'lchash qurilmasi, ba'zida esa, o'lchash natijasi xatoliklarini baholashda e'tiborga olinishi lozim.

Subyektiv xatoliklar kuzatuvchining shaxsiy xususiyatlaridan masalan, biror signal berilgan paytni kayd qilishda kechikish yoki shoshilishdan, shkala bir bo'limi

chegarasida ko'rsatuvni noto'g'ri yozib olishdan, parallaksdan va hokazodan kelib chiqadi. Parallaksdan hosil bo'lgan xatolik deyilganda sanash xatoligiga kiradigan, shkala sirtidan biror masofada joylashgan strelka shu sirtga perpendikulyar bo'lmagan yo'nalishda vizirlash (belgilash) natijasida kelib chikadigan xatolik tushuniladi.

O'rnatish xatoligi o'lchov asbobi strelkasining shkala boshlang'ich belgisiga noto'g'ri o'rnatilishi natijasida yoki o'lchash vositasini e'tiborsizlik bilan, masalan, vertikal yoki gorizontal bo'yicha o'rnatilmasligi natijasida kelib chiqadi.

O'lchash uslubi xatoliklari kattaliklarni (bosim harorat va b. ni) o'lchash uslubi bilan bog'liq bo'lgan va qo'llanayotgan o'lchash asboblari bog'liq bo'lmagan xatoliklaridan iborat.

O'lchashlarni, ayniqsa, aniq o'lchashlarni bajarishda o'lchash natijasini muntazam xatoliklar anchagina buzishi mumkin. Shuning uchun, o'lchashlarni bajarishga kirishishdan avval bu xatoliklarning barcha manbalarini aniqlash va ularni yo'qotish choralarini ko'rish zarur. Ammo muntazam xatoliklarni topish va yo'qotish uchun uzil-kesil qoidalar berish amalda mumkin emas, chunki turli kattaliklarni o'lchash usullari g'oyatda turli-tumandir.

Tasodifiy xatolik deyilganda faqat bitta kattalikni qayta-qayta o'lchash mobaynida tasodifiy o'zgaruvchi o'lchash xatoligi tushuniladi. Tasodifiy xatolikning borligini faqat bitta kattalikni bir xil sinchkovlik bilan qayta-qayta o'lchangandagina sezish mumkin. Agar xar bir o'lchash natijasi boshqalardan farq qilsa, u holda tasodifiy xatolik mavjud bo'ladi. Shu xatoliklarni baholash ehtimollar nazariyasi va matematik statistika nazariyasiga asoslangan bo'lib, ular o'lchash natijasi o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqinlashish darajasini baxolash usullarini, xatolikning ehtimoliy chegarasini baholash imkonini beradi, ya'ni natijani aniqlash, boshqacha aytganda, o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga anchagina yaqin qiymatini topish va kuzatish natijasini topish imkonini beradi.

O'lchashning qo'pol xatoligi deyilganda berilgan shartlar bajarilganda yuz beradigan, kutilgan natijadan tubdan farq qiladigan o'lchash xatoligi tushuniladi.

O'lchashdan ko'zda tutilgan maqsad va o'lchash aniqligiga qo'yiladigan talablarga qarab o'lchashlar *aniq (laboratoriya)* va *texnik o'lchashlarga* bo'linadi. O'lchash natijasining o'lcha-nayotgan kattalik haqiqiy qiymatiga yaqinligini ifodalovchi o'lchash sifati o'lchash aniqligi deb ataladi. Aniqlikni oshirishga intilib, biz o'lchash xatoligini kamaytirishimiz lozim. Ammo aniqlikni oshirish usullari, ko'pincha, murakkab bo'ladi va qimmat turadi. Shuning uchun, avval o'lchashning konkret shart-sharoitlari va maqsadlarga bog'liq bo'lgan maqbul aniqlikni baholab olish va zarur bo'lsa, so'ngra aniqlikni oshirish choralarini ko'rish lozim. O'lchashni bajaruvchi asboblarning ko'rsatishi o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatidan farq qiladi. Shuning uchun, o'lchov asbobining ko'rsatishi va haqiqiy ko'rsatishi degan tushunchalar mavjud.

Kattalikning sanoqqa ko'ra topilgan qiymati o'lchov asbobining ko'rsatishi deyiladi. Bu kattalikning namuna asboblari orqali aniqlangan ko'rsatishi haqiqiy ko'rsatishi deyiladi.

Asbobning ko'rsatishi va o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati orasidagi farq o'lchov asbobining xatosi deyiladi. Kattalikning haqiqiy qiymatini aniqlash mumkin bo'lmagani sababli, o'lchov texnikasida namuna asbobning ko'rsatishi shu kattalikning haqiqiy qiymati deb qabul qilinadi.

Agar X_k bilan sanoq ko'rsatishidagi qiymatni, X_h bilan haqiqiy qiymatni belgilasak, quyidagi ifodadan ΔX mutlaq xatolikni topamiz:

$$\Delta X = X_k - X_x \quad (2.2)$$

O'lchov asbobining mutlaq xatoligi deb, shu asbobning ko'rsatishi bilan o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati oradagi farqqa aytiladi. Bu yerda, xatoliklar plus yoki minus ishorasi bilan kattalikning birliklarida ifodalanadi. Mutlaq xatolik kattaligining haqiqiy qiymatiga nisbati nisbiy xatolik deb ataladi. Nisbiy xatolik orqali o'lchashning aniqlik darajasini ifodalash juda qulay.

$$b = \pm \frac{\Delta X}{X_x} \cdot 100 \% = \pm \frac{X_k - X_x}{X_x} \cdot 100 \% \quad (2.3)$$

Odatda, haqiqiy qiymat — X_q va topilgan qiymatlar X_k ga nisbatan ΔX juda kichik bo'ladi, ya'ni

$$\Delta X \leq X_x \quad \text{va} \quad \Delta X \leq X_k$$

Shuning uchun, quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$b = \pm \frac{\Delta X}{X_x} \cdot 100 \% \approx \pm \frac{\Delta X}{X_k} \cdot 100 \% \quad (2.4)$$

Shunday qilib, nisbiy xatolikni hisoblashda mutlaq xatolikning asbobning ko'rsatishiga nisbatini olish mumkin. Nisbiy xatolik % larda ifodalanadi.

Kattalikning haqiqiy qiymatini aniqlash uchun o'lchov asbobining ko'rsatishiga tuzatish kiritiladi. Uning son qiymati teskari ishora bilan olingan mutlaq qiymatga teng:

$$T = X_h - X_k \quad \text{yoki} \quad T = -\Delta X \quad (2.5)$$

bu yerda, T -tuzatma.

Asbobning xatoligi shkala diapazonining foizlarida ifodalanadi. Bunday xatoliklar keltirilgan xatolik deyiladi va mutlaq xatolikning asbob o'lchash chegarasiga nisbatiga teng, ya'ni

$$j = \frac{\Delta X}{N} \cdot 100 \% \quad (2.6)$$

bu yerda, N — asbobning o'lchash chegarasi.

Misol. Yuqorigi o'lchash chegarasi 3000 S bo'lgan potensiometrning ko'rsatishi $X_k = 2400S$ va o'lchanayotgan haroratning haqiqiy qiymati $X_h = 241,2^\circ S$ bo'lganidagi mutlaq, nisbiy, keltirilgan xatoliklari topilsin.

Mutlaq xatolik (2.2) ifoda bo'yicha $\Delta X = -1,2^\circ S$, nisbiy xatolik (2.4) ifoda bo'yicha $b = -0,5\%$, keltirilgan xatolik (2.6) ifoda bo'yicha $j = 0,4\%$.

Xatolik qiymati o'lchash asbobi aniqligini, demak, o'lchash natijasini xam xarakterlaydi. O'lchash aniq bo'lishi uchun xatosi kichik bo'lgan asboblardan foydalanish lozim. Ammo xatosiz asboblarni tayyorlash mumkin emas. Xatosi kichik bo'lgan asboblarni ishlatishda katta ehtiyotkorlik talab etiladi. Texnik o'lchashlar

uchun belgilangan qiymatdan oshmaydigan yo‘l qo‘yiladigan xatosi bor asboblardan foydalaniladi.

Asbob ko‘rsatishining standart yo‘l qo‘yadigan eng katta xatoligi yo‘l qo‘yiladigan xatolik deyiladi. Xatolik miqdori o‘lchashlar olib borilayotgan tashqi muhitga (atrof muhit harorati, atmosfera bosimi, tebranish va boshqalarga) bog‘liq bo‘lgani sababli asosiy va qo‘shimcha xatoliklar tushunchalari kiritiladi.

O‘lchash asbobi uchun texnik sharoitlar imkon bergan, maxsus yaratilgan normal ish sharoitida yo‘l qo‘yilgan xato asosiy xatolik deyiladi. Atrof-muhiting normal holati deb 20°S harorat va 101325 N/m² (760 mm sim. ust) atmosfera bosimi qabul qilingan. Tashqi sharoit o‘zgarishining asboblarga bo‘lgan ta’siridan kelib chiqqan xato qo‘shimcha xatolikdir. O‘lchov asboblarining sifati ularning xatoliklaridan tashqari asboblar variatsiyasi, sezgirligi va sezgirlik chegarasi bilan karakterlanadi.

Bir kattalikni ko‘p marta takroriy o‘lchashlar natijasida asbob ko‘rsatishlari orasidagi eng katta farq o‘lchov asbobining variatsiyasi deyiladi. Variatsiya o‘lchanayotgan kattalikni ma’lum bir miqdorgacha asta-sekin oshirib va kamaytirib aniqlanadi. Variatsiya o‘lchov asbobining mexanizmi, oraliqlari, gisterezisi va boshqa qismlardagi ishqalanishi sababli kelib chiqadi. Variatsiya (V) o‘lchov asbobi shkalasi maksimal qiymatining foizi hisobida ifodalanib, asosiy yo‘l qo‘yiladigan xatolik qiymatidan oshib ketmasligi lozim:

$$V = \frac{\Delta N}{N_{\max} - N_{\min}} \cdot 100 \% \quad (2.7)$$

bu yerda, ΔN — asbob ko‘rsatishidagi eng katta farq; N_{\max} va N_{\min} — asbob shkalasining yuqori va quyi qiymatlari.

O‘lchash vositalari o‘lchashlarda ishlatiladi va ular normallashtirilgan metrologik xossalarga, ya’ni kattaliklarning ma’lum sonli qiymatlariga hamda o‘lchash natijalarining aniqligi va ishonchliligini ifodalovchi xossalarga ega bo‘ladi.

O‘lchash vositalarining asosiy turlariga o‘lchovlar, o‘lchash asboblari, o‘lchash o‘zgartkichlari va o‘lchash qurilmalari kiradi.

O‘lchov — berilgan o‘lchamdagi fizik kattalikni qayta o‘lchash uchun mo‘ljallangan o‘lchash vositasi. Masalan, qadoqtosh — massa o‘lchovi; o‘lchov rezistori — elektr qarshilik o‘lchovi; yoritish lampasi — yorug‘lik o‘lchovi va hokazo.

Bir xil o‘lchamli turli fizik kattalikni qayta o‘lchaydigan bir qiymatli hamda turli o‘lchamdagi qator bir nomli kattaliklarni qayta o‘lchaydigan ko‘p qiymatli o‘lchovlar bor. Ko‘p qiymatli o‘lchovlarga bo‘linmali chizg‘ichlar, induktivlik variometri va boshqalar misol bo‘la oladi. Maxsus tanlangan, faqat alohidagina emas, balki turli birikmalarda turli o‘lchamli qator bir nomli kattaliklarni qayta o‘lchash maqsadida qo‘llaniladigan o‘lchovlar komplekti o‘lchovlar to‘plamini tashkil etadi. Masalan, qadoqtoshlar to‘plami, uchlikli uzunlik o‘lchovlari to‘plami, o‘lchov kondensatorlari to‘plami va hokazo. O‘lchovlar magazini—sanoq qurilmalari bilan bog‘langan maxsus qayta ulagichlarga ega bo‘lgan bitta konstruktiv butun qilib birlashtirilgan o‘lchovlar to‘plami. O‘lchovlar magazini

elektrotexnikada keng qo'llaniladi: qarshilik magazini, sig'imlar magazini, induktivliklar magazini.

O'lchovlarga standart namunalar va namuna moddalar ham kiradi.

Standart namuna — modda va materiallarning xossalari yoki tarkibini xarakterlovchi kattaliklarning birligini qayta tiklash uchun o'lchov. Masalan, tarkibidagi kimyoviy elementlari ko'rsatilgan ferromagnit materiallar xossalarning standart namunasi.

Namuna modda — tasdiqlangan spetsifikatsiyada ko'rsatilgan, tayyorlash shartlariga rioya qilinganda tiklanadigan ma'lum xossalarga ega bo'lgan moddadan iborat o'lchov. Masalan, «toza» gazlar, «toza» metallar, «toza» suv.

Kuzatuvchi idrok qilishi uchun qulay shakldagi o'lchov axboroti signalini ishlab chiquvchi o'lchash vositasi o'lchov asbobi deyiladi. O'lchov asbobida kuzatuvchi o'lchanayotgan kattalikning son qiymatini o'qiydi yoki sanaydi. O'lchov asboblari analog va raqamli bo'lishi mumkin. Analog o'lchov asboblarida asbobning ko'rsatishi o'lchanayotgan kattalik o'zgarishining uzluksiz funksiyasidan iborat bo'ladi, raqamli o'lchov asboblarida esa ko'rsatishlar o'lchov axboroti signalini diskret o'zgartirish natijasidan iborat bo'lgan raqamli shaklda ifodalangan bo'ladi.

Keyingi vaqtlarda raqamli asboblar borgan sari kengroq qo'llana boshlandi, chunki ularning ko'rsatuvlari osongina qayd qilinadi, ularni EHM ga kiritish qulay. Raqamli asboblarning tuzilishi o'lchashda analog asboblarga qaraganda katta aniqlikka erishishga imkon beradi. Shu bilan birga raqamli asboblar qo'llanganda o'qish xatoligi bo'lmaydi. Ammo analog asboblar raqamli asboblarga qaraganda anchagina sodda va arzonidir.

O'lchov asboblari ko'rsatuvchi, qayd qiluvchi, kombinatsiyalangan, integrallovchi va jamlovchi asboblarga bo'linadi. Ko'rsatuvchi asboblarda raqamli qiymatlar shkala yoki raqamli tablodan o'qiladi. Qayd qiluvchi asboblarda ko'rsatuvlarni diagramma qog'ozida yozib olish yoki raqamli tarzda chop etish ko'zda tutiladi. Kombinatsiyalangan asboblar o'lchanayotgan kattalikni bir vaqtning o'zida ko'rsatadi hamda qayd qiladi. Integrallovchi asboblarda o'lchanayotgan kattalik vaqt bo'yicha yoki boshqa erkli o'zgaruvchi bo'yicha integrallanadi. Jamlovchi asboblarda ko'rsatishlar turli kanallar bo'yicha unga keltirilgan ikki yoki bir necha kattalikning yig'indisi bilan funksional bog'langan bo'ladi.

O'lchashga doir axborotni uzatish, o'zgartirish, ishlov berish va saqlash uchun qulay bo'lgan, ammo kuzatuvchi bevosita idrok qilishi mumkin bo'lmaydigan shakldagi signalni ishlab chiquvchi o'lchash vositasi o'lchash o'zgartkichi deb ataladi. Inson o'zining sezgi organlari bilan o'lchash o'zgartkichi signallarini qabul qila olmaydi. O'zgartiriladigan fizik kattalik — kirish kattaligi, uning o'zgartirilgani esa chiqish kattaligi deyiladi. Kirish va chiqish kattaliklari orasidagi bog'lanishni o'zgartkich funksiyasi qaror toptiradi. O'lchash o'zgartkichlari o'lchov asboblarining, turli o'lchov tizimlarining, biror jarayonlarni avtomatik nazorat qilish yoki boshqarish tizimlarining tarkibiy qismi hisoblanadi. O'lchanayotgan kattalik berilgan o'lchash o'zgartkichi birlamchi o'zgartkich deyiladi. Birlamchi o'lchash o'zgartkichlari, ko'pincha, datchik deb yuritiladi. Uning bevosita o'lchanayotgan fizik kattalik ta'siridagi qismi sezgir element deyiladi. Masalan, termoelektrik termometrda termojuft, manometrik termometrda tarmoballon ana shunday

elementlardir. O'lchov asboblari va o'zgartkichlari o'lchanayotgan kattalikning turiga qarab tegishli nomlarga ega bo'ladi, masalan, termometrlar, manometrlar, difmanometrlar, sarf o'lchagichlar, sath o'lchagichlar, gaz analizatorlari, konsentratometrlar, nam o'lchagichlar va hokazo.

Ayrim o'lchov vositalari va o'lchov tizimlaridan tashqari murakkab axborot-o'lchov tizimlari ham qo'llanadi. Ular ko'plab texnologik uskunalarda avtomatik o'lchashni amalga oshirishnigina ta'minlab qolmay (o'lchov kanallari soni ming-minglab bo'lishi mumkin), balki o'lchash natijalarini berilgan algoritmlar bo'yicha zarur qayta ishlashni ham bajaradi. Shu munosabat bilan o'lchash o'zgartkichlarining axborot-hisoblash mashinalari va qurilmalari kirishiga keladigan signallarini unifikatsiyalashtirish (bir xillashtirish) zarurati tug'iladi. Signallarni unifikatsiyalashtirish o'lchov asboblari turlarini minimumga keltirish imkonini beradi.

O'lchov vositalari o'lchash jarayonidagi bajarayotgan vazifasiga qarab ish, namuna va etalon o'lchov asboblariga bo'linadi.

Ish o'lchov asboblari xalq xo'jaligining barcha tarmoqlarida amaliy o'lchashlar uchun mo'ljallangan. Ular anikligi orttirilgan o'lchov asboblariga va texnik o'lchov asboblariga bo'linadi.

Namuna o'lchov asboblari ish o'lchov asboblarini tekshirish va ularni o'zlari bo'yicha darajalashga xizmat qiladi.

Etalon asboblari fizik kattalik biriklarini qayta tiklash va saqlash, ularning o'lchamlarini namuna o'lchov asboblari orqali xalq xo'jaligida qo'llanadigan ish o'lchov vositalariga o'tkazishga xizmat qiladi. Fizik kattaliklarning birliklari o'lchami shu usul bilan etalonlardan namuna o'lchov asboblari yordamida boshqa o'lchov asboblariga o'tkaziladi.

O'lchash vositalarining ko'rsatishlaridagi xatoliklarni aniqlash yoki ularning ko'rsatishlariga tuzatish kiritish maqsadida o'lchov vositalari ko'rsatishlarini namuna o'lchov asboblarining ko'rsatishlariga taqqoslash deb ataladi.

Shkala asbobni tekshirish bo'linmalariga qabul qilingan o'lchov birliklarida ifodalangan qiymatlar berish operatsiyasi darajalash deb ataladi.

O'lchash vositalari yordamida o'lchanayotgan fizik kattaliklar o'lchash axboroti signali foydalaniladigan biror chiqish kattaligiga o'zgartiriladi.

Fizik kattalikni o'lchashda o'lchov qurilmasi (asbobi) fizik kattalikni ko'rsatkichning mutanosib siljitadi:

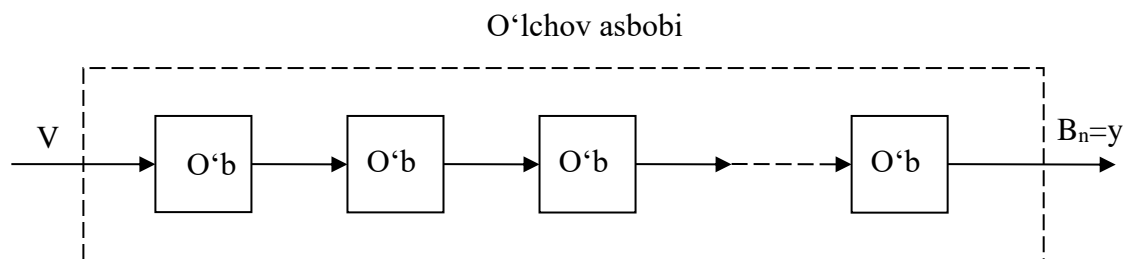
$$\varphi = f(B) \quad (2.8)$$

bu yerda, φ — asbob ko'rsatkichining burchakli yoki chiziqli siljishi, V — o'lchanayotgan fizik kattalik.

(2.8) bog'lanish asbob shkalasining tenglamasi yoki xarakteristikasi deyiladi.

Har qanday o'lchov asbobining ishi oqibat natijada o'lchanadigan kattalikni ko'rsatkichning siljishiga moslab o'zgaririshga keltiriladi. Shu sababli o'lchash asbobini sxematik ravishda, o'lchanayotgan fizik kattalik V ni ko'rsatkichning mexanik siljish miqdori φ ga o'zgartiradigan o'zgartkich deb qarash mumkin.

Oraliq o'zgartishlar soniga qarab asbobni bo'g'inlarga bo'lish mumkin, bu bo'g'inlarning har biri asbob ichida V miqdorni ma'lum tarzda o'zgartiradi. Ana shu bo'g'inlar majmuasi o'lchanayotgan kattalikning talab etilgan o'zgarishini ko'rsatkichning siljishi φ ga o'zgartiradi.

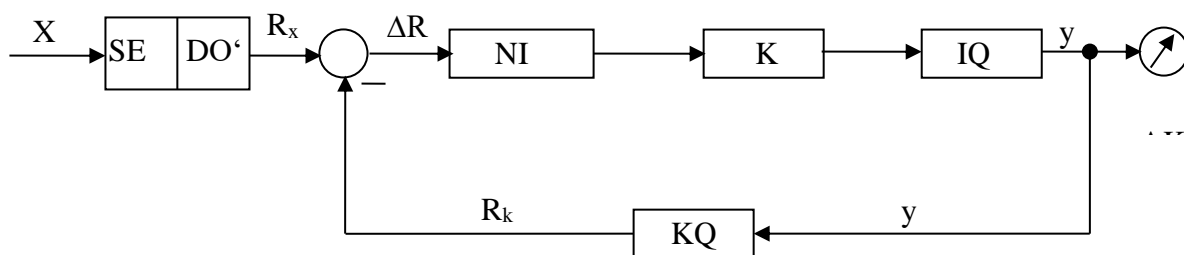


2.1– rasm. O'lchov asbobining umumlashgan strukturasi sxemasi

Istalgan o'lchov asbobining struktura sxemasi, uning ishlash, prinsipidan qat'i nazar, ketma-ket ulangan o'lchash bo'g'inlari $O'B_1, O'B_2, O'B_3, \dots, O'B_n$, (2.1-rasm) qatoridan tuzilgan zanjir kabi tasvirlanishi mumkin. Birinchi bo'g'in $O'B_1$ uchun kirish qiymati bo'lib V kattalik xizmat qiladi. Har bir bo'g'inning chikish qiymati keyingi bo'g'in uchun kirish qiymati bo'lib xizmat qiladi. Oxirgi $O'B_n$ bo'g'inning chikish qiymati ko'rsatkichning $V_n = \varphi$ siljishini anglatadi.

Umumiy holda o'lchov vositalarining struktura sxemasini qurish prinsipiga qarab ikki guruhga bo'lish mumkin: to'g'ri o'zgartiradigan o'lchash sxemasi va signali moslashtiriladigan o'lchash sxemalari. To'g'ri o'zgartirish prinsipi bo'yicha qurilma o'lchov vositalarida o'lchanayotgan kattalik dastlabki o'zgartkichga yoki uning o'lchash zanjiri qismidan iborat bo'lgan sezgir elementga keladi. O'lchash zanjirida, odatda, o'lchanayotgan kattalikni axborotning biror eltuvchisi (elektr toki kuchi yoki kuchlanishi, siqilgan havo bosimi va boshqalar) signaliga o'zgartirish kiritish bo'yicha amalga oshiriladi. So'ngra mazkur signal kuchaytiriladi va sanash qurilmasiga uzatiladi. Eng sodda variantda shu sxemadan faqat sezgir element va sanash qurilmasi qolishi mumkin. To'g'ri o'zgartkich sxemalari sodda, ishonchli, yetarli tezkorlikka ega hamda uncha qimmatga tushmaydi. Ammo ulardan, amalda, kichik signallarini o'lchashda foydalanib bo'lmaydi. Defferensial o'zgartkichlar va ular bilan o'lchash sxemalari signali to'g'ri o'zgartkich sxemalari turlaridan biridir.

Signalni muvozanatlashtiradigan o'lchash sxemalari strukturasi 2.2-rasmda keltirilgan. O'lchanayotgan kattalik X dastlabki o'zgartkich DO' ga yoki uning sezgir elementi SE ga keladi va R_x signalga aylantiriladi, bu signal kompensatsiya qurilmasi KQ dan chiqqan R signal bilan moslashtiriladi. Kompensatsiya qurilmasi KQ chiqish signali φ ni kompensatsiya qiluvchi R_k signalga o'zgartiradi.



2.2– rasm. Signalni muvozanatlashtiruvchi o'lchov asboblarning struktura sxemasi.

Nobalans signali ΔR nomuvofiqlashtirish indikatori NI orqali kuchaytirgich K kirishiga beriladi. Kuchaytirgichning chiqish signali integrallovchi kurilma IQ ga (masalan, reversiv dvigateliga) ta'sir qiladi yoki chiqish signali φ kuchaytirgich chiqishidan olinadigan signal yo'q bo'lganda o'zgarmay qolaveradi. Signal asbob ko'rsatkichi AK va kompensatsiya qurilmasi KQ ga beriladi. Shunday qilib, chiqish signali φ o'lchanayotgan X kattalik qiymatini aniqlaydi. Signalni muvozanatlashtiruvchi asboblari yuqori aniqlikka ega bo'lib, kichik signallarni o'lchash imkonini beradi, ammo ularning tezkorligi kam, bahosi yuqori, ishonchliligi esa to'g'ri o'zgartkich asboblari nikiga qaraganda past.

3-Mavzu: **Haroratni nazorat qilish. Umumiy tushunchalar. Harorat shkalasi. Harorat o'lchash vositalarining tasnifi**

Reja:

- 1. Umumiy tushunchalar.**
- 2. Harorat shkalasi.**
- 3. Harorat o'lchash vositalarining tasnifi.**

Temperatura – texnologik jarayonlarning muhim parametri bo'lib, amalda ham past, ham yuqori temperaturalar bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi.

Jismning temperaturasi molekulalarning issiqlik harakatida hosil bo'ladigan ichki kinetik energiyasi bilan belgilanadigan qizdirilganlik darajasi bilan xarakterlanadi. Temperaturani o'lchash amalda ikkisidan birining qizdirilish darajasi ma'lum bo'lgan ikki jismning kizdirilishini taqqoslash yordamidagina mumkin bo'ladi. Jismlarning qizdirilganlik darajasini taqqoslashda ularning temperaturaga bog'liq bo'lgan va osongina o'lchanadigan fizik xossalardan birortasini o'zgartishdan foydalaniladi.

Molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi va ideal gaz temperaturasi orasidagi bog'lanish quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$E = \frac{3}{2} KT \quad (3.1)$$

bunda $K = 1,380 \cdot 10^{-25} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ — Bolsman doimiysi; T — jismning absolyut temperaturasi, K .

Agar jismning temperaturasi turlicha bo'lsa, ular bir-biriga tegib turganida energiyalarning tenglashuvi ro'y beradi; yuqoriroq temperaturaga, ya'ni molekulalari ko'proq o'rtacha kinetik energiyasiga ega bo'lgan jism o'z issikligini (energiyasini) kamroq temperaturaga, ya'ni molekulalari kamroq o'rtacha kinetik energiyasiga ega bo'lgan jismga beradi. Shunday kilib, temperatura issiqlik almashish, issiqlik o'tkazish jarayonlarining ham sifat, ham miqdoriy tomonlarini xarakterlaydigan parametrdir. Ammo temperaturani bevosita o'lchash mumkin emas, uni jismning temperaturaga bir qiymatli bog'liq bo'lgan qandaydir boshqa fizik parametrlari bo'yichagina aniqlash mumkin. *Temperaturaga bog'liq parametrlarga* masalan, **hajm, uzunlik, elektr qarshilik, termoelektr yurituvchi kuch, nurlanishning energetik ravshanligi** va hokazolar kiradi.

Temperatura o'lchaydigan asbobni 1598 yilda Galiley birinchi bo'lib tavsiya etgan. So'ngra M.V. Lomonosov, Farengeytlar termometr ishlab chiqishdi.

O'lchanayotgan temperaturaning son qiymatini topish uchun temperaturalar shkalasini o'rnatish, ya'ni sanoq boshini va temperatura oralig'ining o'lchov birligini tanlash lozim.

Kimyoviy toza moddalarning oson tiklanadigan (asosiy reper va tayanch) qaynash va erish nuqtalari bilan chegaralangan temperatura oralig'idagi qator belgilar temperatura shkalasini hosil qiladi. By temperaturalariga t' va t'' qiymatlar berilgan. U holda o'lchov birligi

$$1 \text{ gradus} = \frac{t'' - t'}{n}. \quad (3.2)$$

bu yerda t' va t'' — oson tiklanadigan o'zgarmas temperaturalar; p — t'' , t' tayanch nuqtalar orasidagi temperatura oralig'i bo'linadigan butun son.

Temperatura shkalasining tenglamasi

$$t = t' + \frac{v - v'}{v'' - v'} \cdot (t'' - t'), \quad (3.3)$$

bu yerda t' va t'' — moddaning tayanch nuqtalari (760 mm sim. ust. bosimida va og'irlik kuchining $980,665 \text{ sm/s}^2$ tezlanishida muzning erish va suvning qaynash temperaturalar); v' va v'' — t' , t'' temperaturalaridagi moddaning (suyuqlikning) hajmi; $v - t$ temperaturadagi moddaning (suyuqlikning) hajmi.

Tabiatda hajmiy kengayishi va temperaturasi chiziqli bog'langan suyuqliklar bo'lmaydi. Shuning uchun temperaturalarining ko'rsatishi termometrga solinadigan moddaning (simob, spirt va boshqalar) tabiatiga bog'liq. Fan va texnikaning rivojlanishi bilan yagona termometrga solinadigan moddaning birorta xususiyati bilan bog'lanmagan temperatura shkalasini yaratish zaruriyati paydo bo'ladi. 1848 yilda ingliz fizigi Kelvin termodinamikaning ikkinchi qonuni asosida yangi temperatura shkalasini tuzishni taklif qildi. Termodinamik temperaturalar shkalasining tenglamasi:

$$T = \frac{Q}{Q_{100} - Q_0} \cdot 100 \% \quad (3.4)$$

bu yerda Q_{100} va Q_0 — suvning qaynashi va muzning erish temperaturalariga mos issiqlik miqdorlari; $Q - T$ temperaturaga mos issiqlik miqdori.

O'lchov va vaznlar bo'yicha 1960 yil o'tkazilgan XI xalqaro konferensiya qarorlarida, GOST 8550 – 61 da ikki temperatura shkalasi; Kelvin gradusi (K) o'lchov birligi bilan o'lchanadigan termodinamik shkala va Selsiy gradusi ($^{\circ}\text{C}$) o'lchov birligi bilan o'lchanadigan xalqaro amaliy shkalalarning qo'llanishi ko'zda tutilgan. Kelvin termodinamik shkalasidagi pastki nuqta – absolyut nol nuqta (A) bo'lib, yagona eksperimental asosiy nuqta esa suvning uchlik nuqtasidir. Bu nuqtaning son qiymati 273.15 K. Suvning muz, suyuq va gaz fazalaridagi muvozanat nuqtasi bo'lgan suvning uchlik nuqtasi muz erish nuqtasidan 0,01 K yuqoriroq turadi. Termodinamik temperatura T harfi bilan, son qiymatlari esa K bilan ifodalanadi.

Amaliy o'lchashlarda ishlatiladigan xalqaro amaliy temperatura shkalasi termodinamik shkala ko'rinishida ishlangan. Bu shkala kimyoviy toza moddalarning bir qadar oson tiklanadigan o'zgarmas qaynash va erish nuqtalari asosida tuzilgan. Ularning sonli qiymati gazli termometrlar orqali aniqlangan bo'lib, Xalqaro amaliy temperatura shkalasi o'lchov va vaznlar bo'yicha o'tkazilgan XI umumiy konferensiyada qabul qilingan.

Xalqaro amaliy shkala bo'yicha o'lchanadigan temperatura t harfi bilan, sonli qiymati esa $^{\circ}\text{S}$ belgisi bilan ifodalanadi. Absolyut termodinamik shkala bo'yicha ifodalangan temperatura bilan shu temperaturaning xalqaro shkala bo'yicha ifodasi orasidagi munosabat quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$T = t + 273,15; \quad (3.5)$$

bu yerda T – absolyut termodinamik shkaladagi K temperatura; t – xalqaro amaliy shkaladagi $^{\circ}\text{C}$ temperatura.

Angliya va AQSH da 1715 yilda taklif qilingan Farengeyt shkalasi ($^{\circ}G$) qo'llanadi. Bu shkalada ikki nuqta: muzning erish nuqtasi ($32^{\circ}G$) va suvning qaynash nuqtasiga ($212^{\circ}G$) asoslangan Xalqaro amaliy shkala, absolyut termodinamik shkala va Farengeyt shkalasi bo'yicha hisoblangan temperatura munosabati quyidagicha:

$$t^{\circ}C = T^{\circ}K - 273,15 = 0,556 (n^{\circ}F - 32), \quad (3.6)$$

bu yerda n — Farengeyt shkalasi bo'yicha graduslar soni.

Hozir 1968 yilda qabul qilingan va 1971 yil 1 yanvardan majburiy joriy egilgan Xalqaro amaliy temperatura shkalasi (MPTSH-68) qo'llaniladi. U absolyut termodinamik temperatura shkalasining amalda qo'llanishidan iborat. Bu shkala shunday tanlanganki, u bo'yicha o'lchangan temperatura termodinamik temperaturaga yaqin bo'ladi va ular orasidagi ayirma zamonaviy o'lchash aniqligi chegaralarida bo'ladi. MPTSH-68 o'zgarmas, aniq tiklanadigan turg'unlik temperaturalari sistemasiga asoslangan bo'ladi. Ularning son qiymatlari berilgan bo'ladi. MPTSH-68 ning eng muhim o'zgarmas nuqtalari (temperaturalari) 3.1-jadvalda berilgan.

| Мувозанат ҳолатлари | Халқаро амалий температураларга берилган қиймат | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|
| | 2 | 3 |
| Водороднинг қаттиқ, суюқ ва газсимон фазалари орасидаги мувозанат (водороднинг учламчи нуқтаси) | 13,81 | — 253,34 |
| 33330,6 Па (25/76 нормал атмосфера босими) босимда водороднинг суюқ ва газсимон фазалари орасидаги мувозанат | 17,042 | — 256,108 |
| Водороднинг суюқ ва газсимон фазалари орасидаги мувозанат (водороднинг қайнаш нуқтаси) | 20,28 | — 252,87 |
| Неоннинг суюқ ва газсимон фазалари орасидаги мувозанат (неоннинг қайнаш нуқтаси) | 27,102 | — 246,048 |
| Кислороднинг қаттиқ, суюқ ва газсимон фазалари орасидаги мувозанат (кислороднинг учламчи нуқтаси) | 54,361 | — 218,789 |
| Кислороднинг суюқ ва газсимон фазалари орасидаги мувозанат (кислороднинг қайнаш нуқтаси) | 90,188 | — 182,962 |
| Сувнинг қаттиқ, суюқ ва газсимон фазалари орасидаги мувозанат (сувнинг учламчи нуқтаси) | 273,16 | 0,01 |
| Сувнинг суюқ ва буғсимон фазалари орасидаги мувозанат (сувнинг қайнаш температураси нуқтаси) | 373,15 | 100 |
| Миснинг қаттиқ ва суюқ фазалари орасидаги мувозанат (рухнинг қаттиқлашиш нуқтаси) | 692,73 | 419,58 |
| Кумушнинг қаттиқ ва суюқ фазалари орасидаги мувозанат (кумушнинг қаттиқлашиш нуқтаси) | 1235,08 | 961,93 |
| Олтиннинг қаттиқ ва суюқ фазалари орасидаги мувозанат (олтиннинг қаттиқлашиш нуқтаси) | 1337,58 | 1064,43 |

MPTSH-68 temperaturani 13,81 dan 6300 K gacha oraliqda o'lchashni ta'minlaydi.

MDHda MPTSH-68 dan tashqari temperaturani 0,01 dan 100 000 K chegarada bir xil o'lchashni amalga oshirish uchun mo'ljallangan amaliy temperatura shkalalari (GOST 8.157 – 75) ishlatiladi.

Temperatura o'lchash vositalarining tasnifi

Zamonaviy termometriya o'lchashning turli usul va vositalariga ega. Har bir usul o'ziga xos bo'lib, universallik xususiyatiga ega emas. Berilgan sharoitda optimal o'lchash usuli o'lchashga qo'yilgan aniqlik sharti va o'lchashning davomliligi sharti, temperaturani kayd qilish va avtomatik boshqarish zarurati yordamida belgilanadi.

Eng qulay, aniq va ishonchli o'lchash usullari temperaturani birlamchi datchiklari sifatida qarshilikning termoo'zgartkichi va termoelektr o'tgartkichlardan foydalanadigan kontaktli usullardan iborat.

Nazorat qilinadigan muhitlar tashqi sharoitni o'zgartirganda fizik xossalarning turli agressivligi va turg'unligi darajasi bilan suyuq, sochiluvchan, gazsimon yoki qattiq bo'lishi mumkin.

Temperaturani nazorat qilish vositalarining mavjudligi nazorat qilinayotgan muhit, obyekt, ishlatilish sharoitlari va texnik talablarning turli tumanligidadir.

GOST 13417– 76 bo'yicha **temperaturani o'lchash asboblarning ishlash prinsipiga** qarab ularni quyidagi gruppalariga bo'linadi:

1. *Kengayish termometrlari*. Bu termometrlar temperatura o'zgarishi bilan suyuqlik yoki qattiq jismlar hajmi yoxud chiziqli o'lchamlarning o'zgarishiga asoslangan;

2. *Manometrik termometrlar*. Bu asboblarda moddalar hajmi o'zgarish bilan temperatura o'zgarishi bilan bosimning o'zgarishiga asoslangan;

3. Temperatura ta'sirida o'zgargan termoelektr yurituvchi kuchning o'zgarishiga asoslangan *termoelektr termometrlar*;

4. O'tkazgich va yarim o'tkazgichlarning temperaturasi o'zgarishi sababli elektr qarshilikning o'zgarishiga asoslangan *qarshilik termometrlari*;

5. *Nurlanish termometrlari*. Ular orasida eng ko'p tarqalganlari: a) optik pirometrlar – issiq jismning ravshanligini o'lchash asbobi; b) rangli pirometrlar (spektral nisbat pirometrlari), jismning issiqlikdan nurlanish spektridagi energiyaning taqsimlanishini o'lchashga asoslangan; v) radiatsion pirometrlar – issiq jism nurlanishining quvvatini o'lchashga asoslangan.

3.2-jadvalda sanoatda eng ko'p tarqalgan o'lchash vositalari keltirilgan va seriyali o'lchash vositalarining qo'llanish chegaralari ko'rsatilgan.

3.2-jadval

| O'lchash vositasi turi | O'lchash vositalarining turli tumanligi | | | Davomli foydalanish chegarasi, °S | |
|--------------------------------|-----------------------------------------|-----|--------|-----------------------------------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Kengayish termometrlari | Suyuqlikka oid termometrlar | oid | shisha | -200 | 600 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------|------|------|
| | Dilatometrik va bimetalli termometrlar | -150 | 700 |
| Manometrik termometrlar | Gazli | -150 | 1000 |
| | Suyuqlikli | -150 | 600 |
| | Bug‘-suyuqlikli(kondensatsion) | -50 | 300 |
| Termoelektrik termometrlar | Termoelektrik termometrlar | -200 | 2500 |
| Qarshilik termometrlari | Metall (o‘tkazgichli) qarshilik termometrlari | -260 | 1100 |
| | Yarim o‘tkazgichli qarshilik termometrlari | -272 | 600 |
| Pirometrlar | Kvazimonoxromatik priometrlar | 700 | 6000 |
| | Spektral nisbatli priometrlar | 300 | 2800 |
| | To‘liq nurlanish pirometrlari | -50 | 3500 |

KENGAYISH TERMOMETRLARI. SUYUQLIKLI, DILATOMETRIK VA BIMETALLI TERMOMETRLAR

Suyuqlikli termometrlar. Suyuqlikli termometrlar -200°S dan $+600^{\circ}\text{S}$ gacha oraliqdagi temperaturani o‘lchash uchun ishlatiladi. Shisha termometrlarning ishlatilish usuli sodda, aniqligi yetarli darajada yuqori va arzon bo‘lgani sababli laboratoriya va sanoatda keng tarqalgan. Suyuqlikli termometrlarning ishlash prinsipi termometr ichiga o‘rnatilgan termometr suyuqligining hajmi temperatura ko‘tarilishi yoki pasayishida o‘zgarishiga asoslangan. Shisha termometrlarning suyuqligi sifatida simob, toluol, etil spirt (etanol), kerosin, petroley efir, pentan va boshqalar ishlatiladi. Ularning qo‘llanilish chegaralari 3.2-jadvalda keltirilgan.

Suyuqlikli termometrlar orasida eng ko‘p tarqalgani simobli termometrlardir.

3.2-jadval

Termometrlarga solinadigan suyuqliklar

| Suyuqlik | Qo‘llanilish chegaralari, $^{\circ}\text{S}$ da | |
|----------------------|-------------------------------------------------|--------|
| | pastki | yuqori |
| Simob | -35 | 600 |
| Toluol | -90 | 200 |
| Etil spirti (etanol) | -80 | 70 |
| Kerosin | -60 | 200 |
| Petroley efir | -120 | 25 |
| Pentan | -200 | 20 |
| | | |

Simobning kengayish koeffitsiyentini kichikligi termometriya nuqtai nazardan uning kamchiligi hisoblanadi. Suyuqlikning issiqlikdan kengayishi hajmiy

kengayish koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi. Bu koeffitsiyent quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\beta_{t_1 t_2} = \frac{v_{t_2} - v_{t_1}}{v_0(t_2 - t_1)}, \quad 1 / \text{град} , \quad (3.1)$$

bu yerda v_{t_1} va v_{t_2} — suyuqlikning t_1 va t_2 temperaturalaridagi hajmi; v_0 — shu suyuqlikning 0°S dagi hajmi.

β koeffitsiyent qancha katta bo'lsa, hajmiy kengayish temperaturasining 1°S ga o'zgarishiga shuncha ko'proq moslashadi. Termometrlarda hajmiy kengayish temperatura koeffitsiyenti yuqori bo'lgan suyuqliklardan foydalanish maqsadga muvofiq. O'lchashning maqsadi va diapazoniga qarab termometrlar kengayish koeffitsiyenti kichik bo'lgan turli markali (GOST 1224 —71) shishalardan tayyorlanadi. Texnikada qo'llaniladigan suyuqlikli shisha termometrlar quyidagi **xillarga** bo'linadi:

1. *Ko'rsatishlariga tuzatish kiritilmaydigan termometrlar* (keng miqyosda qo'llaniladigan termometrlar): **a)** simobli termometrlar (-35 dan $+600^\circ\text{S}$ gacha); **b)** organik suyuqlikli termometrlar (-200 dan $+200^\circ\text{S}$ gacha);

2. *Ko'rsatishlariga pasportga binoan tuzatish kiritiladigan termometrlar*: **a)** aniqlik darajasi yuqori simobli termometrlar (-35 dan $+600^\circ\text{S}$ gacha); **b)** aniq o'lchovlarga mo'ljallangan simobli termometrlar (0 dan $+500^\circ\text{S}$ gacha); **v)** organik suyuqlikli termometrlar (-80 dan $+100^\circ\text{S}$ gacha).

Konstruksiyalarining xilma-xilligiga qaramay barcha suyuqlikli termometrlar ikki asosiy turning biriga: *tayoqcha shaklidagi* yoki *shkalasi ichiga oʻrnatilgan termometrlar* turiga tegishli boʻladi. Tayoqcha shaklidagi termometr (3.1-rasm, a) qalin devorli, tashqi diametri 6 ... 8 mm ga teng qilib tayyorlangan kapillyar naychadan iborat. Naychaning pastki qismi suyuqlik saqlanadigan rezervuar hosil qiladi. Ularning shkalasi bevosita kapillyarning sirtida darajalanadi.

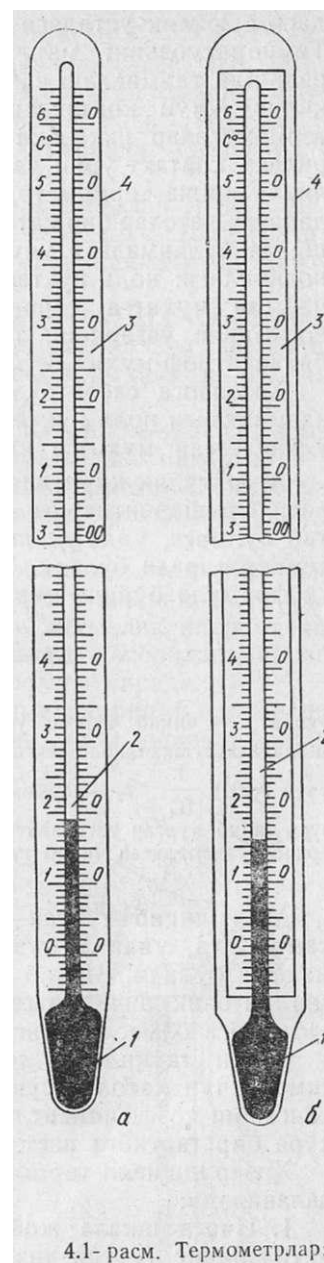
Shkalasi ichiga oʻrnatilgan termometrlarda (3.1-rasm, b) kapillyar naychasi ingichka devorli boʻlib, simob rezervuari kengaytirilgan. Shkala darajalari sut rang yassi shisha plastinkada joylashgan va kapillyar bilan birgalikda rezervuarga yopishgan shisha qobiq ichiga olingan. Hozirgi vaqtda shkalasi ichiga oʻrnatilgan yoki burchakli (termometrning pastki kismi 90°, 120° va 135° li burchak hosil qiladi) texnik termometrlar tayyorlanadi. Yuqori darajali termometrlarda kapillyardagi suyuqlik ustidagi boʻshliq inert gaz bilan toʻldiriladi. Temperaturaning maʼlum darajada saqlanishini avtomatik ravishda taʼminlash va uning maʼlum qiymatini signalizatsiya qilish uchun kontaktli termometrlar qoʻllaniladi. Bunday termometrlar ikki yoki undan koʻproq kontaktli boʻlib, yuqoridagi kontakt oʻrni oʻzgaruvchan boʻladi. Temperaturani suyuqlikli shisha termometr bilan oʻlchash aniqligidagi yoʻl qoʻyiladigan xatolar bir qator faktorlarga bogʻliq: tekshirilmagan shkala boʻlinmalari uchun kiritiladigan tuzatish qiymatining noaniqligi; nol nuqtasining oʻzgarishi; termometrning oʻlchanayotgan muhitga kirish chuqurligining har xilligi, tashqi bosimning oʻzgarishi; termometr inersiyasining va rezervuar bilan atrof-muhit issiqligining muvozanati.

Xatolarga sabab boʻladigan keltirilgan faktorlardan eng ahamiyatlisi nol nuqtasining oʻzgarishi hamda termometrning oʻlchanayotgan muhitga kirish chuqurligining har xilligidir.

Agar toʻliq kiritilganda darajalangan termometrni ishlatilish sharoitlariga koʻra oʻlchanayotgan muhitga toʻliq kiritib boʻlmasa, unda uning rezervuari va suyuqlik ustuni turli temperaturada boʻladi. Chiqib turgan ustunga tuzatma quyidagi formula boʻyicha kiritiladi:

$$\Delta t = n\beta_{t_1 t_2}(t_2 - t_1), \quad (3.2)$$

bunda n – chiqib turgan ustundagi darajalar (graduslar) soni, $\beta_{t_1 t_2}$ — shishadagi suyuqlikning kengayish koeffitsnenti (simob uchun 0,00016, spirt uchun 0,001), $\frac{1}{^\circ\text{C}}$; t_2 — termometr koʻrsatayotgan temperatura $^\circ\text{S}$; t_1 — rezervuar chiqib turgan



4.1- расм. Термометрлар:

ustunning o'rtasiga biriktirilgan yordamchi termometr orqali o'lchanadigan chiqib turgan ustunning o'rtacha temperaturasi.

Agar chiqib turgan ustun temperaturasi o'lchanayotgandan kam bo'lsa, unda Δt tuzatma ishorasi musbat, ortiq bo'lsa, "–" manfiy bo'ladi. Chiqib turgan ustun hisobiga paydo bo'ladigan xatolik ancha katta bo'lishi mumkin va shuning uchun uni e'tiborga olmaslikning iloji yo'q.

Shuni ta'kidlash lozimki, chiqib turgan ustun hisobiga simob uchun xatolik suyuqliklarnikiga qaraganda temperatura kengayish koeffitsiyentlari qiymatining katta farq qilishiga ko'ra bir tartibga past.

Hozir shishali **termometrlarning** quyidagi **turlaridan** foydalaniladi:

1. Ichiga shkala joylashtirilgan texnik simobli termometrlarning (to'g'ri chiziqli va burchakli) 11 xili chiqariladi:

-90 ... +30; -60 ... +50; -30 ... +50; 0 ... 100; 0...160; 0...200; 0... 300; 0... 350, 0... 450; 0... 530 va 0...600°S.

Shkala bo'linmasining qiymati 0,5°S (shkalasi -30... +50°S) dan 5 va 10°S gacha (shkalasi 0 ... 600°S).

2. Tayoqli, ichiga shkala joylashtirilgan laboratoriya simobli termometrlari –30 dan +600°S gacha temperaturani o'lchashga muljallangan, shkala bo'linmasining qiymati 0,1 va 2°S;

3. Suyuqlikli (simobli emas) termometrlar (GOST 9177 — 74) tayoqli, o'lchash chegaralarini –200 dan + 200°S gacha qilib chiqariladi. Shkala bo'linmasining qiymati 0,2 dan 5°S gacha.

4. Simobli yuqori aniqlikdagi va namunaviy (GOST 13646—68) termometrlar o'lchash chegarasi tor (4 dan 59°S gacha) va shkala bo'linmasining qiymati 0,01 dan 0,1°S gacha qilib chiqariladi.

5. Simobli elektr kontaktli (GOST 9871 —75) termometrlar –30 dan 300°S gacha o'lchashga mo'ljallab chiqariladi.

6. Maxsus termometrlar: meditsina (maksimal), meteorologik (maksimal, minimal, psixometrik, tuproqqa oid va x,) va boshqa maqsadlarga mo'ljallangan.

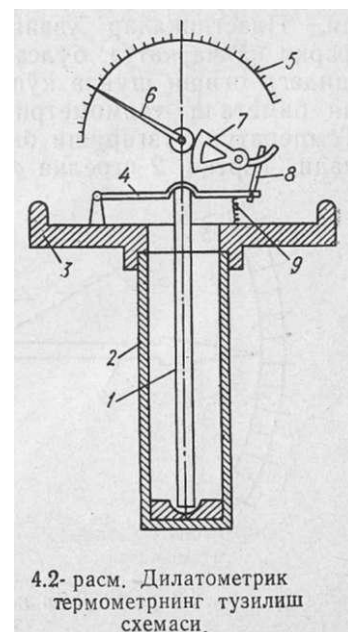
Suyuqlikli shisha termometrlarning kamchiligiga shkala bo'yicha hisoblash noqulayligi, ko'rsatishlarni qayd qilib, ularni masofaga uzatib bo'lmasligi, issiqlik inersiyasining kattaligi (ko'rsatishlarning kechikishi) va asboblarning mexanik nuqtai nazardan mustahkam emasligi kiradi.

Dilatometr va bimetalli termometrlarning ishlash prinsipi temperatura o'zgarishida qattiq jism chiziqli miqdorining o'zgarishi asoslangan. Temperatura o'zgarishiga bog'liq bo'lgan qattiq jism chiziqli miqdorining o'zgarishi formula orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$l_t = l_0(1 + \beta_r t), \quad (3.3)$$

bu yerda l_t — t temperaturada qattiq jismning uzunligi; l_0 — shu jismning 0°S dagi uzunligi; β_r — o'rtacha chiziqli kengayish koeffitsiyent (0°S dan $t^\circ\text{S}$ gacha bo'lgan temperaturalar oralig'ida).

5.2- rasmda dilatometrik termometrning tuzilish sxemasi tasvirlangan. Bu asbobda sezgir element sifatida katta chiziqli kengayish koeffitsiyentiga ega bo'lgan materialdan (jez va mis) tayyorlangan naycha 2 qo'llanilgan. Korpus 3 ga kavsharlangan naycha ichida sterjen 1 joylashgan. Sterjen chiziqli kengayish koeffitsiyenti kichik bo'lgan material (masalan, invar) dan ishlangan. O'lchanayotgan muhitning temperaturasi ko'tarilishi bilan naycha 2 uzayadi. Bu hol sterjen 1 ning siljishiga olib keladi. Shunda prujina 9 shayn 4 ning bo'sh tomonini pastga tushiradi, o'z navbatida u tortqi 8 va tishli sektor 7 orqali strelka 6 ni uning o'qi atrofida aylantiradi. Strelka esa shkala 5 da o'lchanayotgan temperatura qiymatini ko'rsatadi.

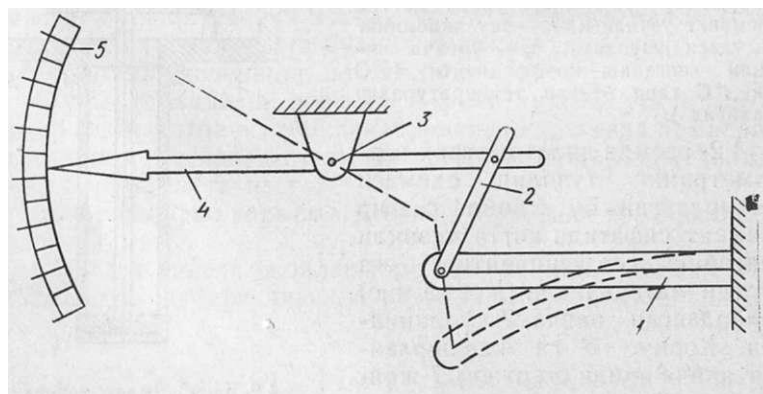


Dilatometrik termometrlar suyuqliklar temperaturasini o'lchashda hamda temperaturani ma'lum darajada avtomatik ravishda saqlash uchun va signalizatsiyada qo'llanadi. Dilatometrik termometrlar 1,5 va 2,5 aniqlik klasslarida chiqariladi, ularning yuqorigi o'lchash chegarasi 500°S gacha. 150°S dan oshmagan temperaturalar uchun naycha jezdan, sterjen esa invar dan ishlanadi, undan yuqori temperaturalar uchun naycha zanglamas po'latdan, sterjen esa kvardsdan ishlanadi.

Afzalliklari: ishonchliligi va sezgirligi yuqori.

Kamchiliklari: asbob o'lchamlarining kattaligi, temperaturaning bir nuqtada emas, balki hajmda o'lchanishi, issiklik inersiyasining kattaligi, ko'rsatkichlarni masofaga uzatish mumkin emas.

Bimetall termometrlarning sezgir elementi kavsharlangan ikkita plastinkadan tayyorlangan prujinadan iborat. Bu plastinkalar issiqlikdan kengayish temperatura koeffitsiyenti turlicha bo'lgan metallardan tayyorlanadi. Temperatura o'zgarganda plastinkalar uzayadi. Plastinkalar bir-biriga nisbatan siljiy olmaganligi sababli prujina issiqlikdan kengayish temperatura koeffitsiyenta kam bo'lgan plastinka tomonga og'adi. Plastinkalar uzayishining temperatura koeffitsiyenti farqi qancha katta bo'lsa, prujinaning temperatura o'zgarishidagi og'ishi shuncha ko'p bo'ladi. 4.3-rasmda yassi plastinkali bimetal termometrning tuzilish sxemasi ko'rsatilgan. Temperatura o'zgarishi bilan bimetal prujina 1 pastga egiladi. Tortqi 2 strelka 4 ni o'q 3 atrofida aylantiradi.



5.3-rasm. Yassi plastinkali bimetall termometrning tuzilish sxemasi.

Strelka shkala 5 da o'lchanayotgan temperatura qiymatini ko'rsatadi.

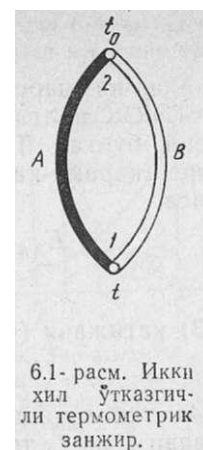
Bimetall plastinka qo'llanilganda o'lchashning yuqorigi chegarasi pastki plastinka tayyorlangan materialning qayishqoqligi chegarasi bilan chegaralanadi. Sezgir elementlar sifatida yoysimon yoki vintsimon spirallar qo'llaniladi. Bimetall termometrlar bilan temperaturani o'lchash chegarasi -150°S dan $+700^{\circ}\text{S}$ gacha, xatosi 1...1,5%. Bu turdagi termometrlar temperaturani ma'lum darajada avtomatik ravishda saqlash va signalizatsiya uchun qo'llaniladi.

**Termoelektrik termometrlar. Magnitoelektrik millivoltmetrlar.
Potensiometrilar. Avtomatik potensiometrilar.**

Nazariy asoslar va termoelektr zanjirlar

Temperaturani o'lchashning termoelektr usuli termoelektr termometr (termopara) termo EYUK ining uning temperaturasi bog'liqligiga asoslangan. Bu asbob — 200°S dan $+2500^{\circ}\text{S}$ gacha bo'lgan temperaturalarni o'lchashda texnikaning turli sohalari va ilmiy-tekshirish ishlarida keng qo'llaniladi.

Termoelektr termometrlar yordamida temperaturani o'lchash 1821 yilda Zeyebek kashf etgan termoelektr hodisasiga asoslangan. Bu hodisaniing temperaturalarni o'lchashda qo'llanilishi ikki xil metall simdan iborat zanjirda ularning kavsharlangan joyida temperaturalar farqi hisobiga hosil bo'ladigan EYUK effektiga asoslangan. Har xil A va V o'tkazgichlardan iborat zanjirni ko'rib chiqamiz (6.1-rasm). Termoparaning o'lchanayotgan muhitga tegib turgan joyi kavsharlangan uchi 1 (issiq ulanma), o'zgarmas t_0 temperaturali muhitdagi joyi 2 esa erkin uchi (sovuq ulanma) deyiladi. A va V o'tkazgichlar termoelektrodlar deyiladi. Bunday kavsharlangan o'tkazgichlar esa termopara deb ataladi, ularda hosil bo'ladigan



6.1- rasm. Ikki xil o'tkazgichli termometrik zanjir.

elektr yurituvchi kuch termoelektr yurituvchi kuch (TEYUK) deyiladi. TEYUK hosil bo'lishining sababi erkin elektronlar zichligi ko'proq metallning erkin elektronlar zichligi kamroq metallga diffuziyasi bilan izohlanadi. Shu paytda ikki xil metallning birikish joyida paydo bo'ladigan elektr maydon diffuziyaga qarshilik ko'rsatadi. Elektronlarning diffuzion o'tish tezligi elektr maydon ta'sirida ularning qayta o'tish tezligiga teng bo'lganda harakatli muvozanat holati qaror topadi. Bu muvozanatda A va V metallar orasida potentsiallar ayirmasi paydo bo'ladi.

Elektronlar diffuziyasining jadalligi o'tkazgichlar birikkan joyning temperaturasiga ham bog'lik bo'lgani sababli birinchi va ikkinchi ulanmalarda hosil bo'lgan EYUK ham turlicha bo'ladi.

Agar kavsharlangan o'tkazgichlar bir xil bo'lsa va ularning ikki uchi turlicha temperaturada qizdirilsa, u holda o'tkazgichning issiqroq qismidan sovuqroq qismiga bo'sh elektronlarning diffuziyalanishi teskari yo'nalishdagi diffuziyasi jadalroq bo'ladi. Potensiallar ayirmasi elektronlarning issiqlik diffuziyasiga teskari yo'nalishda ta'sir qiladi, buning natijasida muvozanat holati qaror topguncha o'tkazgichning issiqroq uchi musbat ishorada zaryadlanadi. Binobarin, har xil A va V o'tkazgichlardan tashkil topgan eng sodda termoelektr zanjirda to'rtta turlicha TEYUK hosil bo'ladi. Ya'ni ikkita TEYUK A va V o'tkazgichlarning kavsharlangan uchida; bitta TEYUK A o'tkazgichning uchida; bitta TEYUK V o'tkazgichning uchida. Shuni nazarda tutib, 6.1-rasmda tasvirlangan zanjirdagi TEYUK kattaligipi aniqlash mumkin. Zanjirni soat strelkasi harakatiga teskari yo'nalishda kuzatsak, quyidagi natija chiqadi:

$$E_{AB}(t_1 t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0), \quad (6.1)$$

br yerda $E_{AB}(t_1 t_0)$ — ikkala faktor ta'siridagi jamlangan TEYUK; $e_{AB}(t)$ va $e_{BA}(t_0)$ — A va V o'tkazgichlar uchndagi potensiallar hamda temperaturalar ayirmasi natijasmda hosil bo'lgan TEYUK.

Agar kavsharlangan uchlarining temperaturasi bir xil bo'lsa .TEYUK nolga teng bo'ladi, chunki ikkala kavsharda ham hosil bo'lgan TEYUK ning qiymati bir-biriga teng bo'lib, o'zaro karama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'ladi. Demak, $t = t_0$ bo'lsa,

$$E_{AB}(t_1 t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0) = 0, \quad (6.2)$$

$$e_{BA}(t_0) = -e_{AB}(t_0).$$

(6.3) natijani (6.1) ga qo'ysak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0), \quad (6.4)$$

(6.4) tenglamadan ko'rinib turibdiki, TEYUK ikkita o'zgaruvchan t va t_0 temperaturaning murakkab funksiyasidan iborat ekan.

Ulanmalardan birining temperaturasi o'zgarmas, masalan, $t_0 = \text{const}$ bo'lsa, unda

$$E_{AB}(t, t_0) = f(t). \quad (6.5)$$

(6.5) ifoda mazkur termopara uchun darajalash yo'li bilan TEYUK va temperatura nisbatini topish, temperaturani o'lchash masalasini teskari yechish kerakligini, ya'ni termoparaning TEYUK ni o'lchash bilan temperaturaning qiymatini aniqlash mumkinligini bildiradi.

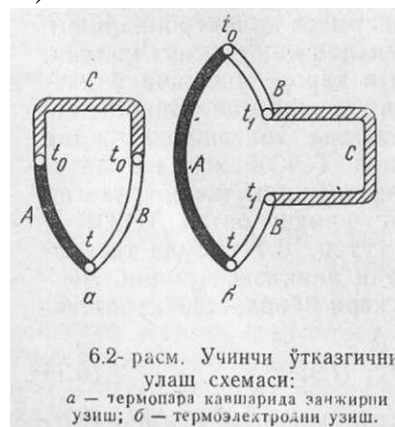
O'lchash asbobini ulash uchun ulanmalardan biridagi zanjirni (6,2- rasm, a) yoki termoelektrodlardan birini uzish (6.2-rasm, b) kerak.

Termopara zanjiriga uchinchi S o'tkazgichni ulash variantlaridagi jamlangan TEYUK ni ko'rib chiqamiz. 6,2-rasm, a dagi variant uchun:

$$E_{ABC}(t, t_1, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0), \quad (6.6)$$

$t = t_0$, ya'ni ulanmalarining temperaturasi teng bo'lsa,

$$E_{ABC}(t_0) = e_{AB}(t_0) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0) = 0, \quad (6.7)$$



(6.3)

bu teiglamadan ma'lumki,

$$e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0) = -e_{AB}(t_0). \quad (6.8)$$

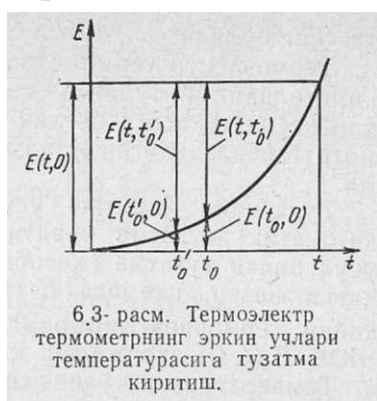
(6.8) tenglama natijasini (6.6) ga qo'yib chiqsak, (6.4) tenglama kelib chiqadi.

6.2- rasm, *b* dagi variant uchun:

$$E_{ABC}(t, t_1, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_1) + e_{CB}(t_1) + e_{BA}(t_0). \quad (6.9)$$

Agar $e_{BC}(t_1) = -e_{CB}(t_1)$ va $e_{BA}(t_0) = -e_{AB}(t_0)$ hisobga olinsa, (6.9) tenglama (6.4) tenglamaga aylanadi.

Bundan quyidagi muhim xulosani chiqarish mumkin: termoparaning zanjiriga uchlaridagi temperaturasi bir xil bo'lgan uchinchi o'tkazgich ulanganda ham TEYUK o'zgarmaydi. Demak, termopara zanjiriga ulash simlari, o'lchov asboblari va qarshiliklarni ulash mumkin ekan.



Temperaturani termoelektr termometr yordamida o'lchash uchun termometr hosil qiladigan termo EYUK ni va erkin uchlarning temperaturasi o'lchash kerak. Agar temperaturani o'lchashda termometr uchlarining temperaturasi 0°C ga teng bo'lsa, unda o'lchanayotgan temperatura darajalash xarakteristikasidan (jadvallar, grafiklardan) (6.3-rasm) darhol topiladi. Bu darajalash xarakteristikasi termo EYUK bilan ish ulanmasi (rabochiy spay) temperaturasi orasida munosabat o'rnatadi. Termoelektr termometrlarning darajalash

xarakteristikasi, odatda, erkin uchlarning temperaturasi 0°C ga teng bo'lganda aniqlanadi. Agar erkin uchlarning temperaturasi amalda 0°S dan farq qilsa-yu, ammo o'zgarmas bo'lsa, unda ish ulanmasi temperaturasi darajalash xarakteristikasidan topish uchun termoelektr termometr hosil qiladigan termo EYUK nigina emas, balki erkin uchlari temperaturasi t_0 ni ham bilish zarur. Erkin uchlari temperaturasi t_0 ga $t_0 \neq 0$ bo'lganda tuzagish kiritish uchun termoelektr termometr hosil qiladigan termo EYUK $E(t, t_0)$ ga uchun $E(t_0, 0)$ ni qo'shish lozim; shunda termo EYUK $E(t, 0)$ qiymatini topiladi:

$$E(t, t_0) + E(t_0, 0) = E(t, 0). \quad (6.10)$$

Termoelektr termometr ish ulanmasi temperaturasi t va erkin uchlari temperaturasi 0°C bo'lganda, ya'ni darajalash sharti bajarilganda shunday $E(t_0, 0)$ EYUKni hosil qiladi.

Agar o'lchash jarayonida erkin uchlari temperaturasi biror yangi t_0 qiymat qabul qilsa, unda termometr hosil qiladigan termo EYUK $E(t, t'_0)$ ga (6.3-rasm) va erkin uchlari temperaturasi kiritiladigan tuzatish $E(t'_0, 0)$ ga, darajalash shartiga mos termo EYUK esa

$$E(t, t'_0) + E(t'_0, 0) = E(t, 0). \quad (6.11)$$

ga teng bo'ladi.

Termoelektr termometrning erkin uchlari temperaturasi kiritiladigan tuzatma qiymati termometrning darajalash xarakteristikasiga bog'liq bo'ladi, u esa termoelektr termometr tayyorlanadigan o'tkazgich materiallar bilan belgilanadi.

Tuzatmani kiritish usulidan qat'i nazar (hisobiy yoki avtomatik) tuzatma kiritish uslubi o'zgarmay qoladi: qaysi usul bilan tuzatma (hisobiy yoki avtomatik)

kiritilganidan qat'i nazar, sxemada $E(t, 0)$ qiymat olinadi, bu qiymat keyin termopara termo EYUK iga qo'shiladi. Yig'indi termo EYUK $E(t, 0)$ darajalash kiymatiga mos keladi.

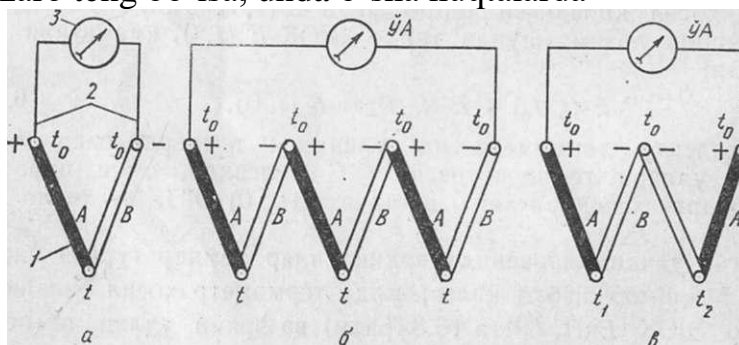
Temperaturani o'lchashga oid alohida masalalarni yechish uchun termoelektr termometrlarni o'lchash asbobi bilan ulashning turli usullari qo'llaniladi (6.4-rasm). 6.4-rasmda termoelektr termometri o'lchash asbobiga ulash sxemasi ko'rsatilgan.

Termometr komplektiga termopara 1 ulash simi 2 va o'lchov asbobi 3 kiradi.

Termoelektr termometrni o'zgartish koeffitsiyentinn orttirish uchun bir necha termoparalarni (termobatareyalarni) ketma ket ulashdan foydalaniladi (6.4-rasm, b).

Bunda termoparalar hosil qiladigan termo EYUK qo'shiladi, ya'ni n ta termoparadan tuzilgan termobatareyalar termo EYUK i alohida olingan termopara termo EYUK idan katta. Bunday ulashdan kam farq qiluvchi ish temperaturasi t ni va erkin uchlari t_0 ni o'lchashda foydalaniladi.

Ikki nuqta orasidagi temperatura farqini o'lchash uchun differensial termoelektr termometr qo'llaniladi. U ikkita qarama-qarshi ulangan bir xil termometrdan tuzilgan (6.4- rasm, v). Agar temperaturalari farqi o'lchanayotgan nuqtalarning temperaturasi o'zaro teng bo'lsa, unda o'sha nuqtalarda



6.4- rasm. Termoelektr zanjirlar: a - termometrni o'lchov asbobiga ulash; b - termobatareya; v - differensial termometr.

termometr hosil qiladigan TEYUK lar ham teng bo'ladi. Bunday holda termometrdagi zanjir toki nolga teng bo'ladi, chunki qarama-qarshi ulanganda bir termoparaning TEYUKi boshqa termoparaning TEYUKi bilan kompensatsiya qilinadi va o'lchov asbobi nolni ko'rsatadi. Agar t_1 va t_2 temperaturalar turlicha bo'lsa, u holda qaysi temperatura yuqori bo'lishiga qarab, temperaturalar farqiga proporsional bo'lgan zanjir toki biror yo'nalishda oqadi, buni o'lchov asbobi ko'rsatadi.

Termoelektr materiallar va termoelektr o'zgartkichlar

Turli o'gkazgichlarning ixtiyoriy jufti termoelektr o'zgartkichni tashkil etishi mumkin, ammo har bir juftlik ham amalda qo'llanishga yarayvermaydi. Zamonaviy o'lchash texnikasi termoelektr o'tkazgichlar tayyorlanadigan materiallarga ko'pdan-ko'p talablar qo'yadi, ammo bu talablarni juda kam sonli matershllargina kondiradi. Asosiy talablar quyidagilardan iborat: yuqori temperaturalar ta'siriga chidamlilik, TEYUK ning vaqt bo'yicha o'zgarmasligi, uning iloji boricha katta qiymatga ega bo'lishi va temperaguraga bir qiymatli bog'liqligi, qarshilik temperatura koeffitsiyentining katta bo'lmasligi va katta elektr o'tkazuvchanlik.

Barcha materiallar va qotishmalar uchun TEYUK ning temperaturaga funksional bog‘liqligi murakkab bo‘lib, uni analitik ifodalash ancha qiyin. Platinorodiy-platina jufti bundan istisnodir. Bu juftlik uchun TEYUK bilan temperatura orasidagi bog‘lanish 300° dan 1300°C gacha bo‘lgan oraliqda sovuq ulanma temperaturasi 0°C bo‘lganda yetarlicha aniqlikda parabolaga mos keladi:

$$E(t, t_0) = a + bt + ct^2, \quad (6.12)$$

bunda a, b va s surma ($630,5^{\circ}\text{S}$), kumush ($960,8^{\circ}\text{S}$) va oltin ($1063,0^{\circ}\text{S}$) larning qotish temperagurasi bo‘yicha aniqlanadigan doimiylar.

Metall termoelektroli termoelektr termometrlarning quyidagi turlari qo‘llanadi. Ularning xarakteristikalari 6.1-jadvalda keltirilgan.

Xromel-kopelli (56% Cu + 44% Ni) termoelektr termometrlar standart termometrlar orasida eng katta o‘zgartish koeffitsiyentiga ega ($70 - 90 \text{ mV}/^{\circ}\text{S}$). Termoelektrod diametri 1 mm dan kam bo‘lgan termometrlar uchun chegaraviy qo‘llanish davri 600°S dan kam va, masalan, diametri 0,2...0,3mm bo‘lgan termoelektrodlar uchun faqat 400°S ni tashkil etadi. Yuqorigi o‘lchash chegarasi kopelli elektrodlar xarakteristikalarining barqarorligiga bog‘liq.

6.1-жадвал

Стандарт термоэлектр термометрлар

| Термоэлектр термометр термопараси тури | Даражалаш белгиси, янгиси (эскиси) | Ўлчаш чегараси, $^{\circ}\text{C}$ | Юқориги ўлчаш чегараси, $^{\circ}\text{C}$ | |
|--------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|
| | | | узоқ вақт қўлланиш-да | қисқа вақт қўлланиш-да |
| Мис-копелли | — | -200 | 100 | 600 |
| Мис-мис-никелли | Т | -200 | 400 | 600 |
| Темир-мис-никелли | Ј | -200 | 700 | 900 |
| Хромель-копелли | (ХК) | -50 | 600 | 800 |
| Никельхром-мис-никелли | Е | -100 | 700 | 900 |
| Никельхром-никель | К | — | — | — |
| Алюминийли (хромель алюмелли) | (ХА) | -200 | 1000 | 1300 |
| Платинородий (10%) — платинали | S(ПП) | 0 | 1300 | 1600 |
| Платинородий (30%) — платинородийли (6%) | B(ПР) | +300 | 1600 | 1800 |
| Вольфрамрений (5%) — вольфрамренийли (20%) | (ВР) | 0 | 2200 | 2500 |

Nikelxrom-nikel alyuminiyli (94% Ni + 2% Al + 2,5 % Mn + 1 % Si + 0,5% qo‘shilma) termometrlar turli muhit temperaturalarini keng chegaralarda o‘lchash uchun qo‘llaniladi. Ular avval xromel-alyumelli termometrlar deb yuritilar edi. Nikel-alyuminiy simdan tayyorlangan termoelektrod oksidlanishga nikel-xromga nisbatan kamroq chidamli. Qo‘llanishning yuqorigi chegarasi termoelektrod diametriga bog‘liq. Diametri 3—5 mm bo‘lgan termoelektrodlar uchun qo‘llanishning yuqorigi chegarasi nikel-xrom-nikel-alyuminiyli termometrlarda 1000°S ni tashkil etadi. 0,2 — 0,3 mm diametr uchun 600°S dam ortiq emas.

Platinorodiy (90% platina 10% rodiy)-platinali termoelektr termometrlar uzoq vaqt davomida 0 dan 1300°S temperatura oralig‘ida, qisqa vakt davomida 1600°S gacha bo‘lgan oraliqda ishlashi mumkin. Mazkur termometrlar oksidlanadigan va neytral muhitlarda darajalash xarakteristikasining barqarorligini saqlaydi. Tiklanadigan atmosferada platinorodiy-platinali termometrlar ishlay olmaydi,

chunki termometr termo EYUKining keskin o'zgarishi yuz beradi. Bular ulardan foydalanish maksadiga qarab etalon, namuna va ish termometrlari a bo'linadi. To'g'ri ishlatilganda darajalash uzok vaqt davomida o'zgarmaydi. Kamchiliklariga termoelektr termometrlarning boshqa turlarinikiga nisbatan TEYUK kamligini kiritisa bo'ladi. Termoelektrod simi diametri 0,3 yoki 0,5 mm ni tashkil etadi.

Platinorodiy (30% rodiyli)-platinorodiyli (6% rodiyli) termoelektr termometrlar uzoq vaqt davomida temperaturalarining $+300^{\circ}$ dan to 1600°S gacha oralig'ida, qisqa vaqt davomida 1800°S gacha qo'llaniladi. Musbat elektrod —30% rodiy va 70% platina qotishmasidan, manfiy elektrod —6% rodiy va 94% platina kotishmasidan tashkil topgan. Mazkur termometrlar platinorodiy-platinali termometrlarga qaraganda darajalash xarakteristikalarining barqarorligi yuqoriligi bilan ajralib turadi, ammo bu termoelektrodlar ham tiklanadigan muhitda yomon ishlaydi. Platinorodiy-platino-rodiyli termometrlarda termo EYUK temperaturalarining $0 \dots \pm 3100^{\circ}\text{C} \pm 1000^{\circ}\text{C}$ intervalida ozgina hosil bo'ladn, bu hol esa sovuq ulanmalar temperaturasiga tuzatish kiritishni talab etmaydi.

Volframreniy-volframreniyli (TVR — 5/20 va TVR —10/20) termoelektr termometrlar uzoq vaqt davomida 0° dan 2200°S gacha temperaturalarini va qisqa vaqt davomida 2500°S gacha, shuningdek, vakuumda, neytral va tiklanadigan muhitlarda temperaturalarini o'lchashga mo'ljallangan. Musbat termoelektrod 95% volframdan va 5% renyidan yoki 90% volframdan va 10% renyidan tashkil topgan qotishma, manfiy elektrod 80% volframdan va 20% renyidan tashkil topgan qotishma.

Termoparalarning ba'zi turlari (mis-kopelli, xromel kopelli, volframreniy-volframreniyli BP 5/20 yoki BP 10/20) uchun avvalgi nomlari va darajalash xarakteristikalari ham qoldi. SEV standarti bu termoparalar uchun hech qanday belgilashlar kiritmadi. Boshqa tur termoparalar uchun yangi nomlar va belgilashlar kiritildi: nikelxrom-nikelalyuminiyli termopara, K turi, avvalgi nomi xromel-alyumelli va belgilanishi XA; darajalash xarakteristikasi o'zgarmay qoldi. Platinorodiy-platinali va platinorodiy-platinorodiyli termoparalar uchun belgilashlar o'zgaradi (PP o'rniga S, PR o'rniga V kiritiladi) va darajalash xarakteristikasi o'zgaradi. Bundan tashqari, avvalda seriyali ishlab chiqarilmagan qator yangi termoparalar joriy qilinadi:

Mis—mis-nikelli (mis-konstantan termoparasiga yaqin) T turi, temir-mis-nikelli (temirkonstantan termoparasiga yaqin) J turi va nikal-xrom-mis nikelli, Ye turi.

6.5-rasmda ba'zi standartlashtirilgan termoelektr termometrlarining EYUKi bilan temperatura orasidagi bog'lanish ko'rsatilgan. TXK turidagi termopara boshqa standart termoparalarga qaraganda ancha katta TEYUK hosil qila oladi.

Termoelektr generator, termoelektr sovitgich va turli o'lchov asboblarda yarim o'tkazgichli termoparalar ishlatiladi. Ularning TEYUKi metall va metall qotishmalaridan ishlangan oddiy termoparalar

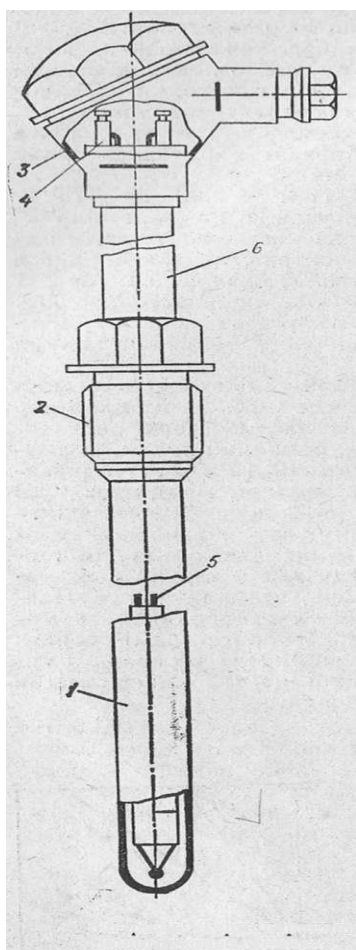


6.5- расм. Стандарт термо-электр термометрларнинг характеристикалари.

TEYUKidan 5—10 marta katta. Bu termoparalarda termoelektrod materiallar sifatida $ZnSb$ va $CdSb$ qotishmalari ishlatiladi.

Turli muhitlar temperaturasini o'lchaydigan termoparaning sxemasi 6.6- rasmda ko'rsatilgan. U g'ilof 1, qo'zg'almas yoki qo'zg'aluvchan shtutser 2, qo'zg'almas shtutser bilan naycha 6 orqali, shtutser harakatda bo'lganda esa g'ilof bilan bevosita ulangan kallak 3 dan iborat. Qopqoqda izolyatsion materialdan ishlangan rozetka 4 joylashgan. Bu rozetkaning termoparani o'lchov asbobi bilan ulaydigan termoelektrodi 5 va simlar uchun qisqichlari bor.

Himoya g'iloflari ko'pincha $+1000^{\circ}S$ gacha temperaturalar uchun po'latning turli markalaridan tayyorlanadi. Bundan ham yuqoriroq temperaturalarda qiyin eriydigan birikmalardan (GOST 13403-77) tayyorlangan maxsus g'iloflar ishlatiladi.



Termoelekt termometrlarning himoya armaturasining ko'pgina loyihasi hozirgi vaktida bir shaklga keltirilgan. Ular asosan turli bosimga mo'ljallangan himoya giloflari loyihasi va shtutserlar loyihasi bilan farq qiladi. Oxirgi vaqtda kabelli turdagi termoelekt termometrlar keng tarqalmoqda. Ular bosim 40 MPa bo'lganda -50° dan $+1100^{\circ}S$ gacha bo'lgan temperaturalar oralig'ida qo'llaniladi. Kabelli turdagi termometrlarning muhim afzalligi ularning AESlarning energetik reaktorlarida ishlashga imkon tug'diradigan radiatsion chidamliligi, shuningdek, issiqlik zarbalariga tebranishga va mexanik nagruzkalarga nisbatan oshirilgan chidamliligidan iborat.

Sirt temperaturalarini o'lchashga mo'ljallangan termoelekt termometrlar maxsus konstruksiyaga ega. Bunday termoparalardan ximiya sanoatida keng foydalaniladi, ular turli apparat, truboprovod, mashinalarning aylanuvchi jo'vasi va hokazolarning sirt temperaturasini o'lchashga xizmat qiladi.

Maxsus termoelekt termometrlardan vertikal apparatlarda (ammiak sintezi kolonnalarida, metanol va h.) temperaturani o'lchash uchun ishlatiladigan ko'p zonali termometrlarni ko'rsatish mumkin.

Termoparalarning asosiy kamchiligi sifatida ularning inersionligining kattaligini ko'rsatish mumkin (1,5 minutdan ham oshadi).

UZATUVCHI TERMOELEKTROD SIMLARI

Termoelekt termometrni o'lchov asbobi bilan ulaydigan simlar shunday materiallardan tayyorlanadiki, ular o'zaro juft bo'lib, o'zlari ulangan termoelekt termometrlar hosil kiladigan

EYUK ni (o'sha temperaturalarda) hosil qiladi. Bunday talab taxminan $100^{\circ}S$ temperatura bilan chegaralanadi, bundan yuqori temperaturada termoelekt termometr va ulaydigan simlarning xarakteristikalari biriridan farq qilishi mumkin. Bunday bo'lishiga yo'l qo'yiladi, chunki ulaydigan simlarning temperaturasi, odatda, yuqori bo'lmaydi. Ko'rsatilgan talablar bajarilganda termokompensatsion simlar termoelekt termometrii (termoparani) ulaydigan simlar uzunligi qadar

uzaytiradi, termoparaning erkin uchlari esa TEYUK ni o'lchashga mo'ljallangan asbobning klemmlarida bo'lib qoladi. Yuqorida ko'rsatilgan talabga rioya qilmaslik termoparaning erkin uchlarini o'lchash simlari bilan ulaydigan joylarda ulanmalarning paydo bo'lishi natijasida „parazit“ TEYUK hosil bo'lishiga olib kelishi mumkin. Agar uzaytiruvchi simlar termometrniki kabi darajalash xarakteristikasiga ega bo'lsa, „parazit“ TEYUK hosil bo'lishidan xalos bo'liadi.

Uzaytiruvchi termoelektr simlar bir va ko'p simli qilib, izolyatsiyada va tashqi qoplama yoki qobiqlik qilib ishlab chiqariladi, bu montaj qilish va yotqizishda qulay. Izolyatsiyalash uchun polivinilxlorid, polietilentereftalat va ftoroplast plyonkalardan foydalaniladi. Izolyatsiyadan tashqari simlar ko'pincha polivinilxlorid qobiq yoki lavsan ip yoxud shisha ip bilan chirmab o'raladi.

Agar tashqi elektr magnit maydondan va mexanik ta'sirdan saqlanish talab etilsa, unda mis, po'lat simli (GOST 24335-80) qoplama yoki ekranlar qo'llaniladi.

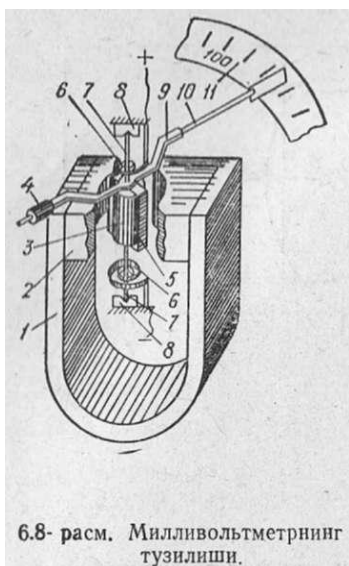
Har bir sim materiali izolyatsiyaning o'z rangiga yoki simlarning o'ramasida va qoplamasi rangidagi simlarga ega bo'ladi. 6.2-jadvalda termoparalar, tavsiya etiladigan uzaytiruvchi termoelektrod simlar, ularning belgilari va ranglari keltirilgan.

6.2- jadval
Tavsiya etiladigan uzaytiruvchi termoelektrod simlari

| Termopara | Uzaytiruvchi termoelektrod simlari | | |
|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| | belgilar | Juft — simlar | rangi |
| Mis- kopelli | MK | Mis-kopel | Qizil (pushti)-sariq (to'q sariq) |
| Mis-misnikelli | M | Mis-konstantan | Qizil (pushti)-jigarrang |
| Xromel-kopelli | XK | Xromel-kopel | binafsha (qora)-sariq (to'q sariq) |
| Nikelxrom-nikel alyuminiyli | M | mis-konstantan, mis-titan — nikel mis | Qizil (pushti)-jigarrang Qizil-yashil qizil-ko'k |
| | MT-NM | | |
| Platinorodiy-platinali | P | mis qotishma TP | Qizil (pushti)-yashil |
| Volframreniy-volframreniyli | M-MN | mis-qotishma MN, 2,4 | Qizil (pushti) — ko'k(zangori) |

Millivoltmetrlar

Hozir termoelektr termometrlar (termoparalar) dagi TEYUK ni o'lchash uchun magnitoelektr millivoltmetrlar, potensiometrlar va o'zgartgichlar keng qo'llanilmoqda.



6.8- расм. Милливольтметрнинг тузилиши.

Millivoltmetr — magnitoelektr oʻlchash asbobi boʻlib, ularning ishlash prinsipi uning qoʻzgʻaluvchan ramkasidan oʻtayotgan tokning oʻzgarish magnit maydoni bilan oʻzaro taʼsiriga asoslangan.

Millivoltmetrning tuzilishi 6.8- rasmda koʻrsatilgan. Doimiy magnet 1 ning qutb uchlari 2 va tayanch tovonostlari 8 da aylanadigan oʻqlarda joylangan oʻzak 3 orasidagi havo oraligʻida ramka 5 bor. Ramkaning uchlari oʻqlar 7 ga ulangan Ramkaga kronshteyn 9, strelka 10 ulangan. Strelkaning uchi shkala 11 boʻylab siljiydi. Ramka termopara zanjiriga ulanganda spiral-prujina 6 orqali keladigan tok ramkadan oʻtadi. Ramkaning chulgʻami orqali tok oʻtganda hosil boʻlgan magnit maydoni bilan doimiy magnit maydon

oʻrtasidagi oʻzaro taʼsir natijasida aylantiruvchi moment hosil boʻladi, shu sababli ramka strelka 10 bilan birga aylanadi. Spiral 6 bu aylanishga teskari taʼsir qiladi. Ramkada qaror topgan har bir tokning qiymatiga, yaʼni termopara TEYUKiga strelkaning muayyan bir vaziyati toʻgʻri keladi. Tok oʻtmagan paytda elastik prujinalar 6 ramkani boshlangʻich vaziyatga qaytaradi, strelkaning shkala 11 boʻyicha koʻrsatishi esa nolga teng boʻladi. Kronshteyn 9 strelkani muvozanat holatida saqlash uchun posangi 4 bilan taʼminlangan. Asbob shkalasi °S da darajalangan. Ramkadan oʻtayotgan tok bilan doimiy magnit maydon orasidagi oʻzaro taʼsir tufayli paydo boʻlgan aylantiruvchi moment quyidagi ifoda orqali aniqlanadi.

$$M_{ayl} = C_1 \cdot B \cdot J, \quad (6.13)$$

bu yerda M_{ayl} — aylantiruvchi moment; S_1 — ramkaning geometrik hajmi va chulgʻamlari soni bilan aniqlanadigan doimiy koeffitsiyent, V — zazordagi magnit induksiyasi; J — ramkadagn tok.

Aylanishga teskari taʼsir etuvchi moment

$$M_{tes} = C_2 \cdot E \cdot \varphi, \quad (6.14)$$

bu yerda S_2 — elastik element (spiral-prujina yoki choʻzilgan tolalar) hajmidan aniqlanadigan doimiy koeffitsiyent; Ye — spiral prujinalarning elastiklik moduli yoki choʻzilgan tolalarning siljish moduli; φ — elastik elementning burilish burchagi. Agar $M_{ayl} = M_{tes}$ yaʼni muvozanat holati boʻlsa,

$$C_2 \cdot E \cdot \varphi = C_1 \cdot B \cdot J. \quad (6.15)$$

U holda

$$\varphi = \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{B}{E} \cdot J = C \cdot \frac{B}{E} \cdot J. \quad (6.16)$$

Asbob konstruksiyalari parametrlariga bogʻliq boʻlgan S , V , Ye kattaliklar oʻlchash jarayonida oʻzgarmaydi, shuning uchun

$$\varphi = K \cdot J, \quad (6.17)$$

Bu yerda

$$K = C \cdot \frac{B}{E}.$$

(6.17) ifodadan pirometrin millivoltmetr shkalasi chiziqli ekanligini ko'rish mumkin.

Asbob ko'zg'aluvchan sistemasining burilish burchagi ramkadan o'tayotgan tok kuchidan tashqari yana termopara, ulaydigan simlar va millivoltmetrlarning ichki qarshiligiga ham bog'liq:

$$\varphi = KJ = K \cdot \frac{E_T}{R_T + R_C + R_M} \quad (6.18)$$

bu yerda Y_{e_t} — TEYUK: R_T — termopara qarshiligi; R_S — ulaydigan simlar qarshiligi; R_M — millivoltmetrning ichki qarshiligi.

(6.18) ifodadan asbob strelkasining chetga chiqishi TEYUK ning o'zgarmas qiymatida zanjirning turli qarshiliklariga bog'liq ekanligi ko'rinib turibdi. Shuning uchun asbobning darajalanishi zanjir tashqi qismining muayyan qarshiligida ($R_{ash} = R_t + R_c$) bajariladi va qo'shimcha xatolarga yo'l qo'ymaslik uchun pirometrik millivoltmetrni montaj qilish protsessida shu qarshilik aniq saqlanishi shart. Odatda, tashqi qarshilikning darajali miqdori 0,6; 1,6; 5; 15; 25 Omga teng bo'lib, asbobning shkalasi va pasportida ko'rsatiladi. Tashqi qarshilikni millivoltmetr shkalasida ko'rsatilgan qarshilikka tenglashtirish uchun o'zgaruvchi qarshilikdan foydalaniladi.

O'lchash asbobi, sifatida ishlatiladigan millivoltmetrli termoelektrlar komplektining kamchiligi o'lchash asbobida tok mavjudligidir. Tok miqdoriga, ya'ni millivoltmetrning ko'rsatishiga TEYUKdan tashqari zanjirning qarshiligi ham ta'sir qiladi:

$$\sum R = R_T + R_C + R_M.$$

Har bir qarshilikning o'zgarishi o'lchashda sodir bo'ladigan xatoga olib keladi. Noqulay sharoitda bu xato asosiy xato miqdoridan (aniqlik klassidan) oshib ketishi mumkin.

Texnik millivoltmetrlarda ramka qarshiligining millivoltmetr umumiy qarshiligiga nisbati 1:3 dan ortiq emas. Millivoltmetrning umumiy qarshiligini orttirib borilsa, uning temperaturali koeffitsiyenta kamayib boradi. Shu bilan atrof-muhit temperaturasi tebranishidan kelib chiqadigan xatolik ham kamayadi. Agar termopara erkin uchlarining temperaturasi o'lchash jarayonida keng chegaralarda o'zgarsa, unda ko'prik sxemasidan foydalangan holda sovuq ulanmalar temperaturasini kompensatsiya qilish usuli qo'llaniladi.

Sanoatda va laboratoriyalarda qo'llaniladigan millivoltmetrlar ko'rsatuvchi, o'zi yozuvchi va boshqariladigan bo'lishi mumkin. Konstruksiyasining bajarilishi nuqtai nazaridan asboblarning shchitda o'rnatiladigan va ko'chma bo'ladi. Ko'chma asboblarning uchun 0,2; 0,5 va 1,0 (GOST 9736 — 80), shchitda o'rnatiladigan 0,5; 1,0 va 1,5 aniqlik klasslari belgilangan.

Millivoltmetr shkalasida u bilan bir komplektda ishlaydigan termopara yoki to'la nurlanish pirometrning darajalanishi ko'rsatiladi.

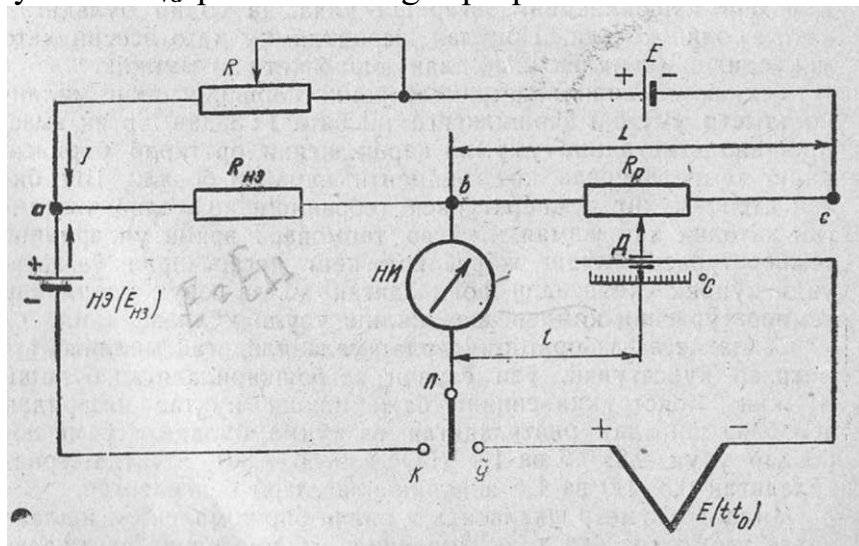
Potensiometrlar

Asboblarga o'lchash aniqligi nuqtai nazaridan qo'yiladigan talablar oshganligi sababli hozir temperaturani termopara bilan o'lchashda

millivoltmetrlardan foydalanishdagi kamchiliklardan holi bo'lgan kompensatsion yoki potensiometr usul tobora keng qo'llanilmoqda.

Potensiometr o'lchash usuli millivoltmetr yordamida olib boriladigan o'lchashdan ancha afzaldir: potensiometrning ko'rsatishi tashqi zanjir qarshiliklarining o'zgarishiga, asbob temperaturasiga bog'lik emas. Potensiometrda termopara erkin uchlari temperaturasining o'zgarishiga avtomatik ravishda tuzatish kiritiladi, shuning uchun o'lchash aniqligi yuqori bo'ladi. Potensiometr o'lchash usuli o'lchanayotgan termopara TEYUK ni potensiallar ayirmasi bilan muvozanatlashtirishga asoslangan. Bu potensiallar ayirmasi kalibrlangan qarshilikda yordamchi tok manbalaridan hosil bo'ladi. Potensiallar ayirmasi termopara TEYUK ning teskari ishorali qiymatiga teng.

Temperatura yoki TEYUK ni o'lchash uchun qo'llaniladigan, qo'l bilan muvozanatlashtiriladigan potensiometrning prinsipial sxemasi 6.9- rasmda ko'rsatilgan. Tok yordamchi Ye manbadan zanjirga o'tadi. Bu zanjirning b va s nuqtalari o'rtasida R_R o'zgaruvchan qarshilik — reoxord ulangan. Reoxord L uzunlikdagi kalibrlangan simdan iborat. b nuqta va oraliqdagi reoxordning sirpanuvchi kontaktli sirpang'ichi joylashgan har kandy D nuqta o'rtasidagi potensiallar ayirmasi R_{vd} qarshilikka to'g'ri proporsional bo'ladi. Ketma-ket ulangan



6.9- rasm. Qo'l bilan muvozanatlashtiriladigan potensiometr sxemasi.

termopara bilan pereklyuchatel P orqali sezgir millivoltmetra nol indikator NI ulanadi, termopara zanjirida tok borligi shu indikator orqali aniqlanadi. Termopara uning toki R_{vd} tarmoqda yordamchi manba toki bilan bir yo'nalishda yuradigan qilib ulanadi. TEYUK ni o'lchash uchun reoxord sirpang'ichi nol indikator strelkasini nolni ko'rsatguncha suradi. Ayni paygda R_{BD} qarshilikdagi kuchlanishning kamayishi o'lchanayotgan TEYUK ga teng bo'ladi. Quyidagi tenglama bu holatni xarakterlaydi:

$$E(t, t_0) - J \cdot R_{BD} = 0. \quad (6.19)$$

yoki

$$E(t, t_0) = J \cdot R_{BD}, \quad (6.20)$$

bu yerda $J R_{VD}$ — E manba kuchlanishining tarmoqdagi tushuvi.

Zanjir tarmog'idagi tok kuchi butun zanjirdagi tok kuchiga teng, demak:

$$\frac{U_{BD}}{R_{BD}} = \frac{F}{R_{BC}} \quad (6.21)$$

bundan

$$U_{BD} = E \cdot \frac{R_{BD}}{R_{BD}} \quad (6.22)$$

Kompensatsiya paytida $U_{BD} = E(t, t_0)$ nazarda tutilsa,

$$E(t, t_0) = U_{BD} = E \cdot \frac{R_{BD}}{R_{BC}} \quad (6.23)$$

Reoxord kalibrangan qarshilikka, ya'ni uning har bir uzunligining teng tarmog'ini bir xil qarshilikka ega bo'lgani uchun

$$E(t, t_0) = E \cdot \frac{l}{L} \quad (6.24)$$

Shunday qilib, $Ye(t, t_0)$ termoparaning TEYUK reoxord qarshiligi R_{BC} tarmog'idagi kuchlanish tushuvi miqdori bilan aniqlanib, qolgan qarshiliklarga bog'liq emas. R_{BS} reoxord shkala bilan ta'minlanishi va shkala bo'linmalari millivolt yoki temperatura graduslariga teng bo'lishi mumkin. TEYUK ni o'lchash aniqligi reoxord zanjiridati J tok kuchining o'zgarishiga bog'liq. Tok kompensatsion usul bilan beriladi va nazorat qilinadi. Buning uchun potensiometr sxemasiga normal elementli qo'shimcha kontur kiritiladi. Odatda, normal element (NE) vazifasini simob-kadmiyli galvanik Veston elementa bajaradi. Bu elementning elektr yurituvchi kuchi 20°S da 1,0183 ga teng. NE pereklyuchatel P orqali qarshilik R_{NE} uchlariga ulanadi va uning EYUKi yordamchi tok manbai Ye ning EYUKi tomon yo'nalgan bo'ladi. Qarshilik R yordamida kompensatsion zanjirdagi tok kuchini rostlash bilan NI ning strelkasi nolni ko'rsatishiga erishiladi.

Bunday holda kompensatsion zanjirdagi tok kuchi quyidagicha ifodalanadi:

$$J = \frac{F_{HD}}{R_{HD}} \quad (6.25)$$

Termoparaning TEYUK ini o'lchashda P pereklyuchatel K vaziyatdai O' vaziyatga o'tkaziladi. Reoxord R_p ning D sirpang'ichini siljitib B va S nuqtalar orasidagi potensiallar ayirmasini termopara TEYUK ga tenglashtiriladi. Shu paytda termopara zanjiridagi tok kuchi 0 ga teng, shuning uchun

$$E(t, t_0) = J \cdot R_{BD} = \frac{E_{HD}}{R_{HD}} \cdot R_{BD} \quad (6.26)$$

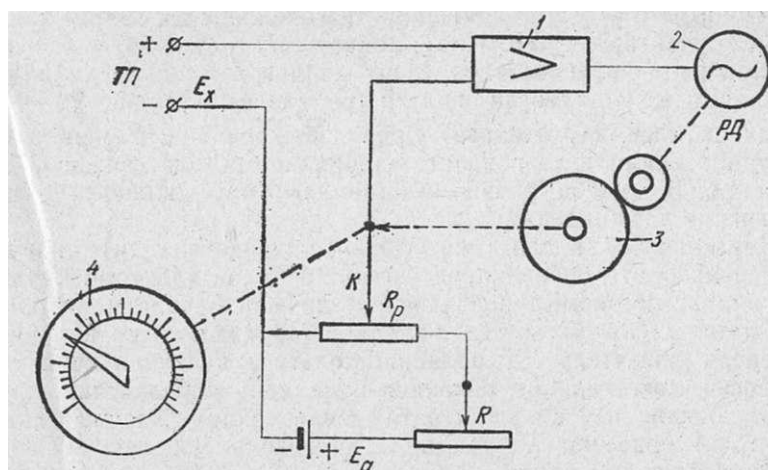
Ye_{ne} va R_{ne} larning miqdori o'zgarish bo'lgani uchun TEYUK ni aniqlash qarshilik tarmog'ining uzunligini aniqlash bilan baravardir.

EYUK ni kompensatsion usul bo'yicha o'zgaruvchan tok sharoitida ham o'lchash mumkin. Ammo bu holda o'lchash aniqligi birmuncha pastroq, o'zgaruvchan tokda ishlaydigan asboblarda esa birmuncha murakkabroqdir. Ko'chma potensiometr lar sex va laboratoriya sharoitlarida tekshiruv va darajalash ishlarida EYUK ni kompensatsion usul bo'yicha o'lchash uchun qo'llaniladi; namuna potensiometr lar aniq o'lchashlarni bajarishda ishlatiladi. Bu asboblarning o'lchash sxemalari yuqorida ko'rilgan sxemaga o'xshash, faqat farqi shundaki, o'lchov reoxordi namuna qarshiliklardan tashkil topgan seksiyalar shaklida tayyorlanadi. Yuqorida ko'rilgan potensiometr lar da o'lchash zanjirining nobalans toki nol indikator

strelkasini harakatga keltiradi, avtomatik potensiometrlarda esa bu asbob yo‘q. Uning o‘rniga nol indikator ishlatiladi.

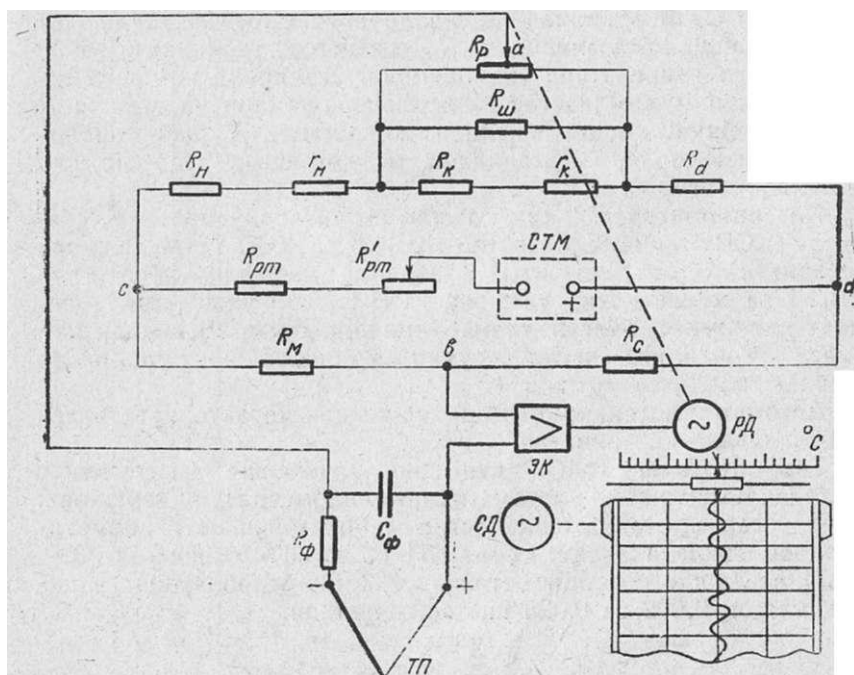
Ko‘chma potensiometrlardan farqli o‘laroq avtomatik potensiometrlardagi reoxordning sirpang‘ichi qo‘l bilan emas, maxsus qurilma orqali avtomatik ravishda siljiydi. 6.10-rasmda elektron avtomatik potensiometrning tuzilish sxemasi ko‘rsatilgan.

TP termoparada Y_{e_x} ni o‘lchash uni kalibrlangan R_p reoxord kuchlanishining kamayishi bilan taqqoslash orqali bajariladi. Potensiometrning kompensatsion sxemasi sirpang‘ich K li reoxord o‘zgarmas. kuchlanish Y_{e_x} ni o‘zgaruvchan kuchlanishga aylantirib beruvchi o‘zgartgichli elektron kuchaytirgich 1, reversiv elektr dvigatel 2 va tok manbai Y_{e_a} dan iborat. Elektr dvigatel 2 reduktor 3 orqali sirpang‘ich K va strelka 4 bilan bog‘langan. Kompensatsion sxemaning ishi sirpang‘ichi reoxord bo‘ylab kuchlanish tushuvi tomon avtomatik siljiydi. Bu siljish reversiv elektr dvigatel *RD* yordamida bajariladi va nomuvozanat kuchlanish nolga teng bo‘lguncha davom etadi. Shunday qilib, sirpang‘ich K va unga biriktirilgan strelkaning vaziyati *TEYUK* ning qiymatini, demak, o‘lchaniyotgan temperaturaning miqdorini ko‘rsatadi. Qarshilik R kompensatsion zanjirdagi ish tokini roslash uchun xizmat qiladi.



6.10- rasm. Elektron avtomatik potensiometrning tuzilish sxemasi.

6.11-rasmda zamonaviy elektron avtomatik potensiometr (KSP-4) o‘lchash qismining prinsipial sxemasi keltirilgan.



6.11-rasm. Elektron avtomatik potentsiometr o'lash qisminiig prinsipial sxemasi

Potentsiometr o'lash ko'prigining diagonalalaridan biriga elektron kuchaytirgich *EK* va termopara *TP* ketma-ket ulangan. Termoparani ulash elektromagnit maydon ta'sirini kamaytirish uchun mo'ljallangan filtr (rasmda filtrning $R_f - S_f$ sodda sxemasi ko'rsatilgan) orqali bajariladi. O'lash ko'prigining ikkinchi diagonaliga stabilashgan tok manbai *STM* ulanadi. Bu manba o'lash zanjiridagi ish tokining o'zgarishini ta'minlaydi.

Termopara *TP* dan (yoki biron boshqa datchikdan) olingan o'lash axboroti signalining o'zgarishi bilan elektron kuchaytirgichning kirishiga nobalanslik signali beriladi. Bu signal ma'lum bir o'zgartgich orqali o'zgaruvchan tokka aylanib, reversiv dvigatel *RD* aylanish holatiga kelguncha kuchayadi. Reversiv dvigatelning aylanish yo'nalishi nobalanslik ishorasiga bog'liq. Bu aylanish natijasida mexanik uzatma (shkiv yoki tros) yordamida R_p reoxord sirpang'ichi nobalanslik signali o'chguncha siljiydi.

Bulardan tashqari potentsiometr o'lash sxemasiga qurilmaning umuman normal ishini ta'minlovchi bir qator elementlar kiradi. R_{sh} qarshiliklar R_k, r_k reoxord qarshiligi R_p ni rostdash uchun xizmat qiladi: bunda asbobning darajalanish va o'lash diapazoni, ya'ni o'lash chegaralari nazarda tutilishi lozim. Qarshilik R_n va r_n lar yordamida shkala boshlanishi rostdlanadi. R_d ballastli qarshilik R_{rt}, R_{rt} va R_s rezistorlar *STM* ta'minlash manbaining ish tokini cheklash va rostdash uchun qo'llaniladi. R_M rezistor termopara erkin uchlaridagi temperatura o'zgarishining ta'sirini kompensatsiya qilish uchun mo'ljallangan va termopara uchlari ulangan joy, ya'ni asbobning kirish panelida joylashgan. R_m dan tashqari hamma rezistorlar manganindan, R_m rezistor esa mis yoki nikeldan tayyorlanadi.

Potenspometrlar 4 xil gabaritda chiqariladi: to'la gabaritli (KSP 4), kichik gabaritli (KSP 3 va KSP juda kichik gabaritli ko'rsatuvchi KPP1, aylanma shkalali ko'rsatuvchi KVP 1 va ko'rsatuvchi, o'ziyurar KSP 1. Asbobning o'rtacha remont

qilishgacha bo'lgan xizmat qilishi vaqti 10 yildan kam emas. Asbob ichiga signal beruvchi va boshqaruvchi qurilmalar joylashirilishi mumkin.

Avtomatik potentsiometrlarning texnik xarakteristikalari 6.3- jadvalda keltirilgan.

Termoparaning TEYUK ini aniq o'lchash va magnitoelektr millivoltmetr hamda avtomatik potentsiometrlarni tekshirish uchun o'zgarimas tokda ishlaydigan laboratoriya potentsiometrlaridan foydalaniladi: ko'chma PP-63 va PP-70; namuna R330, R 371 va boshqa potentsiometrlar. Namuna asboblarning annqlik sinfi 0,002 va 0,005 ni tashkil etadi.

6.3- ж а д в а л

Автоматик потенциометрларнинг техник харақтеристикаси

| Потенциометрлар тури (ўлчаш нуқталари сони) | Шкала харақтеристикаси Босган йўли вақти, с узунлик, мм | Қураётга чиқиб ВА | Асбобнинг габарит ўлчамлари, мм | Диаграмманинг сиңжиш тезлиги, мм/соат | Хатолик% ўлчаш ёзувлар | Масса, кг |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------|
| КСП-4 (1, 3, 6 ва 12) | <u>1, 2, 5 ва 10</u> 250 | 40 | 400 × 400 × 367 | 20; 60; 180; 240; 600; 720; 1800; 2400; 5400; 7200; | <u>0,5</u> 1,0 | 22 |
| КСП-3 (бир нуқтали) | <u>5 ва 16</u> 600 | 60 | 320 × 320 × 380 | 24 соатда бир айланиш | <u>0,5</u> 1,0 | 15 |
| КСП-2 (1, 3, 6 ва 12) | <u>2,5 ва 10</u> 160 | 30 | 240 × 320 × 450 | 20; 40; 60; 120; 240; 600; 1200; 2400; | <u>0,5</u> 1,0 | 17 |
| КСП-1 (бир нуқтали) | <u>2,5 ва 5,0</u> 100 | 15 | 160 × 200 × 500 | 10; 20; 40; 60 ёки 120 | <u>1,0</u> 1,0 | 12 |
| КПП-1 (бир нуқтали, кўрсатувчи) | <u>2,5 ва 5,0</u> 300 | 12 | 160 × 200 × 500 | — | <u>0,5</u> — | 12 |
| КВП-1 кўрсатувчи (1, 6 ва 12) | <u>2,5 ва 10</u> 500 | 20 | 240 × 160 × 535 | — | <u>0,5</u> 1,0 | 15 |

5-mavzu: Murakkab texnologik jarayonlarni bugungi zamonaviy matematik ifodalash usullari.

Reja:

1. Texnologik jarayonlarni boshqarishning asosiy prinsiplari.
2. Ochiq konturni boshqarish
3. G'alayon bo'yicha boshqarish prinsipi, yopiq boshqarish prinsipi.

Kalit so'zlar:

Ochiq kontur, g'alayon, texnologik jarayonlarni boshqarish, rostlovchi parametrlar, boshqariluvchi parametr, asosiy prinsip.

2.1. Texnologik jarayonlarni boshqarishning asosiy prinsiplari.

Texnologik protsessni tegishli parametrlarini avtomatik rostlovchi priborlar yordamida talab qilingan xolatda ushlab turish **avtomatik-rostlash** deyiladi.

Doimiy yoki ma'lum bir konuniyatda o'zgaruvchi fizik parametr rostlanuvchi kattalik yoki- parametr deb yuritiladi.

Protsessni boshqarishda chekinishlarni rostlash uchun doimiy ta'sir ko'rsatilib turiladi, bunday ta'sir boshqaruvchi yoki rostlovchi ta'sir-deyiladi.

Rostlanuvchi parametrni berilgan qiymatidan chetlashtiruvchi va muvozanat xolatini buzuvchi ta'sir, chetlantiruvchi – to'ydiruvchi ta'sir deyiladi. Bu xolatda ASR da o'tkinchi beqaror xolat yuzaga keladi. Texnologik protsessi xarakterlovchi o'zgaruvchilar uchta gruppaga bulinadi.

1. Rostlovchi parametrlar-protsessni o'tishini xarakterlaydi va uni ma'lum bir mikkorda ushlab turish talab etiladi, (temperatura, satx, va x.k.).

2. Boshqariluvchi parametrlar-bu parametrlar protsessni o'tishi davomida rejalashtirilgan konuniyatda o'zgartirib boriladi, (bug sarfi, suvni sarfi, elektro energiya va x.k.).

3. CHetlashtiruvchi ta'sir- bu parametrlar o'zgarganda texnologik protsessni normal o'tishib uziladi. Bu aniqlangan parametrlarni bir-biri bilan statik bog'lanishini aniqlash talab etiladi. Avtomatik boshqariluvchi protsesslar nominal (asosiy) parametrlardan tashkari, ularning parametrlari statik va

dinamik xususiyatlari bilan aniqlanadi.

Boshqariluvchi (chiqishdagi) parametrlarning boshqaruvchi (kirishdagi) ta'siriga (turgunlashgan) barqaror rejimda bog'liqligi, ob'ektning-statik xarakteristikasi deyiladi.

Masalan: $U = f(X)$

U-boshqariluvchi (chiqish) parametr

X-boshqaruvchi (kirish) parametr

Boshqarilayotgan ob'ektning boshqaruvchi parametrini o'tkinchi rejimda vaqt ga bog'liq ravishda o'zgarishi, uni dinamik xarakteristikasi deyiladi.

Har bir texnologik jarayon (texnologik jarayon parametrlari deb ataluvchi) o'zgaruvchan fizikaviy va kimyoviy kattaliklar (bosim, sarf, temperatura, namlik, konsentratsiya va xokazo) bilan xarakterlanadi. Texnologik apparatura jarayonning to'g'ri o'tishini ta'minlashi uchun muayyan jarayonni xarakterlovchi parametrlarni berilgan qiymatda saklashi lozim.

Qiymatini stabillash yoki bir tekisda o'zgarishini ta'minlash zarur bo'lgan parametrga *rostlanuvchi kattalik* deb ataladi. Rostlanuvchi kattalikning qiymatini stabillash ma'lum konun bo'yicha o'zgarishini amalga oshirish uchun muljallangan asbob *avtomat rostlagich* deyiladi. Rostlanuvchi kattalikning ayni paytda o'lchangan qiymati *rostlanuvchi kattalikning ayni qiymati* deyiladi. Rostlanuvchi kattalikning texnologik reglament bo'yicha ayni vaqt da doimiy saklanishi shart bo'lgan qiymati rostlanuvchi kattalikning berilgan qiymati deyiladi. Texnologik reglament rostlanuvchi kattalikning hozirgi va berilgan qiymatlarini vaqt ning xar bir onida teng bo'lishni talab qiladi. Ammo ichki yoki tashki sharoitlarning o'zgarishi sababli rostlanuvchi kattalikning ayni qiymati berilgan qiymatidan chetga chiqishi mumkin. SHu paytda xosil bo'lgan qiymatlar farqini *xato yoki nomoslik* - deyiladi.

Xato yoki nomoslik nolga teng bo'lgan texnologik jarayon *turg'unlashgan rejim* deyiladi. Turg'unlashgan rejimda moddiy va energetik balanslar kat'iy saklanadi.

Amalda ko'pincha xom ashyoning sarfi va tarkibi, apparatlardagi

temperatura, bosim va xokazolarning o'zgarishi kuzatiladi. Texnologik jarayonning maqsadga muvofik ravishda okib o'tishiga teskari ta'sir ko'rsatuvchi xamda tizimlardagi moddiy va energetik balansini buzuvchi o'zgaruvchilar G'alayonlanishlar deb ataladi. G'alayonlanishlar ta'sirida xato paydo bo'ladigan texnologik jarayon rejimi turg'unlashmagan rejim deyiladi. Har bir boshqarish tizimida kirish va chiqish parametrlari (o'zgaruvchilari) bo'ladi. Kirish parametrlariga xom ashyoning boshlangich xolatini xarakterlovchi o'zgaruvchi xamda vaqt o'tishi bilan o'zgaradigan uskuna parametrlari, texnologik jarayonning okib o'tishini aniqlovchi o'zgaruvchilar kiradi. Kirish o'zgaruvchilari rostlanadigan va rostlanmaydigan bo'lish mumkin.

Chiqish parametrlariga chiqarilgan maxsulot sifatini (kimyoviy tarkib, zichlik va boshqalar) xarakterlovchi ko'rsatkichlar, shuningdek, xisoblash yo'li bilan aniqlanadigan texnika-iqtisodiy (uskunalarning ishlab chiqarish unumdorligi, maxsulotning tan narxi) ko'rsatkichlar kiradi.

Tizimning ishlash vaqtida rostlanuvchi kattalikning xozirgi qiymati berilgan qiymatiga mos kelishi uchun tizimga ta'sir ko'rsatish kerak (boshqariladigan o'zgaruvchi orqali). Boshqariladigan o'zgaruvchi tizim boshqaruv ta'sirining (xom ashyoning sarfi, tarkibi va boshqalar) sonli xarakteristikasidir.

Shunday qilib, sanoatning eng muxim talablaridan biri- texnologik jarayonning turg'unlashgan rejimini saklashdan iborat. Moddiy va energetik balansga rioya qiladigan mashina yoki apparat ***rostlanuvchi ob'ekt*** deyiladi.

Texnologik jarayonlarni avtomatik Boshqarishning vazifasi rostlagich yordamida rostlanuvchi ob'ektdagi kerak bo'lgan texnologik sharoitni avtomatik ravishda saklash, agar bu sharoit buzilsa, uni qayta tiklashdan iboratdir. Avtomatik rostlash vaqtida (rostlanuvchi ob'ektga rostlagichning ta'siri tufayli) rostlanuvchi kattalikning ayni qiymati berilgan qiymatga teng yoki shunga yaqin bo'ladi.

Avtomatik tizimlar bir-birlari bilan ma'lum ketma-ketlikda bog'langan bo'lib, xar biri tegishli vazifani bajaruvchi aloxida elementlardan iborat. Mustakil funksiyani avtomatik tizim tarkibining biror qismi ***avtomatika elementi*** deyiladi.

Avtomatika elementlarini ularning funksional vazifasiga kura tasniflash maqsadga muvofik. Avtomatik tizim elementlarining tarkibiga kiruvchi funksional boshlanishni ifodalovchi sxema **funksional sxema** deb ataladi. Bundan tashkari, shu avtomatik tizimni turli dinamik xususiyatlariga ega bo'lgan va bir-birlari bilan bog'langan soda bug'inlar shaklida tasvirlash xam mumkin. Bu xolda avtomatik tizimning sxema bug'inlarning bog'lanishini aks ettiradi va tizimning tuzilish sxemasi deyiladi.

Rostlanuvchi ob'ekt va avtomatik rostlagich birligi avtomatik rostlash tizimni (ART) tashkil kilib, rostlash konturi nomli berk zanjirni xosil qiladi. Bu zanjir ARTning tuzilish sxemasiga emas, balki funksional sxemasiga tegishli.

2.2. Ochiq konturni boshqarish

O'zgarilayotgan yoki boshqarilayotgan kattalikni talab qilinayotgan qonuniyat asosida boshqarishni ta'minlash ABT ning uch xil turlicha bo'lgan tuzilishi asosida: **ochiqssikl bo'yicha, yopiqssikl bo'yicha va mujassamlashganssikl bo'yicha** amalga oshiriladi.

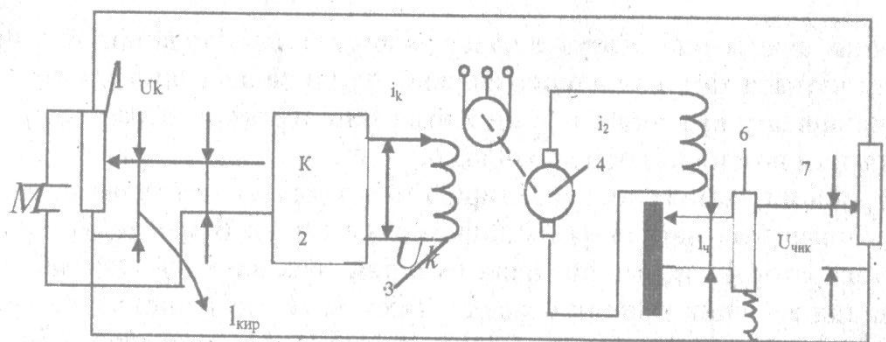
1. Ochiqssikl bo'yicha boshqarilishning tartibi belgilangan qonuniyat asosida sozlash boshqarish ta'sirlarini bevosita o'zgartirish yo'li bilan amalga oshirishdan iborat.

2. YOpiqssikl bo'yicha boshqarilganda. Teskari bog'lanishdan foydalanilgan holda, boshqaruvchi ta'sir bilan o'zgarayotgan kattalikning haqiqiy qiymatini solishtirilib, belgilangan qonuniyat asosida bajariladi.

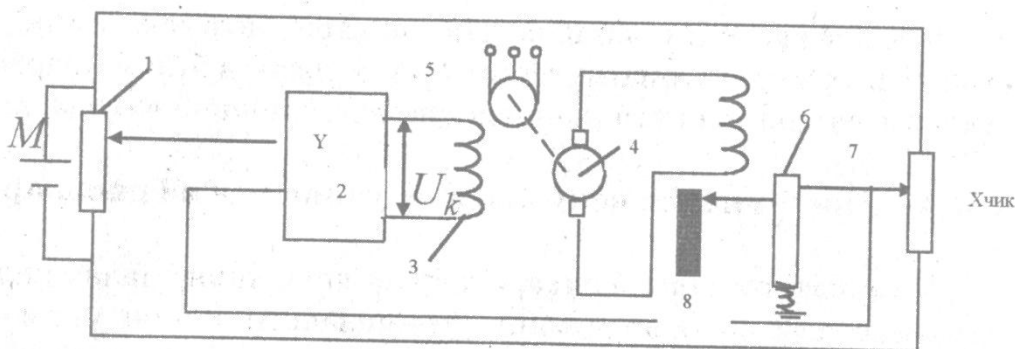
3. Mujassamlanganssiklda esa ochiq va yopiqssikl boshqarish qonuniyatlari o'zaro moslashgan holatda amalga oshiriladi.

Xuddi shu uch xil qonuniyatdagi boshqarish faoliyatini aniq misollarda ko'rib chiqaylik (5-rasm). Har uchala tizim ham berilgan signalni ma'lum bir masofadan uzatishga mo'ljallangandir. (a, b, v.). (a) rasmda ko'rsatilgan ochiqssikl tizimida 1 potensiometr siljiganda, (qandaydir kattalikka) elektron kuchaytirgich 2- ning chiqishida U kuchlanish paydo bo'ladi. Kuchaytirilgan kuchlanish U generatorning qo'zg'atish cho'lg'amida qo'zg'atish toki i_b ni hosil qiladi. Generato 4

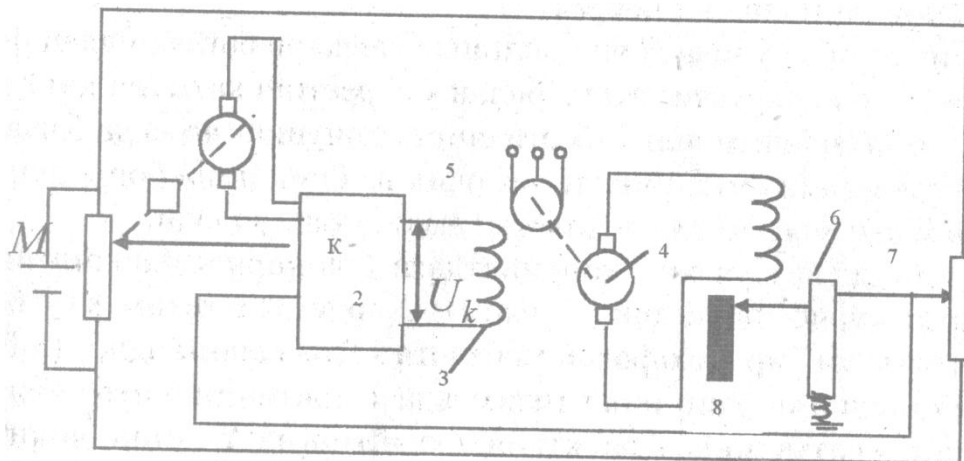
elektordvigatel 5 orqali xarakatga keltirilib, tokning qiymatini i_g - gacha oshiradi. Generator kuchlanishi U 6 solenoidning cho'lg'amiga kelib, uni yakorini tepaga ko'taradi.



a)



b)



v)

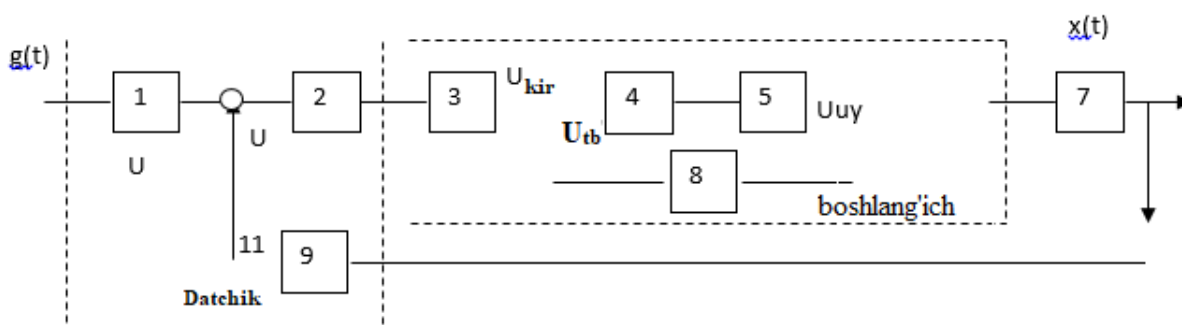
a) ochiqssikldagi tizim; b) yopiqssikldagi tizim; v) mujassamlanganssikldagi tizim.

Bunday yakorni ko'tarilishi toki elektromagnit maydon kuchi prujina kuchiga teng bo'lgunga qadar davom etadi. SHunda potensiometr 7 ning cho'tkasi ham kattalikka siljib, 8 lineyka yordamida o'lchanishi yoki chiqishdagi kuchlanish U_{chik}

ni qiymatini ko'rsatuvchi grafik orqali chiqishdagi potensimetrdan olinadi $=f(U_{\text{chiq}})$.

Dinamik xatolarni kamaytirish maqsadida mujassamlashganssikli ishlovchi ABT lardan foydalaniladi (v-rasm). Bunda reduktor 9- taxogenerator 10 tizimning ochiqssiklini tashkil etadi, qolgan elementlarni esa yopiqssiklni beradi. Taxogenerator 10 koorreksiyalovchi zanjir bilan birgalikda chiqishdagi signal I_{chiq} ni faza jihatdan kech qolishini – kompensatsiyalaydi. Bunda I_{kir} va I_{chiq} signallar amplituda jihatidan deyarli teng bo'lganliklari sababli I xatolik nisbatan kamdir (b-rasm).

Xulosa qilib shuni aytishimiz kerakki, avtomatik boshqarish tizimi deb shunday dinamik tizimga aytiladiki, ularda energiya manbalari ustidan boshqarish boshqaruvchi ta'sir signali hamda boshqarilayotgan kattalikning haqiqiy qiymatlari soolishtirilib shu yordamida amalga oshiriladi.



Bu chizmada: 1-topshiriq (signal) beruvchi qurilma; 2,4,5 – kuchaytirish elementlari; 6 – bajaruvchi element; 3 – ketma-ket faoliyat ko'rsatuvchi qurilma; 7- boshqarish ob'ekti; 9-o'lchash elementi

Chetga chiqishlar bo'yicha rostlash. CHetga chiqishlar bo'yicha rostlash prinsipidan birinchi marta (1765yili) I.I. Polzunov uzi yaratgan buF mashinasi kozonidagi suv satxini rostlash tizimida foydalangan. 1784 yilda J.Uattxam buF mashinasi valining aylanish tezligini-rostlash tizimida shu prinsipni qo'llagan.

Polzunovning kalkovichli rostlagichi va Uattning markazdan qochma rostlagichida bir-biridan mustakil ravishda bir prinsip kullanilgan va bu prinsip Polzunov-Uatt rostlash prinsipi (yoki chetga chiqishlar bo'yicha rostlash prinsipi) nomini olgan. Bu prinsipning moxiyati shundaki, rostlash jarayonida rostlagich

rostlanuvchi ob'ektga rostlanuvchi kattalikning hozirgi va berilgan qiymatlari orasida tengsizlik xosil bo'lgandagina uz ta'sirini ko'rsatadi. Bu prinsipni amalga oshiruvchi avtomatik tizim berk tizimdir, chunki signal rostlanuvchi ob'ektning chiqish qismidan tengsizlikni qayta ishlab ob'ektning kirishiga ta'sir ko'rsatuvchi avtomatik rostlagichning kirish qismiga keladi. O'lchovning chetga chiqish qiymatini kuchaytirish tizimni murakkablashtirishga olib keladi. Xatoning kandy G'alayonlanishlar ta'sirida paydo bo'lishdan kat'iy nazar, avtomatik rostlagichning bu xatoni qayta ishlashi ushbu tizimning afzalligi xisoblanadi. Bu xususiyat muxim axamiyatga ega, chunki sanoatdagi rostlanuvchi ob'ektlarga kandy G'alayonlanishlar ta'sir qilishini avvaldan bilish mumkin.

Chetga chiqishlar bo'yicha rostlash prinsipini amalga oshiruvchi ARTlarning yana bir afzalligi bitta rostlovchining ta'sirida bir nechta G'alayonlanishlarning zararli okibatini yoqotish mumkinligidadir. Bu prinsipning kamchiligi shundaki, G'alayonlanish paydo bo'lish bilan ular boshqariluvchi parametrqa ta'sir qilmay, balki rostlanuvchi ob'ektning dinamik xususiyatlariga bog'lik bo'lgan vaqt o'tgandan so'ng ta'sir ko'rsatsa, avtomatik rostlagich biroz kechikib ta'sir ko'rsatadi, shu sababli rostlanuvchi parametr belgilangan qiymatidan anchagina chetga chiqishga ulguradi. Bu xollarda rostlovchining ta'sirini jadallashtiruvchi avtomatik rostlagichlar yaratish yo'lidan borish mumkin. Ammo bunday rostlagichlar tengsizlikni butunlay kompensatsiya kilibgina kolmay, balki uning teskari yo'nalishda rivojlanishiga olib keladi. Shu sababli chetga chiqishlar bo'yicha ishlaydigan ARTlari uchun rostlanuvchi parametr qiymatining berilgan qiymatqa nisbatan tebranishlari bilan ifodalanuvchi oralik jarayonlar xarakterlidir. Chetga chiqishlar bo'yicha ishlaydigan ARTlarni shunday loyixalash kerakki, bu tebranishlar sunuvchi xususiyatqa ega bo'lib, xatoning qiymati nolga (yoki minimumga) etsin.

2.3. G'alayon bo'yicha boshqarish prinsipi, yopiq boshqarish prinsipi.

G'alayonlanish bo'yicha rostlash. 1830 yilda fransuz matematigi Ponsele G'alayonlanish (yuk) bo'yicha rostlash prinsipini (Ponsele prinsipi) ta'riflab bergan. Ijro etuvchi mexanizm rostlovchi organining ob'ekt yuki ta'sirida xarakatqa

keladigan rostdash tizimi *g'alayonlanish bo'yicha* ART deyiladi.

G'alayonlanish bo'yicha rostdash sezilarli tengsizlik paydo bo'lishdan avvalroq G'alayonlanishning zararli ta'sirini yo'kotishga imkon beradi. Avtomat rostdagich bunday tizimlarda fakat konkret G'alayonlanish ta'siriga javoban xarakterga keladi. Rostlanuvchi ob'ektga esa bir necha G'alayonlanishlar ta'sir qilishi mumkin. Rostlanuvchi ob'ektga ta'sir qilishi mumkin bo'lgan G'alayonlanishlar soni nechta bo'lsa, bu ob'ekt shuncha avtomat rostdagichlar bilan ta'minlanishi kerak degani.

Rostlanuvchi ob'ekt xaqida aniq ma'lumotlarsiz uni g'alayonlanish bo'yicha rostdash mumkin bo'lmaydi.

Agar xom ashyo xossalari o'zgarishi avvaldan ma'lum bo'lsa, xom ashyo zaxirasi va turli aralastirgichlardan foydalanib ta'minlashning tarkibi saklanadi, yoki xom ashyo xossalari o'zgarishiga yo'l quyib, jarayonga berilgan vazifani o'zgartirish yo'li bilan chiqish parametrlarining o'zgarishi saqlanadi. G'alayonlanish bo'yicha rostdash tizimida rostdash sifati jarayon parametrlarining avvaldan berilgan ma'lumotlarning aniqligiga bog'liq. Bu tizimlar asosiy g'alayonlanishlari ma'lum va o'lchovli bo'lgan ob'ektlar uchun kulay. YUk bo'yicha rostdashda vaqtning xar bir onida uzatish va iste'mol qilish o'rtasidagi tenglikni ta'minlash juda qiyin.

ART bilan G'alayonlanish kompensatsiyasining xususiyati-ular ochiq rostdash tizimlaridan iborat ekanligidir. Bu tizimlarda rostdanuvchi parametr bilan avtomat rostdash o'rtasida aloqa yo'q. Bunda yopiq rostdash tizimlarining kamchiligi rostdagich ishi va natija orasida aloqa yo'qligida. Vaqt o'tishi bilan tizimda paydo bo'lgan eng kichik xato xam rostdanuvchi kattalikning chetga chiqishiga olib keladi. SHuning uchun, yuqori darajada aniqlikka ega bo'lgan rostdagichlar yaratish zarur bo'lib, buni amalga oshirish katta qiyinchiliklar bilan bog'liq.

Nazorat savollari

1. Rostdash ob'ektlarining o'tish xarakteristikalariga ta'rif bering;
2. O'tish xarakteristikalarini qanday usullar orqali olinadi?
3. O'z-o'zini to'g'irlovchi bir sig'imli rostdash ob'ektlarining o'tish

xarakteristikasining taxlilini aytib bering;

4. O'z-o'zini to'g'irlamaydigan bir sig'imli rostdash ob'ektlarining o'tish xarakteristikasining taxlilini aytib bering;

5. Ko'p sig'imli rostdash ob'ektlarining o'tish xarakteristikalarini taxlilini aytib bering;

6. Rostdash ob'ektining impuls xarakteristikalariga ta'rif bering.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Wolfgang Altmann, Practical Process Control for Engineers and Technicians: Jordan Hill, Oxford 2005, 304 p.

2. Ad Damen Modern Control Theory Prentice Hall 2002 460 s.

3. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish: Darslik. –Toshkent: O'qituvchi, 2011.-576 b.

4. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov SH.M. Texnologik jarayonlarni boshqarish sistemalari: Darslik. – Toshkent: O'qituvchi, 2015- 704 b.

5. Иванова Г.В. Автоматизация технологических процессов основных химических производств. Методические материалы по курс лекций.-С.Пб.: Петербургский ГТУ, 2008.- 238с.

6. Шувалов В.В. Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: Учебное пособие.- М.: Химия, 2011.-480с.

7. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные системы в химической промышленности: Учебник.- М.: Химия, 2016.- 320с.

Zamonaviy avtomatik boshqarishning nazariy va algoritmik asoslari va amalga oshirish usullari.

Reja:

1. Nazoratning asosiy tushinchalari.
2. Avtomatlashtirish bosqichlari.
3. ABSlarning klassifikatsiyasi.
4. Ishlab ish jarayonlarini nazorat qilish va vizuallashtirish tizimlari

Tayanch soʻz va iboralar:

Texnologik operatsiya, element, mashina yordamisiz, qoʻl operatsiyalari, tikuv mashinalari, jarayon, yordamchi jarayonlar, asosiy jarayon, sintetik jarayon, analitik jarayon, chiziqli jarayon, parallellik, proporsionallik prinsipi, avtomatlashgan operatsiyalar.

1. Nazoratning asosiy tushinchalari.

Har qanday korxonada faoliyatining asosiy ishlab ish jarayoni tashkil etadi. SHu sababdan, korxonada muvaffaqiyati ana shu jarayonni qanday tashkil etilishiga bogʻliqdir. Ishlab ish jarayonini toʻgʻri yoʻlga qoʻyish uning samaradorligini oshiradi, moddiy xarajatlarni kamaytiradi, mehnat sarfini qisqartirib, tannarxini pasaytiradi. SHu oʻrinda ishlab ish jarayoni haqida maʼlumot berish maqsadga muvofiqdir.

Ishlab ish jarayoni - mahsulot ishlab ish uchun mazkur korxonalar va mehnat qurollari harakatlarining majmuidir yoki boshqacha qilib tarif berilsa, ishlab ish jarayoni insonning mehnat qurollari yordamida mehnat buyumlariga maqsadga muvofiq taʼsiridir.

Ishlab chiqarish jarayoni uch elementdan tashkil topadi. 1. Mehnat buyumlari (xom ashyo, materiallar).

2. Mehnat vositalari (jihazlar va uskunalari). 3. Mehnat (inson faoliyati).

Ishlab ish jarayoni texnologik jarayonlar va yordamchi jarayonlardan tashkil topadi.

Texnologik jarayon buyumlar xolatini oʻzgartirishga qaratilgan ishlab ish jarayoni bir qismidir. Texnologik jarayon texnologik operatsiyalar yiindisidan iborat.

Texnologik operatsiya ish o'rnining ishlov berilayotgan mahsulotning va ishchining o'zgarishligi bilan xarakterlanadi. Ana shu elementlardan birontasining o'zgarishi bir operatsiya tugab ikkinchisi boshlanganidan dalolat beradi.

Qo'llaniladigan jihozlarga ko'ra texnologik operatsiyalarning quyidagi turlarini ajratish mumkin:

1. Qo'l operatsiyalari (mashina yordamisiz qo'lda bajariladi).
2. Mashina qo'l operatsiyalari (ishchi va mashinalar yordamida bajariladi. Masalan: tikuv mashinalarida bajariladigan operatsiyalar).
3. Mashina operatsiyalari (jarayon ishchining ishtirokisiz bajariladi, ishchining funksiyasi jihozni ishga tayyorlashdan iboratdir. Masalan: tokorlik stanoklarida bajariladigan operatsiyalar).
4. Avtomatlashgan operatsiyalar (ishchining ishtirokisiz amalga oshiriladi). Ishlab ish jarayoni turli xil ko'rinish va xarakterga ega bo'lgan qisman jarayonlardan tashkil topadi. Barcha qisman jarayonlar asosiy va yordamchi jarayonlarga bo'linadi.

Xom ashyoning shakli va xolatini bevosita o'zgartirib, yangi mahsulot yaratadigan jarayon asosiy ishlab ish jarayonidir (kiyimlarni bichish, tikish, dazmol bosish; avtomobil qismlarini yiish va h.k.). O'z navbatida asosiy jarayonlar mehnat va tabiiy jarayonlarga bo'linadi.

Ishlov berilayotgan buyumlarning shakl, o'lcham, fizikaviy - ximiyaviy xususiyatlarining o'zgarishi bevosita insonning maqsadga muvofiq ta'sirida ro'y bersa ushbu jarayon mehnat jarayoni hisoblanadi.

Tabiiy kuchlar ta'sirida amalga oshiriladigan jarayonlar tabiiy jarayonlardir. Masalan, tabiiy qurish, ko'pish;

Asosiy jarayonlar bilan bir qatorda ishlab ish jarayonida yordamchi jarayonlar ham mavjud. Yordamchi jarayonlar asosiy jarayonlarning uzluksizligini ta'minlash uchun zaruriy sharoitlarni yaratishga xizmat qiladi. Yordamchi jarayonlarga texnologik asbob - uskunalarni tayyorlash, jihozlarni ta'mirlash, mahsulot sifatini nazorat qilish, transportirovka, moddiy boyliklarni saqlash

jarayonlarini misol qilish mumkin. SHuni esda to‘tish kerakki, ishlab ish xarakteri bilan korxonalar tashkiliy tuzilmasi orasida chiziqli bo‘linish yo‘q. CHunki asosiy jarayonlardan nafaqat asosiy jarayonlar, balki yordamchi jarayonlar ham bajariladi va aksincha.

Xarakteriga ko‘ra ishlab ish jarayoni sintetik, analitik, chiziqli jarayonlarga bo‘linadi.

1. Sintetik jarayonlarda turli xil xom ashyo va materiallardan bir turdagi mahsulot ishlab chiqiladi (kostyum tikish- asosiy mato, astarlik mato, ip, tugma va h.k.).

2. Analitik jarayonlarda bir turdagi materiallardan turli xildagi mahsulot ishlab chiqariladi (paxtadan-paxta ip, chigit; neftidan- turli xil yonilg‘i mahsulotlari).

3. CHiziqli jarayonlarda bir xil xom ashyodan bir xil mahsulot ishlab bo‘ladi (doskalar tayyorlash).

Korxonalar faoliyatining samaradorligi ko‘p jihatdan ishlab ish jarayonini qanday tashkil etilishiga bog‘liq. Ishlab ishni tashkil etishga quyidagi talablar qo‘yiladi.

- xususiy jarayonlar o‘rtasida uzluksizlikni ta‘minlash,
- ishlab ish quvvatlarida zaruriy proporsionallikni ta‘minlash. – mehnat buyumlarini samarali harakatini yo‘lga qo‘yish,
- mahsulot ishlab ish muddatini qisqartirish,
- ishlab ish vositalaridan va ishchi kuchidan samarali foydalanib bir maromda mahsulot ishlab ishni ta‘minlashga erishish,
- ishlab ish jarayonida xarajatlar iqtisodiga erishish.

Ana shu talablarni bajarishda ishlab ishni samarali tashkil etishning prinsiplariga rioya qilish muhim ahamiyat kasb etadi.

Bu prinsiplar quyidagilardan iborat:

1. **Parallellik** (texnologik jarayonlarni parallel bir vaqtda bajarish). Bunda barcha texnologik jarayonlar kichik qismlarga bo‘linib ish o‘rinlariga taqsimlanadi

va bir vaqtda birdaniga bajariladi.

2. **Uzluksizlik.** Ushbu prinsip barcha texnologik operatsiyalarni uzluksiz ravishda amalga oshirishni ko'zda tutadi.

Bu shart quyidagi shartlarda bajariladi:

- barcha ish o'rinlarida bir xil turdagi ya'ni unumdorligi teng bo'lgan mashina va jihozlarning mavjudligi,
- operatsiyalardan uzatishning uzluksizligini ta'minlash, - moddiy texnika ta'minotini yaxshilash.

Uzluksizlik prinsipiga amal qilish ishlab ish vositalari, ishchi kuchi va ish vaqtdan to'liq foydalanish imkonini beradi.

3. **Proporsionallik prinsipi.**

Ushbu prinsip ishlab ish bo'limlarini ishlab ish quvvatiga moslashtirish, qisman ishlab ish jarayonlarini texnologik marshrutga moslashtirishni ko'zda tutadi va ishlab ishning barcha bosqichlarida zaruriy hajmdagi mahsulotlarni bir vaqtda ishlab ishni ta'minlaydi.

SHarti - ishlab ish jarayonining barcha qismlarining proporsionalligiga erishishidir.

Ushbu shartssehdagi ish o'rinlariga ham, ssex va uchastkalari uchun ham birdek tegishli. Masalan: ikki ketma-ket operatsiyaning mehnat siqimi $T_1=10$ min, $T_2=20$ min. ssex bo'yicha operatsiyalarni bajarish o'rtacha vaqti 5 min. U holda 1-operatsiyada 2 ish o'rni (10:5), 2-operatsiyada esa (20:5) 4 ish o'rnini tashkil etish lozim.

Ishlab ish jarayonining orasida korporatsiyanallikning buzilishi korxonada faoliyati maromiyligining buzilishiga; jihozlarning to'xtab qolishiga olib keladi. Bu esa o'z navbatida ishlab ish samaradorligiga ham ta'sir ko'rsatadi.

4. **Aniqlilik prinsipi** detal, mahsulotlarning ish o'rinlari bo'yicha qisqa, aniq xarakterini tanlashni ko'zda tutadi.

Ish o'rinlarini texnologik jarayon ketma-ketligida joylashtirish orqali yuqori aniqlikka erishish kerak.

Maromiylik prinsipini ma'lum bir xil vaqt oralig'ida bir maromda mahsulot

ishlab ishni ta'minlashni ko'zda tutadi.

3.2.Avtomashtirish bosqichlari.

Kibernetika fanining asoschisi, amerikalik matematik N.Viner X asr soatlar asri, XXasr bug' mashinalari asri, hozirgi payt esa aloqa va boshqarish asri deb ta'kidlagan edi. «Zamonamiz texnikasi murakkab kompleks tizimlardan foydalanish bilan tavsiflanib, ularda inson diqqati va xotirasi erisha olmaydigan tezlik va aniqlik bilan muvofiqlashtirish, boshqarish va tartibga solishni talab qiluvchi juda ko'p sonli va xilma xil moddiy, energetik va axborot oqimlari chirmashib ketgan.

Boshqarishning bunday masalalarini amalga oshirish hisoblash texnikasi negizida faqat avtomatlashtirishning texnik vositalaridan foydalanibgina bo'lishi mumkin. Sanoat avtomatlashtirishi kompyuter tizimlarining texnologik jarayonlarni avtomatlashtirilgan boshqarish tizimlari (TJABT) rivojlanishini uchta yirik bosqichga ajratish mumkin. TJABTni yaratishning birinchi bosqichi birinchi avlod EHM laridan foydalanish bilan bog'liq, masalan, «Ural», «UM-1»,«Minsk» kabiEHM lar.

Ikkinchi bosqichda IBM, EC EHM, mini kompyuterlar (DEC, CM EHM va b.) turidagi meynfreymlar qo'llanilgan edi. Bu bosqichlarda boshqarish tizimlari markazlashgan tuzilishga ega bo'lib, ko'pincha real vaqt rejimida etarlicha tezkorlik va ishlashni ta'minlay olmasdi. O'sha vaqtdagi kompyuterlar element bazasi va dasturiy ta'minoti mukammal bo'lmagani sababli ishonchliligi past edi, shu sababli ko'pincha ishdan edi. Mikro elektronikadagi muvaffaqiyatlar, mikroprosessorlarning paydo bo'lishi 80-yillarning boshlarida boshqarish tizimining tuzilish texnikasida inqilobiy o'zgarishlarni amalga oshirdi, sanoat ishlab chiqadigan kompyuterlashtirishning va avtomatlashtirishning mutlaqo yangi texnik vositalarini yaratishning uchinchi bosqichini ochib berdi. Mikroprosessorlar avtomatlashtirish va nazoratning ayrim vositalari tarkibiga kira boshladi. Ayrim qurilmalar o'rtasida ma'lumotlarni raqamli uzatish hisoblash tarmog'ini boshqarish tizimlarini qurishga asos qildi. Ma'lumotlarga ishlov berishning ayrim qurilmalari orasidagi raqamli aloqani ko'zda tutuvchi yangi tuzilishdagi texnologik jarayonni

boshqarish tizimi markazlashtirilmagan- MTJABT yoki taqsimlangan – TTJABT degan nomni oldi.

XX asrning 70- va 80-yillarida etakchi jahon avtomatlashtirish vositalari ishlabuvchilari TJABTni qurish uchun dasturli-apparaturali vositalar to'plamini ishlab boshladilar. Bunday to'plamlarning asosiy belgilari ularning moslashuvchanligi, yagona tizimda faoliyat ko'rsata olish qobiliyatiga egaligi, interfeyslarning standartlashtirilishi butun TJABTni faqat mazkur to'plash vositalaridan qurishga imkon beruvchi funksional to'lalilik. Bunday vositalar to'plami dasturiy-texnik majmualar (DTM) nomini oldi. Zamonaviy TJABTni yaratishda jahon integratsiyasi va texnik echimlarni unifikatsiyalash kuzatilmoqda. Ishlabuvchi firmalar o'z imkoniyatlarini boshqalardan yaxshiroq qila olishlariga qaratmoqdalar, boshqa so'zlarda eng yaxshi jahon yutuqlarini o'zlashtirib, shu bilan tizimli integratorlar bo'lib qolmoqdalar.

Zamonaviy boshqarish tizimlarining asosiy talabi-bu tizimning ochiqligidir. Agar tizim uchun foydalaniladigan ma'lumotlar formatlari va tadbirlar (proseduralar) interfeysi aniqlangan va tavsiflangan bo'lsa, bunday tizim ochiq deb hisoblanadi, bo'lsa unga «tashqi» mustaqil ishlab chiqilgan komponentlarni ulash imkonini beradi. IBM PC arxitekturasi avtomatlashtirish sohasida etakchi o'rinni egallaydi. Keyingi yillarda avtomatlashtirishning texnik vositalari bozori tubdan o'zgardi. Avtomatlashtirish vositalari va tizimlarini ishlab chiquvchi juda ko'p firmalar yaratildi. Mashhur asbobsozlik zavodlari ishlab chiqarilayotgan mahsulotlari nomenklaturasini o'zgartirdi. Avtomatlashtirishning texnik vositalari bozorida ishlovchi tizimli integratorlar-ko'pgina mas'ul firmalar paydo bo'ldi. 90-yillarning boshidan avtomatlashtirishning texnik vositalarini ishlabuvchi etakchi xorijiy firmalar o'z vakolatxonalari, firmalari, qo'shma korxonalarini, firma dilerlari orqali ko'p mamlakatlariga o'z mahsulotlarini keng joriy qila boshladilar. Zamonaviy boshqaruv texnikasi bozorining jadal rivoj va tez harakati avtomatlashtirishning texnik vositalarining zamonaviy holatini aks ettiruvchi adabiyotlar paydo bo'lishini talab etadi. Hozirgi vaqtda firmalarni avtomatlashtirish vositalari to'g'risidagi zamonaviy tarqoq xarakterga ega va asosan davriy matbuotda

yoki I global INTERNET tarmog'ida zavodlar va ishlabuvchilarning saytlarida yoki maxsus axborot portallarida, masalan, www.asupt.ru, www.mka.ru, www.industrialauto.ruda taqdim etilgan. Hozirgi paytda ko'pchilik texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish universal mikroprosessorli kontroller vositalari negizida amalga oshirilmoqda, ularni dasturiy-texnik majmua (DTM) deb ataladi.

Dasturiy-texnik majmualar avtomatlashtirishning mikroprosessorli vositalari yig'indisidan (mikroprosessorli kontrollerlar, ob'ekt bilan aloqani o'rnatuvchi moslamalari OAO'M), operatorning displeyli pul'tlari va turli vazifalarni bajaruvchi serverlar, sanoat tarmoqlaridan iborat bo'lib, ular kontrollerlarning dasturiy ta'minotining va operator displeyli pul'tlarining sanab o'tilgan komponentlarini bog'lashga imkon beradi. DTM birinchi navbatda, sanoatning eng xilma-xil soxalarida turli axborot quvvatiga ega (o'nlab kiruvchi-chiquvchi signallardan yuz mingtasigacha) texnologik jarayonlarning taqsimlangan boshqarish tizimlarini yaratish uchun mo'ljallangan. Kichik o'lchamli va tez ishlovchi mikro kontrollerlarni yaratish uchun element asosining yaxshilanishi, boshqaruvchi hisoblash tarmoqlari puxtaligining ortishi, sanoat kontrollerlari va operatorlar stansiyalari uchun samarali dasturiy ta'minotning ishlab chiqilishi DTM ning keng tarqalishiga ko'p jihatdan imkoniyat yaratdi. Hozirgi paytda Rossiya bozorida, shu erda va xorijda ishlab chiqilgan yuzdan ortiq DTM tarqalgan.

Barcha universal mikroprosessorli DTM lar sinflarga ajratilib, ularning har biri bajariladigan vazifalarning ma'lum to'plamiga va boshqarish ob'ekti to'g'risida olinayotgan va ishlov berilayotgan axborotning tegishli hajmiga mo'ljallangan.

Bu yo'nalish keyingi paytda tubdan rivojlandi, bu birinchi navbatda quyidagi sabablar bilan izohlanadi:

- RS ning ishonchlilikni oshirish;
- odatdagi va sanoatda ishlabilgan shaxsiy kompyuterlarning ko'p modifikasiyalari mavjudligi bilan;
- ochiq arxitekturadan foydalanish;
- uchinchi firmalar ishlabayotgan istagan kirish/chiqish (OAO'M modullari) bloklarini ulash osonligi;

- ishlab tayyorlangan dasturiy ta'minotning keng nomenklaturasidan foydalanish mumkinligi (real vaqt operatsion tizimlari, ma'lumotlar bazasi, nazorat qilish va boshqarishning tatbiqiy dasturlari paketlari).

RS negizidagi kontrollerlar, odatda, sanoatda uncha katta bo'lmagan berk ob'ektlarni boshqarish uchun, tibbiyotda mahsus avtomatlashtirish tizimlarida, ilmiy laboratoriyalarda, kommunikatsiya vositalarida foydalaniladi. Bunday kontrollerning kirish-chiqishlari umumiy soni odatda bir necha o'nlikdan oshmaydi, vazifalari to'plami esa bir nechta boshqaruvchi ta'sirlarni hisobga olgan holda o'lchash axborotiga murakkab ishlov berishni ko'zda tutadi. RS negizidagi kontrollerlarning rasional qo'llanish soxasini quyidagi shartlar bilan izoxlash mumkin:

- boshqarish ob'ektining kirish va chiqishlari uncha ko'p miqdorda bo'lmaganda etarlicha kichik vaqt oralig'ida katta hajmdagi hisoblash bajariladi (qayta hisoblash quvvati zarur);
- avtomatlashtirish vositalari ofisdagi shaxsiy kompyuterlarning ishlash sharoitidan ko'p farq qilmaydigan atrof muhitda ishlaydi;
- kontroller amalga oshiradigan vazifalarni (ular nostandart bo'lgani sababli) maxsus texnologik tillarning birida emas, balki yuqori darajadagi odatdagi dasturlash tilida, S++, PASKAL va h.k. da dasturlash maqsadga muvofiqdir; oddiy kontrollerlar ta'minlaydigan kiritik sharoitlarda ishni amalda kuchli apparat qo'llab-quvvatlash talab qilinmaydi. Bunday qo'llab-quvvatlashning vazifalariga quyidagilar kiradi: hisoblash qurilmalari ishni chuqur tashxisi, avtomat zaxiralash choralari, shu jumladan kontrollerlar ishni to'xtatmasdan nosozliklarni bartaraf etish; avtomatlashtirish tizimi ishlagan vaqtida dasturiy komponentlar modifikatsiyasi va hokazo.

RS negizida kontroller bozorida O'zbekistonda quyidagi kompaniyalar ishlaymoqda: Honeywell, Siemens, emerson elektrik, ABB, Alien Bradley, Ge Fanuc va boshqalar.

Hozirgi paytda sanoatda lokal kontrollerlarni bir necha turlari foydalaniladi:

- qurilma ichiga o'rnatiladigan va uning ajralmas qismi bo'lib hisoblangan. Bunday

kontroller Sonli Dasturiy Boshqarish SDB li stanokni boshqarish, zamonaviy intellektual analitik asbobni, avtomashinasini va boshqa qurilmani boshqarish mumkin.

- avtonom (aloxida), uncha katta bo'lmagan etarlicha izolyasiyalangan texnologik ob'ektni, masalan, tuman qozonxonalari, elektr kichik stansiyalarini nazorat va boshqarish vazifalarini amalga oshirish. Avtonom kontrollerlar atrof muhitning turli xil sharoitlarini mo'ljallangan himoyalangan korpusga joylashgan. Deyarli doim bu kontrollerlar «nuqta-nuqta» rejimida boshqa apparatura va interfeyslarga ulanish uchun portlarga ega bo'lib, ular tarmoq orqali ularni boshqa avtomatlashtirish vositalari bilan bog'lashi mumkin.

Kontrollerlarga alfavit-raqamli displey va funksional klavishalar to'plamidan iborat maxsus interfeys paneli operatori bilan o'rnatiladi yoki unga ulanadi. Mazkur sinf kontrollerlari, odatda, uncha katta bo'lmagan yoki o'rtacha hisoblash quvvatiga ega. Quvvat prosessorning xonaliligiga va chastotasiga, shuningdek, operativ, doimiy hotirasi hajmiga bog'liq bo'lgan kompleks tavsifdan iborat.

Lokal kontrollerlar ko'pincha datchiklardan va ijrochi mexanizmlardan kelayotgan o'nlab kirish-chiqishlarga ega. Kontrollerlar o'lchash axborotga ishlov berish, blokirovkalash, rostlash va dasturiy-mantiqiy boshqarish kabi eng oddiy umumiy vazifalarni amalga oshiradi. Ularning ko'pchiligida axborotni boshqa avtomatlashtirish tizimlariga uzatish uchun bitta yoki bir nechta tabiiy portlari bo'ladi. Bu sinfda avariya qarshi himoyalash tizimi uchun mo'ljallangan loalkontrollerlarning maxsus turini ajratib ko'rsatish lozim. Ular ayniqsa yuqori puxtaligi, to'liqligi va tez ishlashi bilan ajralib turadi. Ularda nosozliklarni aloxida platalarga lokallashtirish bilan to'la joriy tashxis qilishning turli xil variantlari, ayrim komponentlarini ham, umuman butun qurilmani ham zaxiralash ko'zda tutiladi.

Zahiralashning quyidagi usullari eng ko'p tarqalgan:

- ayrim komponentlar va yoki umuman kontrollerlarni issiq zaxirasi (test ishchi kontrollerdan o'tmaganda boshqaruv ikkinchi kontrollerga o'tadi);
- guruhni tashkil qiluvchi barcha kontrollerlarning signallarga ishlov berish

natijalariga ko'ra, asosiy komponentlarning yoki umuman kontrollerlarning «ovoz berish» bilan o'lchanishi (chiqish signali uchun guruhdagi ko'pchilik kontrollerlar bergan signal qabul qilinadi, boshqacha natija bergan kontroller esa nosoz deb e'lon qilinadi);

- «juft va zaxira» tamoyili bo'yicha ishlash. Bir juft kontroller natijalarga «ovoz berish» bilan parallel ishlaydi va xuddi shunga o'xshash juft qaynoq zaxirada turadi. Birinchi juftlikning ish natijalarini farq aniqlansa, boshqaruv ikkinchi juftga o'tadi; birinchi juft test sinovidan o'tkaziladi va yoki tasodifiy buzilish mavjudligi aniqlanadi va boshqaruv birinchi juftga qaytariladi, yoki nosozlik tashxis qilinadi (tekshiriladi) va boshqaruv ikkinchi juftlikda qoladi.

Tarmoq DTM lari barcha sanoat tarmoqlaridan ishlab ish jarayonlarini boshqarish uchun juda keng miqyosida qo'llaniladi. Mazkur sinfdagi **DTMning minimal tarkibi quyidagi komponentlarning bo'lishini nazarda tutadi:**

- kontrollerlar to'plash;
- bir nechta operatorlarning displeyli ishchi stansiyalari; kontrollerlarni bir-biri bilan va kontrollerlarni ishchi stansiyalar bilan biriktiruvchi tizimli(sanoat) tarmog'i.

Har bir tarmoq majmuidagi kontrollerlar, odatda bir-biridan tez ishlashi, xotira hajmi, zaxiralash bo'yicha imkoniyatlari, atrof muhitning turli xil sharoitlarida ishlash qobiliyati, kirish-chiqish kanallari soni bilan farq qiluvchi bir qator modifikatsiyaga ega. Bu tarmoq majmuasidan turli xil texnologik ob'ektlar uchun foydalanishni engillashtirishda, chunki kontrollerlarni avtomatlashtirilgan ob'ektning ayrim elementlariga va nazorat xamda boshqarishning turlari va zifalariga moslab yanada aniq tanlab olishga imkon beradi. Displeyli ishchi stansiyalar (operatorpultlari) sifatida deyarli har doim odatdagi yoki sanoatda ishlab chiqilgan, ko'pincha ikki xildagi klaviaturalar (an'anaviy alfavitli-raqamli va maxsus vazifali) hamda katta ekranga ega bo'lgan bir yoki bir nechta monitorlar bilan jixozlangan shaxsiy kompyuterlardan foydalaniladi.

Sanoat tarmog'i turli xil tuzilishga ega bo'lishi mumkin: umumiy shinali, xalqasmon, yulduzcha, u ko'pincha o'zaro takrorlagich va marshrutizatorlar bilan

bogʻlangan segmentlarga boʻlinadi. Xabarlarini uzatishga qatʻiy talab qoʻyiladi: ular kafolatlangan holda adresatga etkazib berilishi, yuqori ustuvorlikdagi xabarlar uchun esa, masalan, avariya toʻgʻrisida ogoxlantiruvchi xabarlar uchun ham xabarlarini uzatishning koʻrsatilgan muddatini taʼminlash lozim. DTMning bu sinfida fazoning katta soxasida taqsimlangan obʻektlarni avtomatlashtirish uchun moʻjallangan kontrollerlarning tarmoq majmuasining telemexaniq turi ajratib olinadi.

Oʻziga xos tuzilmaga ega boʻlgan sanoat tarmogʻi va aloxida fizik (jismoniy) aloqa kanallari (radio kanallar, ajratilgan telefon simlari, tolali kabellar) bir-biridan koʻplab oʻnlab kilometr masofada turgan obʻekt uzellarini integratsiyalashga (birlashtirishga) imkon beradi. Kontrollerlar tarmoq majmualarining qurilayotgan sinfi bajarayotgan vazifalarining murakkabligi boʻyicha ham (oʻlchashlar, nazorat, hisobga olish, tartibga solish va blokirovka), avtomatlashtirilayotgan obʻektning hajmi boʻyicha ham (oʻlchanayotgan va nazorat qilinayotgan mingta kattalik doirasida) yuqoridan cheklashlarga ega. Koʻpincha tarmoq majmualari mashinasozlik zavodlarissexlari, neftni qayta ishlovchi, neftkimyosi va kimyo sanoati agregatlari, shuningdek oziq-ovqat sanoati korxonalarissexlari doirasida qoʻllaniladi. Kontrollerlarning telemexaniq tarmoq majmualari gaz va neft quvurlarini, elektr tarmoqlarini, transport tizimlarini boshqarish uchun foydalaniladi.

3.3. ABSlarning klassifikatsiyasi.

Hozirgi paytda sanoat avtomatlashtirishi bozorida ham mamlakatimiz, ham xorijiy ishlab chiquvchilarning bir necha yuzdan ortiq eng xilma-xil DTMLari mavjud. Ularning barchasi oʻz tuzilishi, axborot quvvati, foydalanish tavsiflari (haroratlar, namlik oraligʻi, portlash va yongʻin chiqish havfi boʻlgan ishlab ishda foydalanish imkoniyati), qiymati va boshqalar bilan farqlanadi. Mavjud DTMLarning xilma-xilligiga qaramay, ularning koʻpchiligiga xos boʻlgan bir qancha funksional elementlarni ajratib koʻrsatishi mumkin:

sanoat tarmoqlari; dasturlanuvchi mantiqiy kontrollerlar yoki RS negizidagi kontrollerlar, obʻekli intellektual aloqa qurilmalari; turli xil vazifani bajaruvchi ishchi stansiyalar va serverlar; amaliy (tatbiqiy) dasturiy taʼminot.

DTM tuzilmasi birinchi navbatda majmuaning aloxida komponentlari (kontrollerlar, operator pulʼtlari), uzoqlashtirilgan kiritish-ish bloklarining oʻzaro aloqasi vositalari va tavsiflari bilan, yaʼni tarmoq imkoniyatlari bilan belgilanadi. DTM tuzilmalarining qulayligi va xilma-xilligi quyidagilarga bogʻliq: mavjud tarmoq sathlari soni; tarmoqning har bir sathida imkon boʻlgan aloqa turlari (topologiyalar): umumiy shina, yulduzcha, halqasimon; har bir sath parametrlari: kabel turlari, yoʻl qoʻyiladigan masofalar, har bir tarmoqqa ulanuvchi uzellar (majmua komponentlari)ning maksimal miqdori, axborotni uzatish tezligi, komponentlarning tarmoqqa kirishi usullari (xabarlarni etkazish vaqti boʻyicha tasodifiy, yoki ularni eltib berish vaqtini kafolatlovchi).

DTM ning koʻrsatib oʻtilgan xossalari ishlab ishsexlarida apparaturalarni taqsimlash imkonini ifodalaydi, mazkur DTM da amalga oshirilgan avtomatlashtirish tizimi qamrab olishi mumkin boʻladigan ishlab ish hajmini kiritish-ish bloklarini bevosita datchiklarga va ijrochi mexanizmlarga koʻchirish imkoniyatini ifodalaydi.

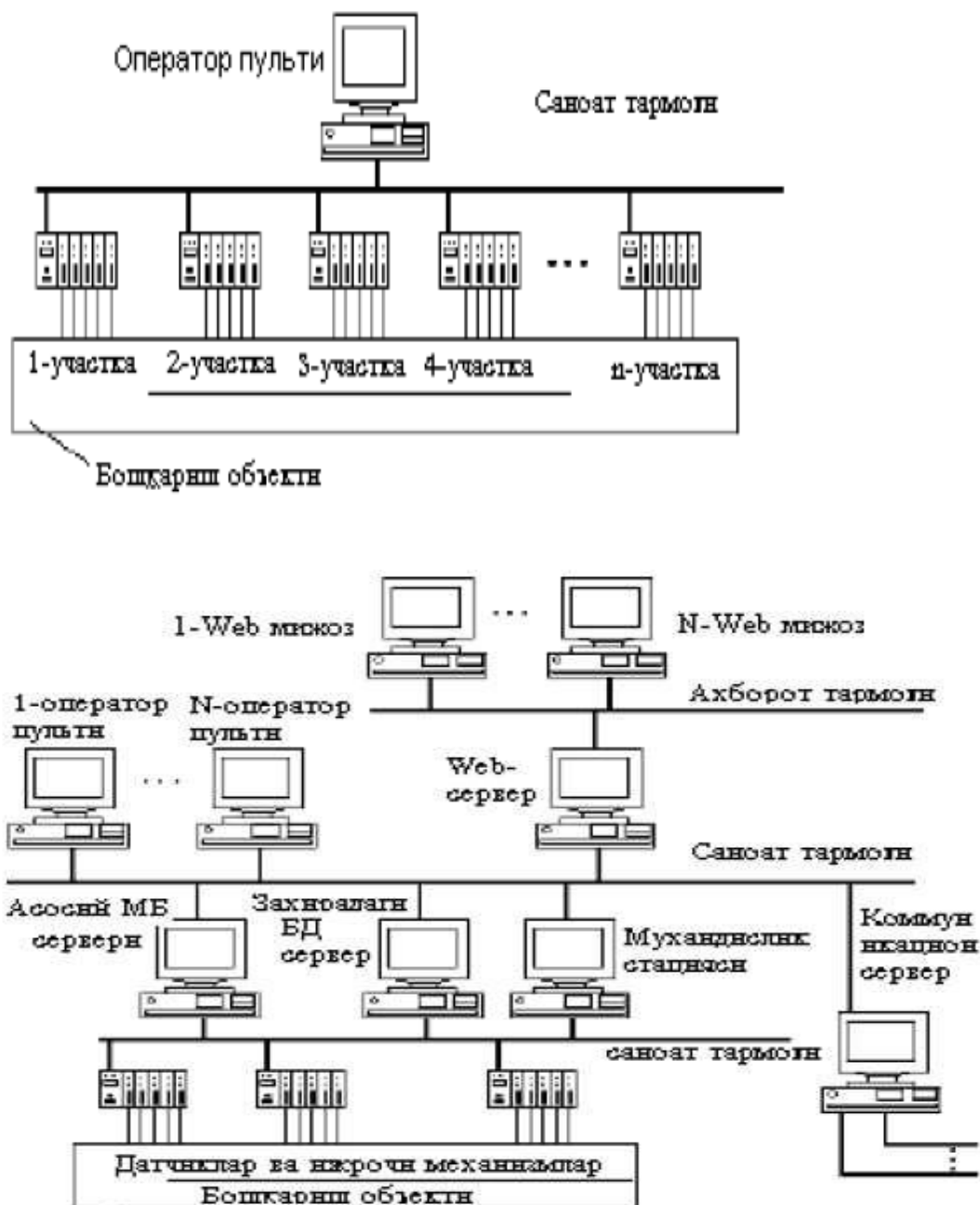
Tizimning hamma funksional imkoniyatlari ikkita sathga aniq boʻlingan. Birinchi sathni kontrollerlar, ikkinchisini-operator pulʼti tashkil etib, u ishchi stansiya yoki sanoat kompyuteri bilan ifodalanishi mumkin.

Bunday tizimda kontrollerlar sathi boshqarish obʼektida oʻrnatilgan datchiklardan kelayotgan signallarni yigʻish (toʻplash) ishini bajaradi, sinallarga dastlabki ishlov berish (filtrlash va masshtablash), boshqarish algoritmlarini amalga oshirish va boshqaruvchi signallarni boshqarish obʼektining ijrochi mexanizmlariga shakllantirish, sanoat tarmogʻidan axborot qabul qilish va uzatish ishlarini bajaradi.

Operator pulʼti quyi sath kontrollerlariga tarmoq soʻrovlarini shakllantiradi, ulardan texnologik jarayonning kechishi toʻgʻrisidagi tezkor axborotni oladi, monitor ekranida texnologik jarayonning kechishini operatorga qulay boʻlgan koʻrinishda aks ettiradi, jarayonning ketishi toʻgʻrisidagi dinamik axborotni (arxivni yuritish) uzoq vaqt saqlashni amalga oshiradi, boshqarish algoritmlarining zaruriy parametrlarining va quyi sath kontrollerlarida regulyatorlar ustavkalarining

korreksiyasini amalga oshiradi.

Boshqarish ob'ektining axborot quvvatining (kiruvchi-chiquvchi o'zgaruvchilar miqdorining) ortishi, boshqarishning yuqori sathida hal etiladigan masalalar doirasining kengayishi, puxtalik ko'rsatkichlarining ortishi dasturiy-texnik majmualarning yanada murakkab tuzilmalarining paydo bo'lishiga olib keladi (1-rasm).



1.2-rasm.DTMTuzilishi

Mikrosoft firmasining Windows oilasidagi operatsion tizimlar(OT) ofis

kompyuterlari bozorini deyarli to'liq egallab oldi va sanoat avtomatlashtirish darajasini faol o'zlashtirmokda. Ko'pchilik serverlar va ishchi stansiyalar Windows NT/2000/XPOT boshqaruvi ostida ishlamokda.

Mikrosoftning ayrim texnologiyalari hozirga keliboq sanoat standarti bo'lib qoldi. «Mijoz-server» arxitekturasidan foydalanish butun tizimning samaradorligini va ishlash tezligini oshirishga, serverlarni ishchi stansiyalarni zaxiralash hisobiga, hal qilinayotgan masalalarni hududiy taqsimlash bilan tizimning puxtaligini va yashovchanligini oshirishga imkon beradi.

Serverlar, odatda, sanoat kompyuterlari negizida bajariladi va zaxiralanuvchi hisoblanadi. Turli xil DTM larda serverlarning nomi farqlanadi: real vaqt ma'lumotlari bazasi serveri, kiritish-ish serveri va boshq. Asosiy vazifalari: ob'ekt va kontroller bilan aloqa qurilmalaridan kelayotgan tezkor ma'lumotlarni to'plash, ishlov berish;

kontrollerlarga boshqarishning yuqori sathidan boshqarish buyruqlarni uzatish; berilgan o'zgaruvchilar to'g'risidagi axborotni saqlash va aks ettirish; talab qilinayotgan axborotni mijoz ishchi stansiyalariga taqdim etish; trendlar, bosma xujjatlari va voqealar bayonnomalarini arxivlashtirish.

Zamonaviy DTMLar, odatda, ofis ijrosidagi shaxsiy kompyuterlar negizida ishlangan injenerining stansiyalarini o'z ichiga oladi. Ular yordamida kontrollerga injenerlik xizmat ko'rsatish amalga oshiriladi: dasturlash, sozlash, moslash. Ayrim DTMLarda injenerining stansiyalari, shuningdek, ishchi stansiyalariga injenerlik xizmatlarini amalga oshirish imkonini beradi. Zamonaviy DTMLarning yana bir tomoni Internet- texnologiyalarining sanoat avtomatlashtirish darajasiga faol singib borish bilan bog'liq. Bugun ham xorijiy, ham mamlakatimizdagi texnologik jarayonlarni boshqarish tizimlari uchun instrumental dasturiy ta'minotni barcha etakchi ishlab chiquvchilari o'z maxsulotlariga mazkur texnologiyalarni o'rnatmoqdalar.

Internet-texnologiyalarning TJABTda eng keng qo'lanilishiga Web-serverlarda TJning kechishi to'g'risidagi axborotning va boshqa har qanday hisobotlarning bosimini misol bo'ladi. Web-serverlar ma'lumotlar ba'zasi (MB)

serverlar bilan o‘zaro aloqa qilish imkoniga ega bo‘lib, u jarayon to‘g‘risida zarur axborotni o‘zida saqlaydi. (Internet-sharhlovchi) orqali ma’lumotlar bazasiga zarur so‘rovlar berishga imkon beradi. Bunday yondashuv yana xarajatlarni kamaytiradi, chunki mijoz tomonida odatdagi dastur-brouzerlar (Internet explorer, Netspae Naigator va boshqalar.)dan tashqari birorta qo‘shimcha dasturiy ta’minotni o‘rnatishni jalb etmaydi.

3.4.Ishlab ish jarayonlarini nazorat qilish va vizuallashtirish tizimlari.

Zamonaviy TJABT (texnologik jarayonlarni avtomatlashtirilgan boshqarish tizimi) ko‘p sathli inson-mashinali boshqarish tizimidan iboratdir. Murakkab texnologik jarayonlarni ABT ning yaratilish ma’lumotlarni to‘plashning avtomatik axborot tizimlaridan va xisoblash majmualaridan foydalangan holda amalga oshiriladi, ular texnik vositalar va dasturiy ta’minot evolyusiyasi darajasiga ko‘ra doimo takomillashtirib boriladi.

TJABT rivojlanishining vaqt bo‘yicha uzluksiz bo‘lgan manzarasini sifat jihatidan yangi ilmiy g‘oyalar va texnik vositalarning paydo bo‘lishi bilan shart qilingan uchta bosqichga bo‘lish mumkin. Tarix davomida zamonaviy boshqarish tizimining mazmunini tashkil etuvchi ob’ektlar va boshqarish uslublari, avtomatlashtirish vositalari va boshqa komponentlarning tavsifi o‘zgaradi.

Bu bosqichda boshqarish vositalari sifatida ayrim parametrlar, qurilmalar, agregatlar hisoblanadi; stabillashtirish, dasturiy boshqarish, kuzatish masalalarini echish odamdan ART ga o‘tadi. Insonda topshiriqni hisoblab chiqish vazifalari va regulyatorlarni sozlash parametrlari paydo bo‘ladi.

Nazorat savollari

1. Avtomatlashtirishga ta’rif bering.
2. Avtomatlashtirishning maqsadi nimalardan iborat?
- 3.ARSning ta’rifi.
- 4.Avtomatik nazorat, roslash va boshkarish tushunchalari.
5. Avtomatlashtirish kandy boskichlardan iborat?
6. Rostlanuvchi, boshkaruvchi va g‘alayonli o‘zgaruvchilarga ta’rif bering.

7. Texnologik jarayon parametrlari tushunchasiga ta'rif bering.
8. Avtomatik rostlagich nima?
9. Xozirgi qiymat, berilgan qiymat va xatolik tushunchalari nima?

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Wolfgang Altmann, Practical Process Control for Engineers and Technicians: Jordan Hill, Oxford 2005, 304 p.
2. Ad Damen Modern Control Theory Prentice Hall 2002 460 s.
3. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish: Darslik. –Toshkent: O'qituvchi, 2011.-576 b.
4. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov SH.M. Texnologik jarayonlarni boshqarish sistemalari: Darslik. – Toshkent: O'qituvchi, 2015- 704 b.
5. Иванова Г.В. Автоматизация технологических процессов основных химических производств. Методические материалы по курс лекций.-С.Пб.: Петербургский ГТУ, 2008.- 238с.
6. Шувалов В.В. Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: Учебное пособие.- М.: Химия, 2011.-480с.
7. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные системы в химической промышленности: Учебник.- М.: Химия, 2016.- 320с.

7-Mavzu: Kimyoviy-texnologik jarayonlarni kopyuterli model-lashtirish prinsiplari. Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash

Reja:

2.1. Oqimlar strukturasi va tadqiqot usullari

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

2.3. Ideal aralashtirish va ideal siqib chiqarish modellari

2.4. Diffuziyali model

2.5. Yacheykali model

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 modeli 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.

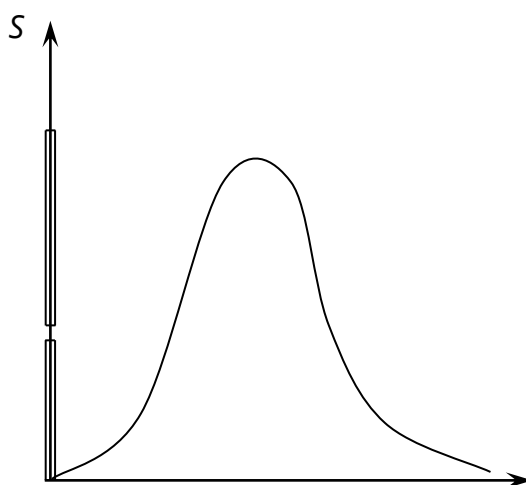
Keyinroq real apparatlarda oqimlar strukturasi tadqiqlashning tajriba usullari, oqimlar strukturasi eng ko‘p tarqalgan matematik modellari va modellar parametrlarini aniqlash usullari ko‘rib chiqiladi.

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 eritmaları, 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 eritmaları 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 funksiya 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.

Apparat 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 θ 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:

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

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

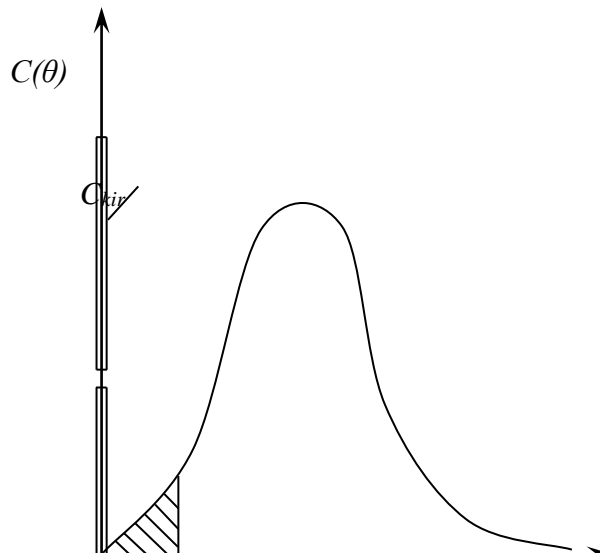
$$C(\theta) = \frac{v C_E(t) dt}{g d\theta} = v \frac{C^E(t) \bar{t}}{g} = \frac{C_E(t)}{\int_0^{\infty} C_E(t) dt}, \quad (2.9)$$

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

me'yorlangan S -egri chiziqni beradi.

(θ) koordinatalarda tajriba egri chizig'ini quramiz (2.2-rasm.). Bunday egri chiziq S -egri chizig'i deb ataladi. Uni ostidagi shtrixlangan maydon quyidagiga teng va 0 dan θ gacha o'zgarish vaqtida apparatdagi oqim ulushini belgilaydi. Tabiiyki

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



2.2-rasm. Tipik S -egri chiziqli.

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

| | | | | | | | |
|----------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|
| $C(t)$ мин ⁻¹ min, | 0 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,01 |
|----------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|

$C(\theta)$ funksiyani olish uchun, vaqtni θ 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

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

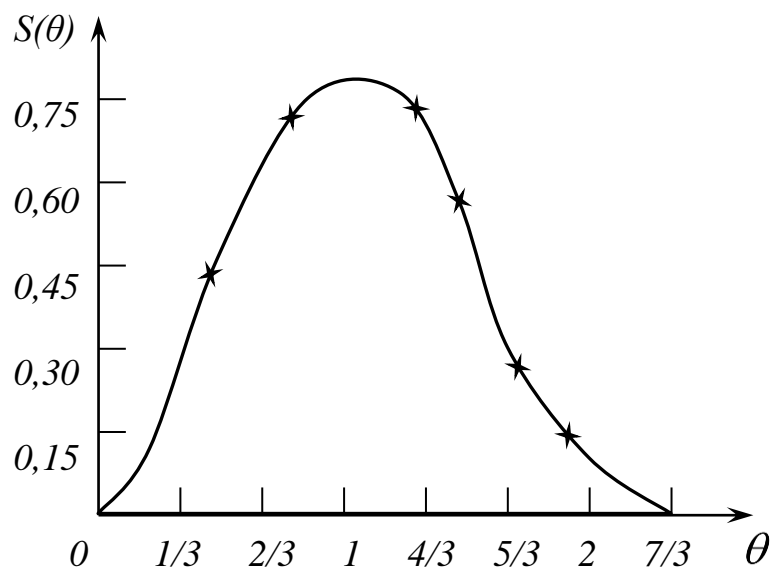
va t_i , C_i^E qiymatlarni qo'ygandan keyin, $S(\theta)$ muvofiq qiymatlarini olamiz (2.3-jad.).

2.3-jadval

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

| | | | | | | | | |
|-------------|---|------|------|------|------|------|------|-----|
| θ | 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 |

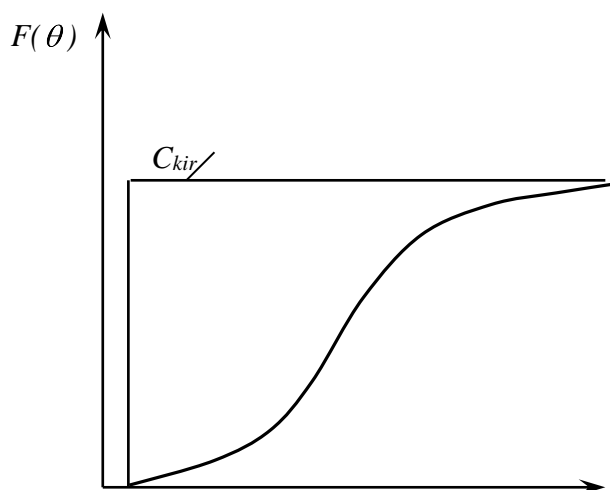
Bu ma'lumotlar bo'yicha taqsimlanishning S -egri chizig'ini quramiz (2.3-rasm).



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'lhamsiz 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 θ 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 θ 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

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

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:

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

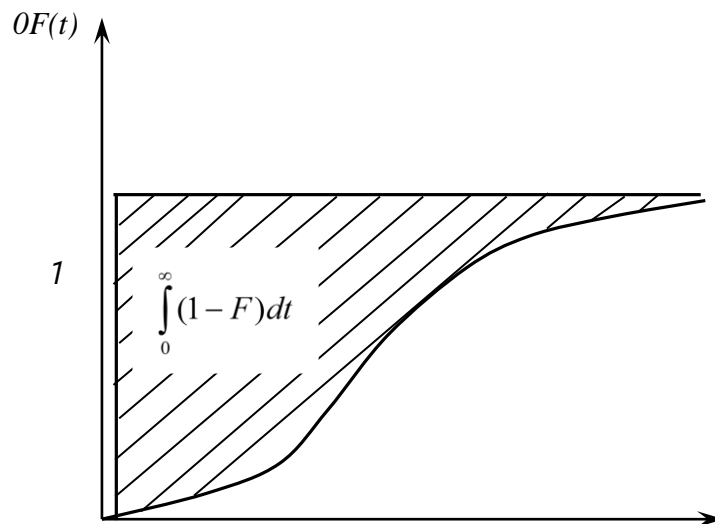
Quyidagi funksiyani kiritib

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

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:

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

$$z = 0 \text{ da } C = C_k \quad (2.25)$$

(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:

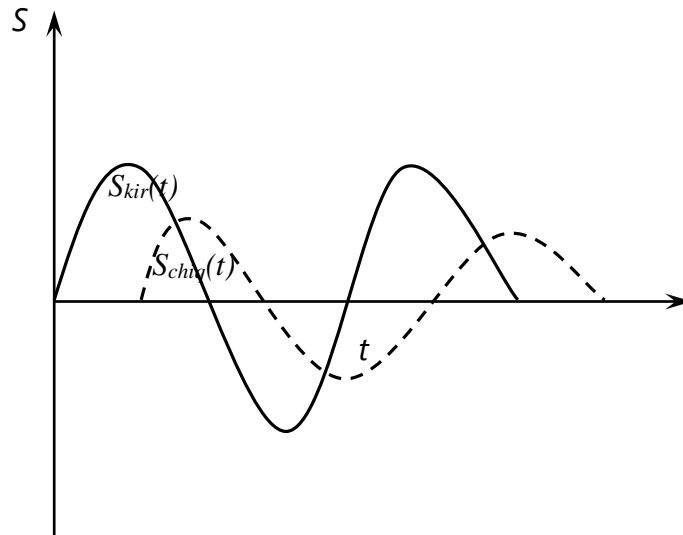
$$C_k = A_2 e^{Pe}; \quad A_2 = C_k e^{-Pe} \quad (2.29)$$

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 R_e ning qiymatlari bir-biriga mos keladi.

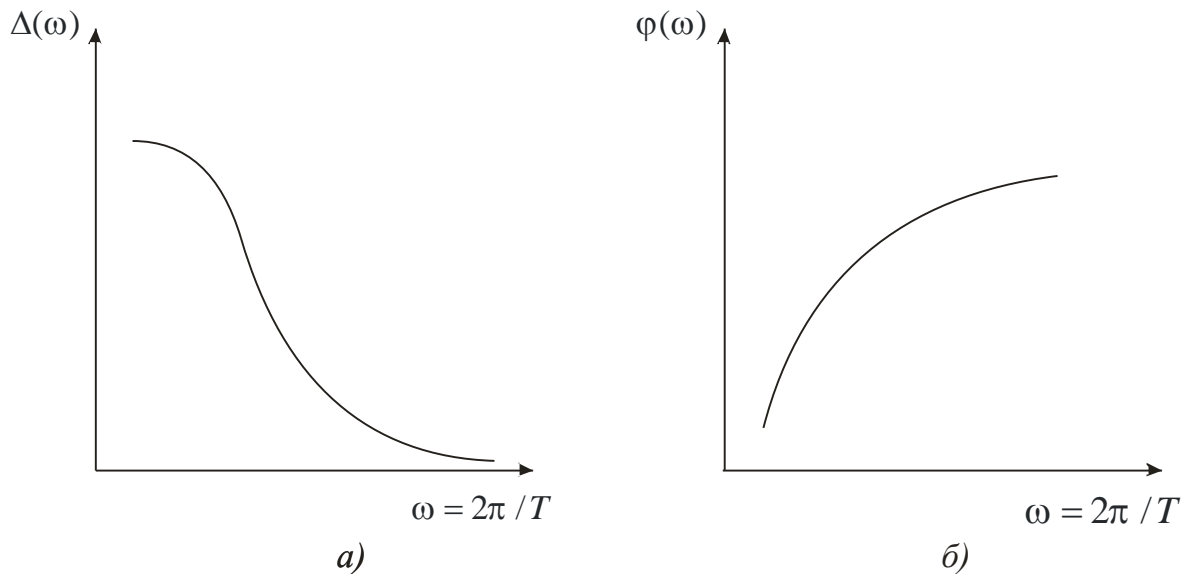
Sinusoidal g‘alayonlash usuli. Kiruvchi oqimga sinusoidal g‘alayon ta’sir ettirilsa, chiqishda o‘zida sinusoidani ifodalaydigan, lekin boshqa amplitudaga ega va faza bo‘yicha siljigan javob funksiyasi olinadi. Kirishdagi sinusoidal g‘alayon A_0 amplituda va chastota $\omega = 2\pi / T$ (rad/s) bilan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



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

Bir obyekt uchun φ 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_l [(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 nolinch, 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. Nolinch 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 σ_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 S – egri chiziqning qiymatlari quyidagicha aniqlanadi:

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

Me'yorlangan S – egri chiziqning β 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 θ ni kiritib, $C(\theta) = C(t)t$ va $\theta = t/\bar{t}$ 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 β tartibli boshlang'ich momenti M_3^{θ} bo'yicha olinadi. Bundan β tartibli o'lchamli va o'lchamsiz boshlang'ich momentlar orasidagi quyidagi bog'lanish olinadi:

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

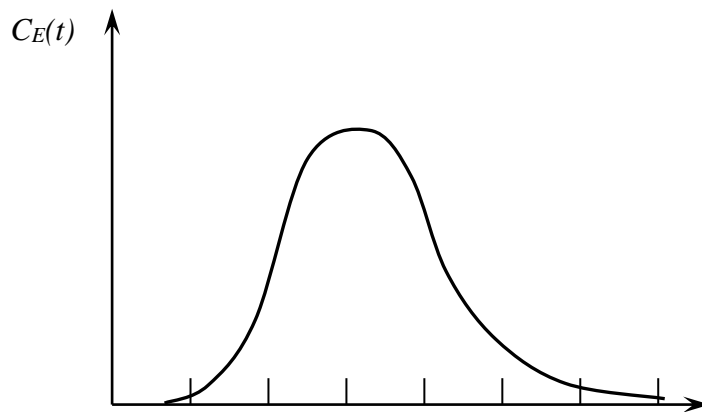
Shunga o'xshash holda me'yorlangan S – egri chiziqning β tartibli markaziy momenti μ_{β}^t ning ifodasiga $C(t) = C(\theta)/t$ va $t = t(\theta)$ larni qo'yib, o'lchamli va o'lchamsiz markaziy momentlar orasida bog'lanishni olamiz:

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

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 nolinch 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 \bar{t} ni aniqlaydi. Me‘yorlangan C – egri chiziqning ta‘rifini hisobga olib, qo‘yidagiga ega bo‘lamiz:

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

Umumiy holda me‘yorlangan C – egri chiziqning s – tartibli boshlang‘ich momenti M_s^t quyidagi formula bilan ifodalanadi:

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

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

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

$$\mu_1^t = \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^1 C(t) dt = 0, \tag{2.53}$$

Ikkinchi tartibli markaziy moment μ_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 μ_2^t ikkinchi boshlang'ich moment M_2^t va o'rtacha bo'lish vaqti t larning qiymatlari orqali ifodalanishi mumkin:

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

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

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

Tajribaviy F – egri chiziqdarga 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:

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

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

$$M_s^t = s \int_0^{\infty} t^{s-1} (1 - F) dt = \int_0^{\infty} (1 - F) dt^2 \approx \sum_{j=1}^{n-1} \frac{2 - F_{j+1} - F_j}{2} (t_{j+1}^s - t_j^s). \quad (2.59)$$

Markaziy momentlar quyidagi tarzda aniqlanadi:

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

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

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

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

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:

$$\begin{aligned} \frac{dW(p)}{dp} \Big|_{p=0} &= \left[\int_0^{\infty} e^{-pt} C(t) dt \right]' \Big|_{p=0} = \\ &= \int_0^{\infty} \frac{d}{dp} [e^{-pt} C(t) dt] \Big|_{p=0} = \int_0^{\infty} -t C(t) dt = -M_1. \end{aligned} \quad (2.71)$$

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:

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

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.

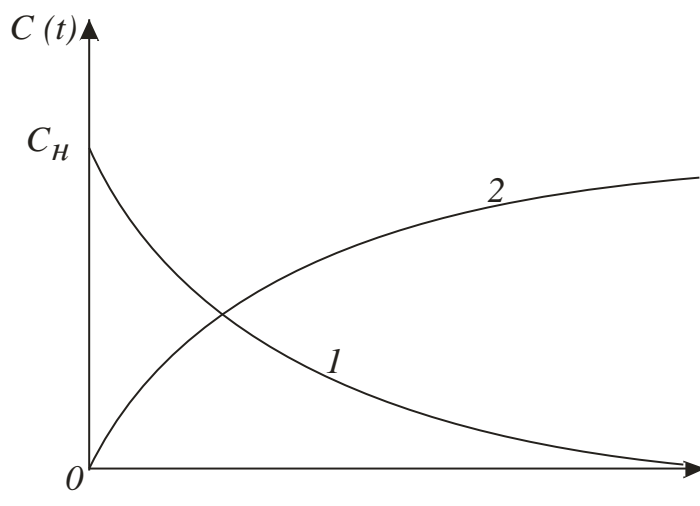
Ideal aralashtirish modeli apparatga kirayotgan modda uning butun hajmi bo'yicha bir onda taqsimlanadigan apparatga muvofiq keladi. Apparatning istalgan nuqtasida moddaning konsentratsiyasi uning chiqishdagi konsentratsiyasiga teng. Ideal aralashtirish modelining tenglamasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

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

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

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

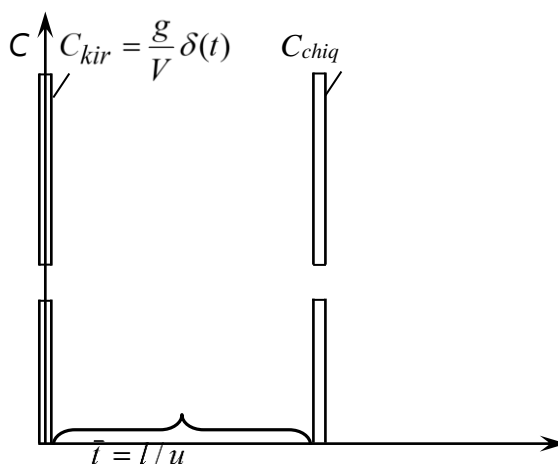
$$\text{va chegaraviy } x = 0, \quad t > 0 \text{ da } C(t, 0) = C_{kir}(x) \quad (2.82)$$

shartlarni qanoatlantiradigan (2.80) tenglamaning yechimi quyidagicha:

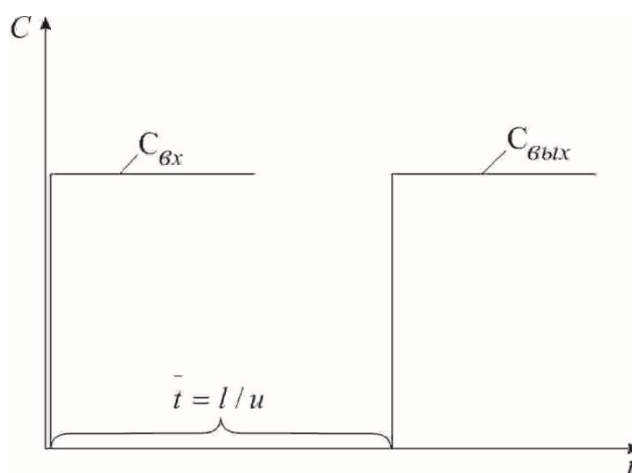
$$C(t, l) = \begin{cases} C_n(l - tu), & t < \frac{l}{u}, \\ C_{kir}(t - \frac{l}{u}), & t \geq \frac{l}{u}. \end{cases} \quad (2.83)$$

(2.83) tenglamaning yechimidan kelib chiqadiki, ideal siqib chiqarish apparati kirishidagi konsentratsiyaning ixtiyoriy o'zgarishi uning chiqishida o'rtacha bo'lish vaqti $\bar{t} = l / i$ (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.



2.11-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.

2.4. Diffuziyali model

Bir parametrlil diffuziyali modelning asosiy tenglamasi.

Diffuziyali model asosida oqimning strukturasi, molekular diffuziya tenglamasiga o‘xshash tenglama bilan tavsiflanadi degan taxmin yotadi. Model parametri – bo‘ylama aralashtirish koeffitsiyenti bo‘lib, u yana turbulent diffuziya koeffitsiyenti deb ham ataladi (yoki teskari aralashtirish koeffitsiyenti).

Model tenglamasini chiqarish uchun apparatning Δx elementi uchun material balans tenglamasini tuzamiz (2.12-rasmida ko‘rsatilganidek). Quyidagi

belgilanishlar qabul qilinadi: F – apparatning kesimi, m^2 ; i - oqimning tezligi, m/s; t — vaqt, sek; S —indikatorning konsentratsiyasi, kg/m^3 ; D_l — bo‘ylama aralashtirish koeffitsiyenti m^2/s .

Ko‘rilayotgan elementga konvektiv oqim uFC va turbulent diffuziyasi hosil qiladigan oqim $D_l F \frac{d}{dx} (C + \frac{dC}{dx} \Delta x)$ kelib tushadi, ko‘rilayotgan elementni esa konvektiv oqim $uF (C + \frac{dC}{dx} \Delta x)$ va turbulent diffuziya hosil qiladigan oqim $D_l F \frac{dC}{dx}$ lar tark etadi.

Moddaning saqlash qonuniga muvofiq kirish va chiqish oqimlari orasidagi ayirma ko‘rilayotgan elementda modda (indikatorni) to‘plashini tashkil qilishi kerak. U $F \Delta x \frac{dC}{dt}$ ga teng. Endi moddaning saqlashni tenglamasini yozamiz:

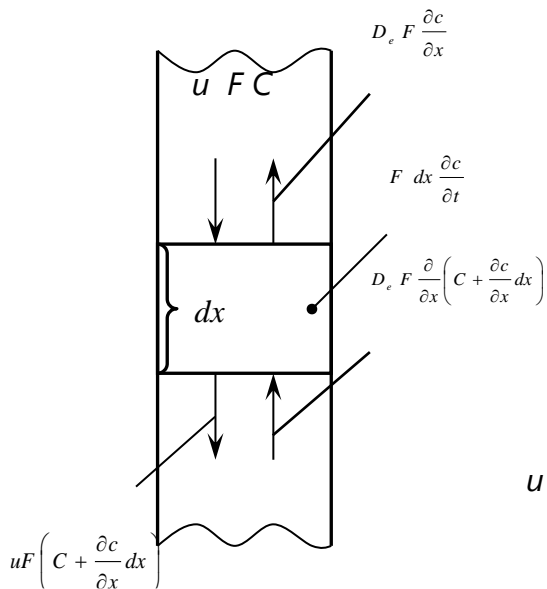
$$\text{To'plash} = \text{Moddaning kelishi} - \text{Moddaning sarflanishi} \quad (2.85)$$

Yoki

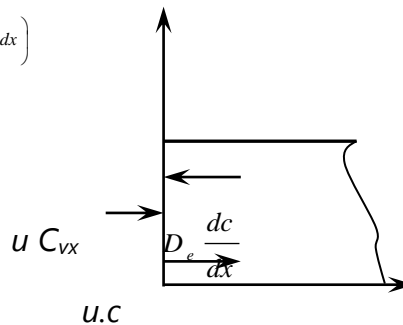
$$F dx \frac{dC}{dt} = uFC + D_l F \frac{d}{dx} (C + \frac{dC}{dx} \Delta x) - uF (C + \frac{dC}{dx} \Delta x) - D_l F \frac{dC}{dx} \quad (2.86)$$

Oxirgi tenglamani o‘zgartirgan holda $\Delta x \rightarrow 0$ limitga o‘tib, quyidagini olamiz:

$$\frac{dC}{dt} = D_l \frac{d^2 C}{dx^2} - u \frac{dC}{dx} \quad (2.87)$$



2.12-rasm. Diffuzion modeli tenglamasini chiqarishga oid.

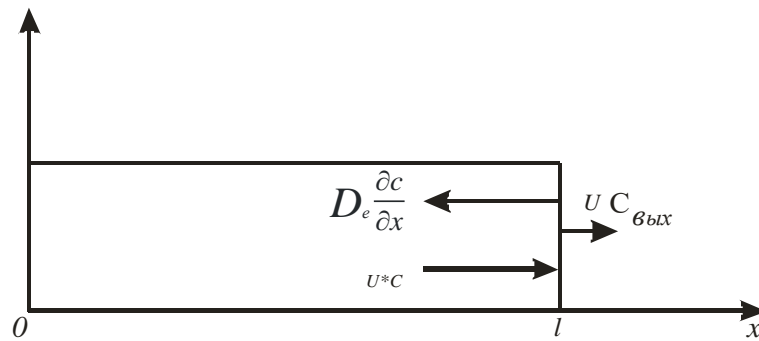


2.13-rasm. Apparatning chap chegarasidagi oqimlar sxemasi.

(2.87) tenglama diffuziyali modelning asosiy tenglamasidir. (2.87) tenglama uchun boshlang'ich va chegaraviy shartlariga to'xtalib o'tamiz. Ko'rinib turibdiki, bitta boshlang'ich va ikkita chegaraviy shartlar berilishi kerak. Boshlang'ich shart sifatida odatda vaqtning boshlang'ich momentida apparat bo'yicha konsentratsiyalar profili beriladi:

$$t = 0 \text{ da } S(0, x) = C_b(x). \quad (2.88)$$

Chegaraviy shartlar apparatning chegaralaridagi material balans shartlaridan (Dankverts bo'yicha shartlar) kelib chiqib berilishi mumkin. Apparatning oqim qandaydir o'rtacha tezlik bilan keladigan chap chegarasini ko'rib chiqamiz (2.13-rasm).



2.14-rasm. Apparatning o'ng chegarasidagi oqimlar sxemasi.

$x = 0$ chegaraga yaqinlashayotgan modda oqimlarining yig'indisi chegaradan chiqayotgan moddaning oqimiga teng bo'lishi kerak. Unda quyidagini olamiz:

$$uC_{kir} + D_l \frac{dC}{dx} = uC \quad (2.89)$$

yoki

$$u(C_{kir} - C) + D_l \frac{dC}{dx} = 0. \quad (2.90)$$

Apparatning o'ng chegarasi uchun (2.14-rasm) quyidagi ifodaga egamiz:

$$uC = uC_{chiq} + D_l \frac{dC}{dx}. \quad (2.91)$$

Amalda ko'pincha $S \approx S_{chiq}$ deb qabul qilinadi. Buni hisobga olib (2.91) chegaraviy shart quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{dC}{dx} = 0. \quad (2.92)$$

(2.90), (2.92) shartlar *Dankverts bo'yicha chegaraviy shartlar* deb ataladi.

Ko'rilgan bir parametrlil diffuziyali model bilan bir qatorda gohida ikki parametrlil diffuziyali model ham ishlatiladi. Uning farqi shundaki, oqimning aralashtirilishi nafaqat bo'ylama, balki radial yo'nalishida hisobga olinadi. Shunday qilib, ikki parametrlil diffuziyali model ikki parametrlil bilan tavsiflanadi: bo'ylama D_l va radial D_r . aralashtirish koeffitsiyentlari. Bo'ylama va radial aralashtirish koeffitsiyentlari apparatning uzunligi va kesimi bo'yicha o'zgarmaydi deb qabul qilinadi. Silindrik shaklli apparatda oqimning harakati bir o'lchamli va o'rtacha tezligi u uzunlik va kesim bo'yicha o'zgaras bo'lganda diffuziyali modelning ikki parametrlil tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{dC}{dt} + u \frac{dC}{dx} = D_l \frac{d^2 C}{dx^2} + \frac{D_r}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dC}{dr} \right). \quad (2.93)$$

Agar boshlang'ich va chegaraviy shartlar quyidagi ko'rinishda berilgan bo'lsa

$$S(0, x, r) = 0 \quad t = 0 \text{ da}, \quad (2.94)$$

$$r = 0, \quad C(t, 0, 0) = C_0 \delta(0) \quad x = 0 \text{ da}, \quad (2.95)$$

$$r = R \text{ da } \frac{dC(t, x, R)}{dr} = 0 \quad (2.96)$$

$$x = 0 \text{ da } uC(t, 0, r) - D_l \frac{dC(t, 0, r)}{dx} = 0 \quad (2.97)$$

$$x = l \text{ da } \frac{dC(t, l, r)}{dx} = 0 \quad (2.98)$$

unda ikki parametrlil diffuziyali model tenglamasining yechimi quyidagicha bo'ladi:

$$C(z, p, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{C_0 \left(k_0 - \frac{1}{2D_z} \right)}{2k_0} e^{-\lambda_n^2 \theta} j_0(x_n p) * \quad (2.99)$$

$$* \left[e^{\left(\frac{1}{2D_z} - k_0 \right) z} + \frac{k_0 + D_z / 2}{k_0 - D_z / 2} e^{\left(\frac{1}{2D_z} - k_0 \right) z} \right].$$

Bu yerda $z = x/l$; $p = r/R$; $\theta = t/\bar{t}$; $t = l/u$; $D_z = D_l \bar{t}/l$; J_0 birinchi turdagi nolinchil tartibli Bessel funksiyasi; X_n – birinchi turdagi birinchi tartibli

Bessel funksiyasining ildizi; k_0 ildiz $e^k = \frac{1/2D_z + k}{1/2D_z - k}$ tenglamani qanoatlantiradi ;

R – apparatning radiusi.

Ikki parametrlı diffuziyali model uzunligining diametrga nisbati katta bo‘lmagan va oqimlar tezligining ko‘ndalang notekisligi katta bo‘lgan kolonna tipidagi apparatlarda qo‘llaniladi. Yechilishining murakkabligi tufayli bunday model bir parametrlıga nisbatan ancha kam ishlatiladi, shuning uchun keyinchalik faqat bir parametrlı diffuziyali modellarni ko‘rib chiqamiz.

Diffuziyali modelning o‘lchamsiz yozilish shakli. Quyidagi o‘lchamsiz o‘zgaruvchilarni kiritamiz:

$$z = x / l, \quad (2.100)$$

$$\theta = t / \bar{t} \quad (2.101)$$

va (2.87) tenglamani quyidagi ko‘rinishda ifodalaymiz:

$$\frac{\bar{t}}{t} \frac{dC}{dt} + \frac{u}{l} \frac{dC}{dx} = \frac{D_l}{l^2} \frac{d^2C}{dx^2}. \quad (2.102)$$

Kiritilgan o‘zgaruvchilarni hisobga olib, quyidagini olamiz:

$$\frac{1}{\bar{t}} \frac{dC}{d\theta} + \frac{u}{l} \frac{dC}{dz} = \frac{D_l}{l^2} \frac{d^2C}{dz^2} \quad (2.103)$$

yoki

$$\frac{ul}{D_l} \frac{dC}{d\theta} + \frac{ul}{D_l} \frac{dC}{dz} = \frac{d^2C}{dz^2}. \quad (2.104)$$

(2.104) tenglamaning chap qismidagi ko‘paytuvchi $(ul) / D_l$ Pekle (Re) o‘lchamsiz sonni ifoda etadi. Unda oxirgi tenglamani quyidagi ko‘rinishda yozishimiz mumkin:

$$Pe \frac{dC}{d\theta} + Pe \frac{dC}{dz} = \frac{d^2C}{dz^2}. \quad (2.105)$$

(2.91), (2.92) chegaraviy shartlarni o‘lchamsiz shaklga keltiramiz va quyidagilarni olamiz:

$$z = 0 \text{ da } (C_{kir} - C) + \frac{1}{Pe} \frac{dC}{dz} = 0 \quad (2.106)$$

$$z = 1 \text{ da } \frac{dC}{dz} = 0 \quad (2.107)$$

Impulsli va pog'onali g'alayonlarga diffuziyali modelning javob funksiyasi. Avval impulsli g'alayonga diffuziyali modelning javob funksiyasini ko'rib chiqamiz.

Foydalanilayotgan chegara shartlaridan kelib chiqib, cheksiz, yarim cheksiz apparatlar va cheklangan uzunlikdagi apparatlar uchun yechimlar olingan.

Oxirgi holatda yechim cheksiz sekin yaqinlashayotgan qator ko'rinishida ifodalanadi:

$$C(\theta) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2\lambda_i^2 \exp\left(\frac{Pe}{2} - \frac{Pe}{4}\theta - \lambda_i^2 \frac{4\theta}{Pe}\right)}{\left(1 + \frac{Pe}{2}\right)\lambda_i \sin 2\lambda_i - \left[\frac{Pe}{4} + \left(\frac{Pe}{4}\right)^2 - \lambda_i^2\right] \cos 2\lambda_i}, \quad (2.108)$$

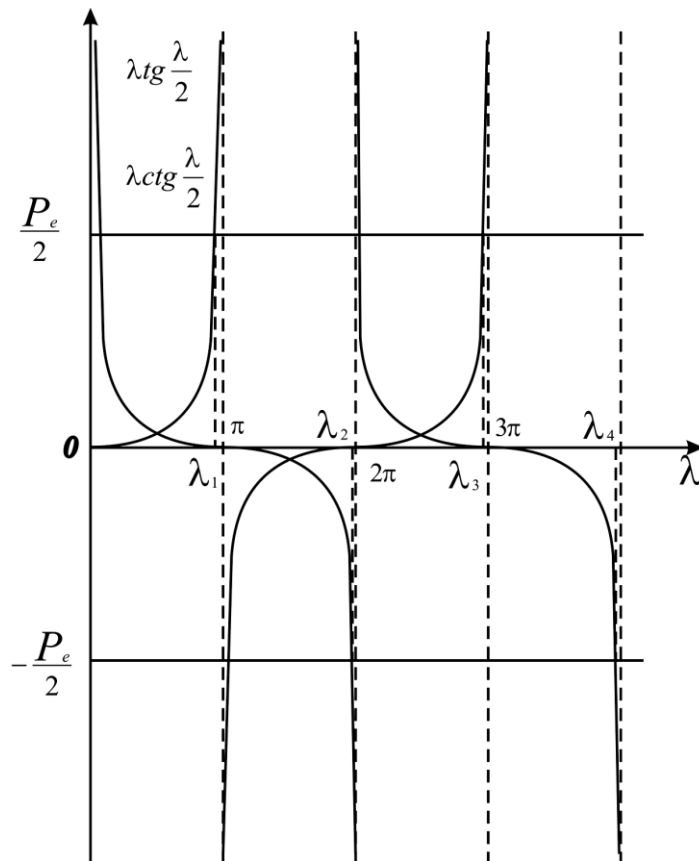
bunda, λ – transendent tenglamalarning ildizlari

$$\frac{\lambda_i}{2} \operatorname{tg} \frac{\lambda_i}{2} = \frac{Pe}{4} \quad (i = 1, 3, 5, \dots); \quad (2.109)$$

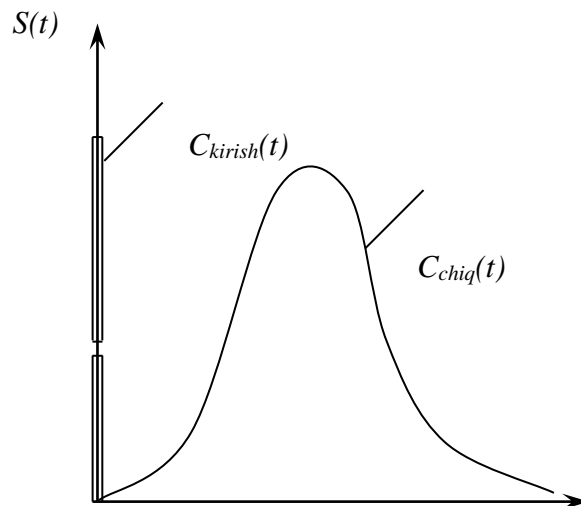
$$\frac{\lambda_i}{2} \operatorname{ctg} \frac{\lambda_i}{2} = -\frac{Pe}{4} \quad (i = 2, 4, 6, \dots). \quad (2.110)$$

(2.15-rasmda bu tenglamalar grafiklari ko'rsatilgan).

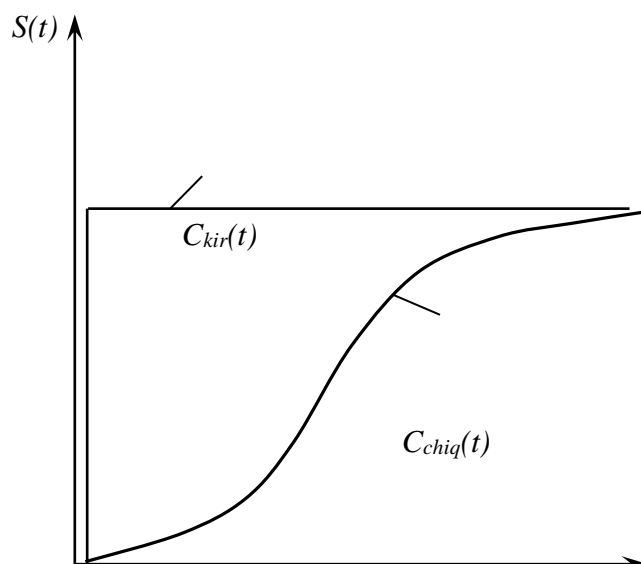
$\nu > 0,01$ va $Pe < 10$ sohada (2.108) ni yechimi qoniqarli natijalarni beradi. Ko'rsatilgan limitlardan tashqarida approksimatsiyalangan yechimdan foydalanish kerak (2.16 va 2.17 rasmlar).



2.15-rasm. (2.109), (2.110) transendent tenglamalar ildizlarining grafik talqini.



2.16rasm. Diffuziyali model uchun impulsli g'alayonga javob.



2.17-rasm. Diffuziyali model uchun pog‘onali g‘alayonga javob.

Endi pog‘onali g‘alayonga javob funksiyasini ko‘rib chiqamiz. Chekli o‘lchamli apparat uchun Dankverts chegaraviy shartlariga muvofiq keluvchi javob funksiyasi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$F(\theta) = 1 - 2Pe \cdot \exp\left(\frac{Pe}{2}\right) \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^{i+1} \lambda_i^2 \left(-\frac{\lambda_i^2 + \frac{Pe^2}{4}}{4} \theta\right)}{\left(\lambda_i^2 + \frac{Pe^2}{4}\right) \left(\lambda_i^2 + \frac{Pe^2}{4} + Pe\right)}. \quad (2.111)$$

Oldingi holdagidek, (2.111) tenglamaning yechimi sekin yaqinlashayotgan qator ko‘rinishga ega. Qoniqarli yechimga $\theta > 0,01$ va $Pe < 10$ sohada erishish mumkin. λ – qiymatlar (2.109), (2.110) tenglamalarning ildizlaridir.

Diffuziyali modelning uzatish funksiyasi. Diffuziyali modelning uzatish funksiyasini olish uchun boshlang‘ich modelga ((2.105), (2.106), (2.107) tenglamalari) Laplas o‘zgartirishini qo‘llaymiz. Bunda, impulsli g‘alayon sodir bo‘lmoqda deb taxmin qilamiz.

Natijada quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$Pep \tilde{C} + Pe \frac{d\tilde{C}}{dz} = \frac{d^2 \tilde{C}}{dz^2} \quad (2.112)$$

yoki

$$\frac{d^2 \tilde{C}}{dz^2} - Pe \frac{d\tilde{C}}{dz} - Pep \tilde{C} = 0. \quad (2.113)$$

Chegaraviy shartlar mos ravishda quyidagi ko‘rinishlarda yoziladi:

$$z = 0 \text{ da } 1 - \tilde{C} + \frac{1}{Pe} \frac{d\tilde{C}}{dz} = 0, \quad (2.114)$$

$$z = 1 \text{ da } \frac{d\tilde{C}}{dz} = 0. \quad (2.115)$$

Vaqt bo'yicha yig'ishtirilgan (2.113) diffuziyali modelning tenglamasi ikkinchi tartibli chiziqli bir jinsli differensial tenglamani ifodalaydi. Uni Laplas bo'yicha o'zgartirilib $\tilde{C}(p)$, izlanayotgan konsentratsiyaga nisbatan yechamiz. Xarakteristik tenglamani yozamiz

$$k^2 - Pek - Pep = 0. \quad (2.116)$$

Xarakteristik tenglamaning ildizlari quyidagicha:

$$k_{1,2} = \frac{Pe}{2} \pm \sqrt{\frac{Pe^2}{4} + Pep}. \quad (2.117)$$

Bundan, quyidagilarni belgilab,

$$\beta = \frac{Pe}{2}, \quad (2.118)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{Pe^2}{4} + Pep}, \quad (2.119)$$

quyidagi ifodalarni olamiz:

$$k_1 = \beta + \alpha, \quad (2.120)$$

$$k_2 = \beta - \alpha, \quad (2.121)$$

Demak, (2.113) tenglamaning umumiy yechimi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\tilde{C} = A_1 e^{k_1 z} + A_2 e^{k_2 z} = A_1 e^{(\beta+\alpha)z} + A_2 e^{(\beta-\alpha)z} \quad (2.122)$$

(2.114),(2.115) chegaraviy shartlardan foydalanib, A_1 va A_2 , konstantalarni baholaymiz. Oldin $\frac{d\tilde{C}}{dz}$ hosilaning qiymatini topamiz:

$$\frac{d\tilde{C}}{dz} = A_1(\beta + \alpha)e^{(\beta+\alpha)z} + A_2(\beta - \alpha)e^{(\beta-\alpha)z}. \quad (2.123)$$

$z = 0$ da birinchi chegaraviy shart bo'yicha quyidagi kelib chiqadi:

$$1 - A_1 - A_2 + \frac{1}{Pe}(A_1(\beta + \alpha) + A_2(\beta - \alpha)) = 0, \quad (2.124)$$

Bundan $a = \frac{\alpha}{\beta}$ deb faraz qilib, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$1 - A_1 - A_2 + A_1 \frac{1}{2}(1 + a) + A_2 \frac{1}{2}(1 - a) = 0. \quad (2.125)$$

Ikkinchi chegaraviy shartga muvofiq $z = 1$ da quyidagi kelib chiqadi:

$$A_1(1 + a)e^{(\beta+\alpha)} + A_2(1 - a)e^{(\beta-\alpha)} = 0. \quad (2.126)$$

(2.126) tenglamadan A_1 konstantani aniqlaymiz:

$$A_1 = \frac{(a - 1)e^{-a}}{(a + 1)e^a} A_2. \quad (2.127)$$

uni (2.125) tenglamaga qo'yib, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$1 + \frac{1}{2} \frac{(a - 1)^2}{(a + 1)} e^{-2a} A_2 - A_2 \frac{1}{2}(a + 1) = 0. \quad (2.128)$$

bu yerda

$$A_2 = \frac{2(a + 1)e^a}{(a + 1)^2 e^a - (a - 1)^2 e^{-a}}. \quad (2.129)$$

(2.129) ni (2.127) ga qo'yib, A_1 ni topamiz:

$$A_1 = \frac{2(a - 1)e^{-a}}{(a + 1)^2 e^a - (a - 1)^2 e^{-a}}. \quad (2.130)$$

Endi (2.113) tenglamaning yechimini quyidagicha yozish mumkin:

$$\tilde{C}(p) = \frac{4ae\beta}{(a + 1)^2 e^a - (a - 1)^2 e^{-a}}. \quad (2.131)$$

Impulsi g'alayon uchun uzatish funksiyasi $W(p)$ ning ifodasi $S(r)$ yechim bilan mos keladi. Unda diffuziyali modelning uzatish funksiyasi uchun quyidagi ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$W(p) = \frac{4ae\beta}{(a+1)^2 e^a - (a-1)^2 e^{-a}}. \quad (2.132)$$

Diffuziyali modelning Re parametr bahosi. Oqim tarkibi bo'yicha tipik g'alayonga tizim javobining tajribaviy funksiyalari bo'yicha Re sonni aniqlash masalasini ko'rib chiqamiz. Aniqlash usullarini ikki guruhga bo'lish mumkin: 1) (2.105) tenglamaning yechimidan foydalanuvchi usullar; 2) javob funksiyasining statistik parametrlari va modelning parametrlari orasida aloqa tenglamalari asosida ifodalanuvchi usullar Pe ni aniqlash uchun birinchi guruh usullari yordamida (2.105) tenglamaning yechimini bilish kerak. Bunda yechimlar mavjud ((2.108)-(2.110) tenglamalarga qarang). Bu echimlar sekin yaqinlashuvchi qator ko'rinishiga ega bo'lganligi sababli, bu yechimlardan amaliy foydalanish qiyin. Keyingi bosqichda analitik yechimdan foydalanib, Pe ning quyidagi mezonni qanoatlantiradigan qiymati tanlanadi:

$$\sum_i (C_i^E - C_i^H)^2 = \min, \quad (2.133)$$

bu yerda C_i^E va C_i^H – mos ravishda tajriba va (2.105) tenglama bo'yicha hisoblangan konsentratsiya qiymatlari.

Ikkinchi guruh usullari eng ko'p tarqalgan, shularni ko'rib chiqishga kirishamiz.

Oqim elementlarining apparatda bo'lish vaqti taqsimlanishini tajribaviy egri chiziqlarining momentli tavsiflari va diffuziyali model parametrlari orasida aloqa tenglamalarini keltirib chiqaramiz.

Faraz qilamizki, bo'ylama aralashtirish bo'lib o'tuvchi yopiq apparatdan oqim oqib o'tadi. Sinovlar impulsi g'alayon usuli bilan olib borilmoqda. Oqimning tezligi (chiziqli) i ga (m/s); apparatning ko'ndalang kesimining yuzasi F (m^2) ga ; apparat uzunligi $l(m)$ ga teng. Apparatning kirishiga impulsi g'alayon berilmoqda, javob esa uning chiqishi(mos ravishda nuqtalar $x = 0$ va $x = 1$) da aniqlanadi. Apparatga kiritiluvchi indikator miqdori g ga teng.

Diffuziyali modelning tenglamasini yozamiz:

$$\frac{d^2 C}{dx^2} - \frac{u}{D_l} \frac{dC}{dx} = \frac{1}{D_l} \frac{dC}{dt}. \quad (2.134)$$

$x = 0$ da chegaraviy shartlarni material balans tenglamasidan shu kesim uchun aniqlaymiz:

$$FuC_{kir} + g\delta(t) + FD_1 \frac{dC}{dt} = FuC. \quad (2.135)$$

Kirayotgan oqimdagi indikator konsentratsiyasi $C_{kir} = 0$ bo'lganligi uchun, (2.135) tenglamaning chap qismidagi birinchi a'zo ham nolga teng, unda

$$uC - D_1 \frac{dC}{dx} = \frac{g}{F} \delta(t). \quad (2.136)$$

$x = 1$ da material balansi tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$uCF = uC_{chiq}F + FD_1 \frac{dC}{dx}. \quad (2.137)$$

$x = 1$ da $C = C_{chiq}$ bo'lganligi uchun:

$$D_1 \frac{dC}{dx} \text{ va } \frac{dC}{dx} = 0 \quad (2.138)$$

Diffuziyali model tenglamasini o'zgartiramiz, buning uchun (2.134) tenglamaning ikkala qismini t ga ko'paytiramiz va 0 dan ∞ gacha bo'lgan oraliqda t bo'yicha integrallaymiz:

$$\int_0^{\infty} t \frac{d^2 C}{dx^2} dt - \frac{u}{D_1} \int_0^{\infty} t \frac{dC}{dx} dt = \frac{1}{D_1} \int_0^{\infty} t \frac{dC}{dx} dt. \quad (2.139)$$

$\int_0^{\infty} t C dt$ ni J deb belgilaymiz. $\int_0^{\infty} t^n C dt$ qiymat n -tartibli boshlang'ich momentdir. Unda (2.139) tenglama quyidagi ko'rinishga o'tadi:

$$\frac{d^2 J}{dx^2} - \frac{u}{D_1} \frac{dJ}{dx} = -\frac{1}{D_1} I \quad (2.140)$$

Haqiqatan ham,

$$\int_0^{\infty} t \frac{d^2 C}{dx^2} dt = \frac{d^2}{dx^2} \int_0^{\infty} t C dt = \frac{d^2 J}{dx^2}. \quad (2.141)$$

$$\frac{u}{D_1} \int_0^{\infty} t \frac{dC}{dx} dt = \frac{u}{D_1} \frac{d}{dx} \int_0^{\infty} t C dt = \frac{u}{D_1} \frac{dJ}{dx}. \quad (2.142)$$

$$\int_0^{\infty} t \frac{dC}{dt} = dt = \int_0^{\infty} t dC = I. \quad (2.143)$$

Bo'laklab integrallab, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\int_0^{\infty} dtC = tC \Big|_0^{\infty} - \int_0^{\infty} Ctd = \int_0^{\infty} Ctd, \quad (2.144)$$

Chunki indikatorning konsentratsiyasi vaqtning oxirgi momentida nolga teng. O'xshash tarzda (2.136) va (2.138) chegaraviy shartlarni o'zgartiramiz. $x = 0$ da quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\int_0^{\infty} tCdt - \frac{D_l}{u} \int_0^{\infty} t \frac{dC}{dx} = \frac{g}{Fu} \int_0^{\infty} t \delta(t) dt. \quad (2.145)$$

Bu yerda $\int_0^{\infty} t \delta(t) dt$ δ -funksiyaning xossasi hisobiga $\int f(t) \delta(t) dt = f(t)$ teng. G'alayon $t \rightarrow 0$ vaqt mobaynida bo'lib o'tganligi uchun, bu nuqtada $f(t) = 0$ bo'ladi. Shuning uchun

$$J - \frac{D_l}{u} \frac{dJ}{dx} = 0. \quad (2.146)$$

$x = l$ da

$$\frac{dJ}{dx} = 0 \quad (2.147)$$

Endi (2.140) tenglamaning yechimini topamiz. Buning uchun uning tartibini pasaytiramiz.

Faraz qilaylik

$$z = \frac{dJ}{dx} \quad (2.148)$$

Unda (2.140) tenglama quyidagi ko'rinishga o'tadi:

$$\frac{dz}{dx} - \frac{u}{D_l} z = -\frac{u}{D_l}. \quad (2.149)$$

(2.149) tenglama bir jinsli emasligi uchun, avval quyidagi bir jinsli mos keluvchi tenglamaning yechimini topamiz:

$$\frac{dz}{dx} - \frac{u}{D_l} z = 0. \quad (2.150)$$

O‘zgaruvchilarni bo‘lish usulini qo‘llab, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\frac{dz}{z} = \frac{u}{D_1} dx. \quad (2.151)$$

yoki

$$\int \frac{dz}{z} = \int \frac{u}{D_1} dx + \ln C_1, \quad (2.152)$$

$$\ln z = \frac{u}{D_1} x + \ln C_1. \quad (2.153)$$

Bundan kelib chiqib

$$z = C_1 e^{\frac{u}{D_1} x}. \quad (2.154)$$

Endi C_1 ni o‘zgaruvchi $C_1(x)$ sifatida qaraymiz. Topilgan bir jinsli tenglama (2.150) ning yechimini boshlang‘ich (2.149) tenglamaga qo‘yib, quyidagini topamiz:

$$C_1(x) e^{\frac{u}{D_1} x} \frac{u}{D_1} + C_1(x) e^{\frac{u}{D_1} x} - \frac{u}{D_1} C_1(x) e^{\frac{u}{D_1} x} = -\frac{I}{D_1}, \quad (2.155)$$

$$[C_1(x)]_x' e^{\frac{u}{D_1} x} = -\frac{I}{D_1}. \quad (2.156)$$

(2.156) tenglamani izlanayotgan funksiya $C_1(x)$ ga nisbatan yechamiz:

$$\frac{dC_1(x)}{dx} = -\frac{I}{D_1} e^{\frac{u}{D_1} x}, \quad (2.157)$$

$$\int dC_1(x) = \int -\frac{I}{D_1} e^{\frac{u}{D_1} x} dx + C, \quad (2.158)$$

$$C_1(x) = \frac{I}{D_1} e^{\frac{u}{D_1} x} + C. \quad (2.159)$$

Endi bir jinsli bo‘lmagan (2.149) tenglamaning umumiy yechimi (2.154) quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$z = \left(\frac{I}{u} e^{-\frac{u}{D_1}x} + C \right) e^{-\frac{u}{D_1}x}. \quad (2.160)$$

Izlanayotgan funksiya J uchun (2.160) yechimini yozamiz.

$$dJ = z dx, \quad (2.161)$$

bo'lganligi sababli

$$\int dJ = \int \left(\frac{I}{u} + C e^{\frac{u}{D_1}x} \right) dx + C_2, \quad (2.162)$$

$$J = \frac{I}{u} x + C \frac{D_1}{u} e^{\frac{u}{D_1}x} + C_2 \quad (2.163)$$

Chegaraviy shartlardan foydalanib (2.163) yechimda S va S_2 konstantalarni aniqlaymiz.

$$x = 0 \text{ da } J - \frac{D_1}{u} \frac{dJ}{dx} = 0 \quad (2.164)$$

ya'ni

$$C \frac{D_1}{u} + C_2 - \frac{D_1}{u} \left(\frac{I}{u} + C \right) = 0, \quad (2.165)$$

bu yerdan

$$C_2 = \frac{D_1 I}{u^2} \quad (2.166)$$

O'xshash tarzda quyidagi shartdan foydalanib, (2.168) dagi ifodani topamiz:

$$x = l \text{ da } \frac{dJ}{dx} = 0 \quad (2.167)$$

$$\frac{I}{u} + C e^{\frac{u}{D_1}l} = 0, \quad (2.168)$$

Bundan quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$C = -\frac{I}{u} e^{\frac{u}{D_1}l} = 0. \quad (2.169)$$

Unda (2.163) yechim quyidagi ko'rinishni oladi:

$$J = \frac{I}{u}x + \left(-\frac{I}{u}\right)e^{-\frac{u}{D_l}l} \frac{D_l I}{u} e^{\frac{u}{D_l}l} + \frac{D_l I}{u^2} = \frac{I}{u}x + \frac{D_l I}{u^2} - \frac{D_l I}{u^2} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)}. \quad (2.170)$$

$x = l$ da

$$J = \frac{I}{u}l + \frac{D_l I}{u^2} - \frac{D_l I}{u^2} e^0 = \frac{I}{u}l. \quad (2.171)$$

Bu yerdan

$$\frac{J}{I} = \frac{\int_0^{\infty} t C dt}{\int_0^{\infty} C dt} = \frac{l}{u} = \bar{t}. \quad (2.172)$$

Agar javobning tajribaviy funksiyasi faqat apparatdan chiqish oqimidan aniqlansa, u holda (2.172) tenglama bo'yicha apparatda oqimning o'rtacha bo'lish vaqtini topish mumkin va bundan tashqari apparatning uzunligi ham ma'lum bo'lsa, undagi oqimning tezligini topish mumkin. Agarda javobning egri chiziqlarini ikki nuqtada, chiqishda va ixtiyoriy x nuqtada aniqlansa, u holda, (2.170), (2.172) tenglamalardan foydalanib, ham i ham D_l ni topish mumkin. Nihoyat, agar javob funksiyasi apparatning bir nechta kesimlarida aniqlansa, u holda (2.170) tenglamani

model monandligini tekshirish uchun qo'llash mumkin. $J = \int_0^{\infty} t C dt$ kattalikni

tajribaviy taqsimlanishi (2.170) tenglamadagi statistik mezonlardan biriga muvofiq bo'lsa, model monanddir. D_l yoki Pe ni apparatdan oqimning chiqishida olingan bitta tajribaviy egri chiziqdan aniqlash mumkin. Javob funksiyadan ikkinchi tartibli moment va modelning parametri orasidagi aloqa tenglamasini topamiz. Buning uchun diffuziyali model tenglamalarining va chegaraviy shartlar $w t^2$ ning barcha a'zolarini ko'paytiramiz va 0 dan ∞ gacha oraliqda t bo'yicha integrallaymiz. U vaqtda diffuziyali model tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{d^2 J_{\sigma}}{dx^2} - \frac{u}{D_l} \frac{dJ_{\sigma}}{dx} = -\frac{2}{D_l} J, \quad (2.173)$$

bu yerda

$$J_{\sigma} = \int_0^{\infty} t^2 C dt. \quad (2.174)$$

(2.173) tenglamaning o'ng qismi quyidagi tarzda olingan:

$$\int_0^{\infty} t^2 \frac{dC}{dt} dt = \int_0^{\infty} t^2 dt = t^2 C \Big|_0^{\infty} - \int_0^{\infty} 2tC dt = -2J. \quad (2.175)$$

l uchun ilgari topilgan ifodani qo‘yib, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\frac{d^2 J_{\sigma}}{dx^2} - \frac{u}{D_l} \frac{dJ_{\sigma}}{dx} = -\frac{2D_l I}{u^2 D_l} - \frac{2D_l I}{D_l u^2} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} + \frac{2I}{D_l u} x. \quad (2.176)$$

O‘xshash tarzda chegaraviy shartlarni yozamiz:

$$x = 0 \text{ da } J_{\sigma} - \frac{D_l}{u} \frac{dJ_{\sigma}}{dx} = 0, \quad (2.177)$$

$$x = 1 \text{ da } \frac{dJ_{\sigma}}{dx} = 0. \quad (2.178)$$

(2.176) tenglamani noma’lum moment J_{σ} nisbatan yechamiz. Bu uchun oldin quyidagi belgini kiritib uning tartibini pasaytiramiz:

$$\frac{dJ_{\sigma}}{dx} = z. \quad (2.179)$$

Unda (2.176) tenglama quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\frac{dz}{dx} - \frac{u}{D_l} z = -\frac{2D_l I}{u^2 D_l} + \frac{2D_l I}{u^2 D_l} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} - \frac{2I}{uD_l} x. \quad (2.180)$$

(2.180) tenglama birinchi tartibli differensial tenglamani ifodalaydi. Oldin bir jinsli tenglamaning yechimini topamiz:

$$\frac{dz}{dx} - \frac{u}{D_l} z = 0. \quad (2.181)$$

O‘zgaruvchilarni ajratish usuli bilan bu tenglamani yechib, quyidagi ifodani olamiz:

$$z = C_1(x) e^{\frac{u}{D_l} x}. \quad (2.182)$$

Endi bir jinsli bo‘lmagan tenglama (2.180) yechimini topamiz. S_1 konstantani x ning funksiyasi sifatida qaraymiz. Keyin (2.182) ning yechimini bir jinsli bo‘lmagan tenglama (2.180) ga qo‘yib, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$[C_1(x)]'_x e^{\frac{u}{D_l}x} + C_1(x) \frac{u}{D_l} e^{\frac{u}{D_l}x} - \frac{u}{D_l} C_1(x) e^{\frac{u}{D_l}x} = \frac{2I}{u^2} + \frac{2I}{u^2} e^{\frac{u}{D_l}x} - \frac{2I}{uD_l} x \quad (2.183)$$

Bu yerdan

$$[C_1(x)]_x = -\frac{2I}{u^2} e^{-\frac{u}{D_l}x} + \frac{2I}{u^2} e^{-\frac{u}{D_l}x} - \frac{2Ix}{uD_l} e^{-\frac{u}{D_l}x}, \quad (2.184)$$

$$C_1(x) = -\frac{2I}{u^2} e^{-\frac{u}{D_l}x} - \frac{2I}{uD_l} \int x e^{-\frac{u}{D_l}x} + \frac{2I}{u^2} e^{-\frac{u}{D_l}x} - x + C, \quad (2.185)$$

$$\begin{aligned} \int x e^{-\frac{u}{D_l}x} dx &= -\frac{u}{D_l} x e^{-\frac{u}{D_l}x} - \int -\frac{u}{D_l} x e^{-\frac{u}{D_l}x} dx = \\ &= -\frac{D_l}{u} x e^{-\frac{u}{D_l}x} + \frac{D_l}{u} \left(-\frac{D_l}{u}\right) e^{-\frac{u}{D_l}x} = -\frac{D_l x}{u} e^{-\frac{u}{D_l}x} - \frac{D_l^2 x}{u^2} e^{-\frac{u}{D_l}x} \end{aligned} \quad (2.186)$$

$$\begin{aligned} C_1(x) &= \frac{2ID_l}{u^3} e^{-\frac{u}{D_l}x} - \frac{2I}{uD_l} \left(-\frac{D_l x}{u} e^{-\frac{u}{D_l}x} - \frac{D_l^2 x}{u^2} e^{-\frac{u}{D_l}x} + \right. \\ &\quad \left. \dots + \frac{2I}{u^2} e^{-\frac{u}{D_l}x} + C = \frac{2Ix}{u^2} e^{-\frac{u}{D_l}x} + \frac{2Ix}{u^2} e^{-\frac{u}{D_l}x} + \frac{4ID_l}{u^3} e^{-\frac{u}{D_l}x} + C. \end{aligned} \quad (2.187)$$

Bu yerdan

$$z = \left(\frac{2Ix}{u^2} + \frac{2Ix}{u^2} e^{-\frac{u}{D_l}(x-l)} + \frac{4ID_l}{u^3} + C e^{\frac{u}{D_l}l} \right). \quad (2.188)$$

J_σ noma'lum funksiya uchun quyidagi yechimni olamiz:

$$J_\sigma = \int \left[\frac{2Ix}{u^2} + \frac{2I}{u^2} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} + \frac{4ID_l}{u^3} + C e^{\frac{u}{D_l}l} \right] dx + C_2, \quad (2.189)$$

$$\begin{aligned} J_\sigma &= \frac{Ix^2}{u^2} + \frac{2I}{u^2} \left(\frac{D_l x}{u} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} - \frac{D_l^2}{u^2} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{4ID_l}{u^3} x + C \frac{D_l}{u} e^{\frac{u}{D_l}x} + C_2. \end{aligned} \quad (2.190)$$

So'nggi tenglamadagi C_2 va C konstantalarni aniqlaymiz. Buning uchun chegaraviy shartlardan foydalanamiz. Ulardan birinchisi quyidagini beradi:

$$x = 0 \text{ da } J_{\sigma} - \frac{D_l}{u} \frac{dJ_{\sigma}}{dx} = 0 \quad (2.191)$$

ya'ni

$$\begin{aligned} & \frac{Ix^2}{u^2} + \frac{2ID_l x}{u^3} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} - \frac{2ID_l^2}{u^4} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} + C \frac{D_l}{u} e^{\frac{u}{D_l}x} + \\ & + \frac{4ID_l x}{u^3} + C_2 - \frac{D_l}{u} \left[\frac{2Ix}{u^2} + \frac{2Ix}{u^2} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} + C e^{\frac{u}{D_l}x} + \frac{4ID_l}{u^3} \right] = 0. \end{aligned} \quad (2.192)$$

$$\frac{Ix^2}{u^2} - \frac{2ID_l^2}{u^4} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} + \frac{2ID_l x}{u^3} + C_2 - \frac{4ID_l^2}{u^2} = 0 \quad (2.193)$$

Bu yerdan

$$C_2 = \frac{4ID_l^2}{u^4} + \frac{2ID_l^2}{u^4} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} - \frac{Ix^2}{u^2} - \frac{2ID_l x}{u^3} \quad (2.194)$$

$x = 0$ tengligini hisobga olib, quyidagi ifodani olamiz:

$$C_2 = \frac{4ID_l^2}{u^4} + \frac{2ID_l^2}{u^4} e^{\frac{ul}{D_l}}. \quad (2.195)$$

Ikkinchi chegaraviy shart quyidagini beradi:

$$x = l \text{ da } \frac{dJ_{\sigma}}{dx} = 0 \quad (2.196)$$

ya'ni

$$\frac{2Ix}{u^2} + \frac{2Ix}{u^2} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} + C e^{\frac{u}{D_l}x} + \frac{4ID_l}{u^3} = 0. \quad (2.197)$$

Bu yerdan

$$C = -\frac{4ID_l}{u^3} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} + C e^{\frac{u}{D_l}x} + \frac{4ID_l}{u^3} = 0 \quad (2.198)$$

Oxirgi tenglamaga $x = l$ qo'yib, quyidagini topamiz:

$$C = -\frac{4ID_l}{u^3} e^{-\frac{u}{D_l}x} - \frac{2Ix}{u^2} e^{-\frac{u}{D_l}x} - \frac{2Ix}{u^2} e^{-\frac{u}{D_l}l}. \quad (2.199)$$

Shundan kelib chiqib,

$$\begin{aligned}
J_{\sigma} = & \frac{Ix^2}{u^2} + \frac{2ID_l x}{u^3} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} - \frac{2ID_l^2}{u^4} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} + \\
& + \frac{D_l}{u} e^{\frac{u}{D_l}x} \left[-\frac{4ID_l}{u^3} e^{-\frac{ul}{D_l}} - \frac{2Il}{u^2} e^{-\frac{ul}{D_l}} \right] + \frac{4ID_l x}{u^3} + \frac{4ID_l^2}{u^4} + \\
& + \frac{2ID_l^2}{u^4} e^{-\frac{ul}{D_l}} = \frac{Ix^2}{u^2} + \frac{2ID_l x}{u^3} e^{-\frac{u}{D_l}(x-l)} - \frac{2ID_l^2}{u^4} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} - \\
& - \frac{4ID_l^2}{u^4} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} - \frac{4ID_l}{u^3} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} + \frac{4ID_l x}{u^3} + \frac{4ID_l^2}{u^4} + \frac{2ID_l^2}{u^4} e^{\frac{ul}{D_l}}. \quad (2.200)
\end{aligned}$$

Tugallovchi natija sifatida quyidagi ifodani olamiz:

$$\begin{aligned}
J_{\sigma} = & \frac{4ID_l^2}{u^4} + \frac{4ID_l x}{u^3} + \frac{Ix^2}{u^2} + \\
& + \left[\frac{2ID_l x}{u^3} - \frac{6ID_l^2}{u^4} - \frac{4IlD_l}{u^3} \right] e^{\frac{u}{D_l}(x-l)} + \frac{2ID_l^2}{u^4} e^{\frac{ul}{D_l}} \quad (2.201)
\end{aligned}$$

(2.201) tenglama tajribaviy kattalik J_{σ} ning o'zgarishini apparat uzunligiga bog'liqligini tavsiflaydi. (2.170) tenglamadek, u ham D_l ni aniqlash va modelning monandligini tekshirish uchun qo'llanilishi mumkin.

$x = l$ da ikkinchi tartibli moment miqdori J_{σ} quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$J_{\sigma}^l = \frac{2ID_l}{u^3} l - \frac{2ID_l^2}{u^4} + \frac{Il^2}{u^2} + \frac{2ID_l^2}{u^4} e^{-\frac{ul}{D_l}}. \quad (2.202)$$

$\frac{J_{\sigma}^l}{I} - \left(\frac{l}{u}\right)^2 = \sigma_t^2$ ikkinchi markaziy moment va dispersiya deb ataladi. Unda

(2.202) tenglamani I ga bo'lib va undan $\left(\frac{l}{u}\right)^2$ ni ayirib, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\frac{J_{\sigma}^l}{I} - \left(\frac{l}{u}\right)^2 = \sigma_t^2 = \frac{2ID_l}{u^3} - \frac{2D_l^2}{u^4} + \frac{l^2}{u^2} + \frac{2D_l^2}{u^4} e^{-\frac{ul}{D_l}} - \left(\frac{l}{u}\right)^2 =$$

$$2 \left[\frac{D_l l}{u^3} - \frac{D_l^2}{u^4} + \frac{D_l^2}{u^4} e^{-\frac{ul}{D_l}} \right] \quad (2.203)$$

o'Ichamsiz dispersiya $\sigma_\theta^2 = \frac{\sigma_t^2}{t^2}$ quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} \sigma_\theta^2 &= \frac{\sigma_t^2}{t^2} = 2 \left[\frac{D_l l u^2}{u^3 l^3} - \frac{D_l^2 u^2}{u^4 l^2} + \frac{D_l^2 u^2}{u^4 l^2} e^{-\frac{ul}{D_l}} \right] = \\ &= 2 \left[\frac{D_l}{ul} - \left(\frac{D_l}{ul} \right)^2 + \left(\frac{D_l}{ul} \right)^2 e^{-\frac{ul}{D_l}} \right] = \frac{2}{Pe^2} [Pe - 1 + e^{-Pe}]. \quad (2.204) \end{aligned}$$

Pe ning qiymati 10 dan katta bo'lsa, quyidagini qabul qilish mumkin:

$$\sigma_\theta^2 \approx \frac{2}{Pe} \quad (2.205)$$

(2.204) tenglama tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha Pe sonini hisoblash uchun qo'llanayotgan asosiy tenglamadir. Bunda hisoblashni quyidagi tartibi qo'llaniladi. Avval mos ravishda $\sum C \Delta t$, $\sum t C \Delta t$, $\sum t^2 C \Delta t$ yig'indilar bilan almashtirish mumkin bo'lgan tajribaviy ergi chiziq bo'yicha $\int_0^\infty C dt$, $\int_0^\infty t C dt$, $\int_0^\infty t^2 C dt$ lar aniqlanadi.

Keyin (2.172) tenglama yordamida quyidagi qiymat topiladi:

$$\bar{t} = \frac{\sum t C}{\sum C} \quad (2.206)$$

Keyin quyidagi aniqlanadi:

$$\sigma_t^2 = \frac{\sum t^2 C}{\sum C} - \bar{t}^2. \quad (2.207)$$

Bundan keyin σ_t^2 topiladi va nihoyat, (2.204) tenglama bo'yicha Re kattaligi hisoblanadi.

Laplas o'zgartirishi yordamida model parametrlari va bo'lish vaqtining taqsimlanish egri chizig'i orasidagi aloqa tenglamalarini olish. Laplas o'zgartirishi haqiqiy o'zgaruvchining $S(\theta)$ funksiyasiga kompleksli o'zgaruvchi r ning $S(r)$ funksiyasiga mos kelganda (2.208) dagi munosabat yordamida o'tkaziladi:

$$\tilde{C}(p) = \int_0^{\infty} e^{-p\theta} C(\theta) d\theta \quad (2.208)$$

Integral ostidagi ifodada ko'rsatkichli funktsiyani qatorga yoyish mumkin:

$$e^{-p\theta} = 1 - p\theta + \frac{p^2\theta^2}{2!} - \frac{p^3\theta^3}{3!} + \frac{p^4\theta^4}{4!} - \dots \quad (2.209)$$

Bu yoyilishdan foydalanib, $S(r)$ uchun ifodani quyidagi ko'rinishda olamiz:

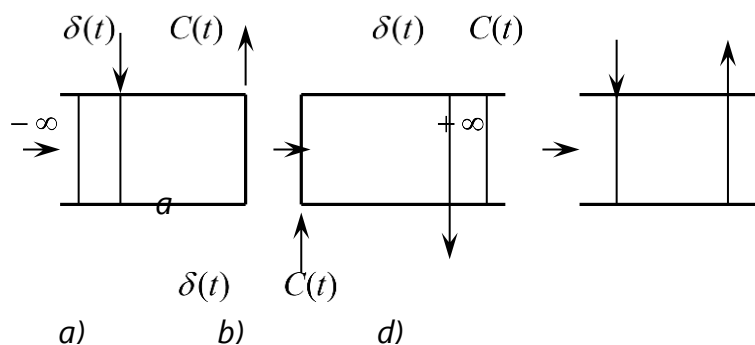
$$\tilde{C}(p) = \int_0^{\infty} C(\theta) d\theta - p \int_0^{\infty} \theta C(\theta) d\theta + \frac{p^2}{2} \int_0^{\infty} \theta^2 C(\theta) d\theta - \dots \quad (2.210)$$

Aytib o'tish kerakki:

$$\left[\frac{d\tilde{C}(p)}{dp} \right]_{p \rightarrow 0} = - \int_0^{\infty} \theta C(\theta) d\theta = -\bar{\theta} = -M_1, \quad (2.211)$$

$$\left[\frac{d^2\tilde{C}(p)}{dp^2} \right]_{p=0} = \left[- \int_0^{\infty} e^{-p\theta} C(\theta) d\theta \right]_{p=0}' = \left[- \int_0^{\infty} \theta^2 e^{-p\theta} C(\theta) d\theta \right]_{p=0} = - \int_0^{\infty} \theta^2 e^{-p\theta} C(\theta) d\theta = M_2 \quad (2.212)$$

Bu yerdan kelib chiqadiki, agar $\tilde{C}(p)$ funktsiyasi topilib, ya'ni model tenglamasining Laplas bo'yicha o'zgartirilgan ko'rinishdagi tenglamasini yechib, keyin $r \rightarrow 0$ da hosila olinsa, unda model parametrlari va bo'lish vaqtining taqsimlanish egri chizig'i orasidagi izlanayotgan bog'liqlikni topish mumkin. Bu usulni uzunligi yarim cheksiz apparat misolida ko'rib chiqamiz. Uzunligi yarim cheksiz apparatning ma'nosini tushuntirib o'tamiz (2.18 a-rasm).



2.18-rasm. Uzunligi yarim cheksiz apparat.

Bo‘ylama aralashtirish sababli indikator oqim harakatiga teskari yo‘nalishda tarqaladi. Faraz qilamizki, indikatorni kirish joyidan chapda istalgancha uzoq joylashgan nuqtalarda indikator konsentratsiyasi o‘lchanadi. Kirish joyidan a dan kattaroq masofada joylashgan nuqtalardagi probalarda indikator mavjud emas. Shunday qilib, indikatorning kiritish joyidan a dan kattaroq masofadagi apparatning bir qismi jarayonga ta’sir ko‘rsatmaydi. Indikatorni oqimning kirishidan a dan kichik bo‘lmagan masofada kiritiluvchi real apparatni uzunligi yarim cheksiz apparat deb qarash mumkin. O‘xshash fikrlar 2.18, b, d-rasmda ko‘rsatilgan apparatlar uchun ham adolatlidir.

Diffuziyali model tenglamasini o‘lchamsiz shaklda yozib olamiz (2.105) tenglamaga qarang):

$$\frac{d^2 C(\theta)}{dz^2} - Pe \frac{dC(\theta)}{d\theta} = Pe \frac{dC(\theta)}{d\theta} \quad (2.213)$$

Material balans tenglamasidan chegaraviy shartlarni aniqlaymiz. Apparat chekli uzunlikli bo‘lgan holda agar $z = 0$ bo‘lsa (indikatorni kiritish nuqtasida, 2.18, b-rasm), unda

$$uC - D_l \frac{dC}{dx} = \frac{g}{F} \delta(t) \quad (2.214)$$

yoki o‘lchamsiz shaklda

$$C(\theta) = \frac{1}{Pe} \frac{dC}{dz} = \delta(\theta) \quad (2.215)$$

Agar $z = \infty$ bo‘lsa, unda $S(v)$ ma’lum qiymatga ega.

(2.213) va (2.125) chegaraviy shartlarga Laplas o‘zgartirishini qo‘llab quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\frac{d^2 \bar{C}}{dz^2} - Pe \frac{d\bar{C}}{dz} - Pe p \bar{C} = 0. \quad (2.216)$$

$z = 0$ da chegaraviy shart quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\bar{C} - \frac{1}{Pe} \frac{d\bar{C}}{dz} = 1 \quad (2.217)$$

va $z = \infty$ da S - ma’lum kattalik bo‘ladi.

(2.216), (2.217) tenglamalarning umumiy yechimi quyidagicha:

$$\bar{C} = A_1 e^{r_1 z} + A_2 e^{r_2 z}, \quad (2.218)$$

unda r_1, r_2 - xarakteristik tenglamaning ildizlari

$$r_2 = Pe r - Pe p = 0, \quad (2.219)$$

ya'ni

$$r_{1,2} = \frac{Pe}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{Pe}{2}\right)^2 + Pe p}. \quad (2.220)$$

Chegaraviy shartlardan foydalanib, A_1 va A_2 konstantalarni topamiz. Agar $z = \infty$ bo'lsa, unda S — chekli kattalik quyidagiga teng:

$$\bar{C} = A_1 e^{r_1 \infty} + A_2 e^{r_2 \infty}. \quad (2.221)$$

$$r_1 = \frac{Pe}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{Pe}{2}\right)^2 + Pe p} \quad \text{musbat kattalik bo'lganligi uchun, } A_1 = 0 \quad \text{aks}$$

holda S cheksizlikka teng bo'lar edi.

Shunday qilib, (2.218)ning yechimi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\bar{C} = A_2 e^{r_2 z} \quad (2.222)$$

Bu yerdan

$$\frac{d\bar{C}}{dz} = A_2 r_2 e^{r_2 z}. \quad (2.223)$$

$z = 0$ da

$$\bar{C} = \frac{1}{Pe} \frac{d\bar{C}}{dz} + 1 \quad (2.224)$$

va shu tenglamaga $\frac{d\tilde{C}}{dz}$ ifodani qo'yib, quyidagilarni olamiz:

$$A_2 e^{r_2 z} = \frac{1}{Pe} A_2 r_2 e^{r_2 z} + 1, \quad (2.225)$$

$$A_2 = \frac{1}{Pe} A_2 r_2 + 1, \quad (2.226)$$

$$A_2 = \frac{Pe}{Pe - r_2}. \quad (2.227)$$

Natijada quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\bar{C} = \frac{Pe}{Pe - r_2} e^{r_2 z}. \quad (2.228)$$

$z = 1$ da, ya'ni javob funksiyasini aniqlash o'rnida:

$$\bar{C} = \frac{Pe}{Pe - r_2} e^{r_2}. \quad (2.229)$$

Belgilaymizki, $S r$ ning murakkab funksiyasidir. Quyidagilarni belgilaymiz:

$$x = \left(\frac{Pe}{2}\right)^2 + Pe p, \quad (2.230)$$

$$r_2 = \frac{Pe}{2} - \sqrt{x}. \quad (2.231)$$

Murakkab funksiyani differensiallash qoidasiga muvofiq quyidagilarni olamiz:

$$\frac{d\bar{C}}{dp} = \frac{d\bar{C}}{dr_2} \frac{dr_2}{dx} \frac{dx}{dp}, \quad (2.232)$$

$$\frac{d\bar{C}}{dp_2} = \frac{Pe e^{r_2} (Pe - r_2) + Pe e^{r_2}}{(Pe - r_2)^2}, \quad (2.233)$$

$$\frac{dx}{dp} = Pe; \quad \frac{dr_2}{dx} = -\frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{x}}, \quad (2.234)$$

$$\left. \frac{d\bar{C}}{dp} \right|_{p=0} = \left(1 + \frac{1}{Pe}\right) \left(-\frac{1}{Pe} Pe\right) = -1 - \frac{1}{Pe}. \quad (2.235)$$

(2.211) tenglamani inobatga olib quyidagini topamiz:

$$\theta = 1 + \frac{1}{Pe}. \quad (2.236)$$

Bu ifodaning fizik ma'nosini ochamiz. $\theta = \frac{v}{V} t$ va $C(\theta) = \frac{C(t)}{C_0}$ lardan foydalanib, quyidagini olamiz:

$$\bar{\theta} = \int \theta C(\theta) d\theta = \left(\frac{v}{V}\right)^2 \frac{\int_0^{\infty} t C(t) dt}{C_0} \quad (2.237)$$

Demak, $C_0 = \frac{g}{V}$ quyidagi bilan teng kuchli:

$$C_0 = \frac{g}{V} \int_0^{\infty} C(t) dt. \quad (2.238)$$

Olingan qiymatlarni (2.235) ifodaga qo'yib, quyidagini topamiz:

$$\frac{\int_0^{\infty} t C(t) dt}{\int_0^{\infty} C(t) dt} = \frac{V}{v} + \frac{V}{v} \frac{1}{Pe}. \quad (2.239)$$

(2.239) ifodadan ko'rinib turibdiki, indikatorni o'rtacha bo'lish vaqti (ifodaning chap qismi) tajribaviy seksiya V/v dagi oqimning haqiqiy bo'lish vaqtiga teng emas. V – tajribaviy seksiyaning hajmi ekanligini belgilab o'tamiz. Bunga bo'ylama aralashtirish uchun indikatorning bir qismi tajribaviy seksiyaning tashqarisida tarqalayotganligi sabab bo'lmoqda.

Agar V va v ma'lum bo'lsa, (2.239) tenglamani Pe kattalikni aniqlash uchun qo'llash mumkin.

σ_{θ}^2 dispersiya va model parametrlari orasidagi aloqa tenglamasini topamiz. Buning uchun funksiya S ning r bo'yicha ikkinchi tartibli hosilasini hisoblab chiqamiz:

$$\frac{d}{dp} \left(\frac{d\bar{C}}{dr} \right) = \frac{d^2 \bar{C}}{dr^2} \frac{dr}{dp} = \frac{d^2 \bar{C}}{dr^2} \frac{dr}{dx} \frac{dx}{dp} \quad (2.240)$$

$$\frac{d}{dp} \left(\frac{dr}{dx} \right) = \frac{d^2 r}{dx^2} \frac{dx}{dp}, \quad (2.241)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \bar{C}}{dp^2} &= \frac{d\bar{C}}{dr} \frac{dr}{dx} \frac{d^2 x}{dp^2} + \frac{d\bar{C}}{dr} \frac{d}{dp} \left(\frac{dr}{dx} \right) \frac{dx}{dp} + \frac{d}{dp} \left(\frac{d\bar{C}}{dr} \right) \frac{dr}{dx} \frac{dx}{dp} = \\ &= \frac{d\bar{C}}{dr} \frac{dr}{dx} \frac{d^2 x}{dp^2} + \frac{d\bar{C}}{dr} \frac{d^2 r}{dx^2} \left(\frac{dx}{dp} \right)^2 + \frac{d^2 \bar{C}}{dr^2} \left(\frac{dr}{dx} \right)^2 \left(\frac{dx}{dp} \right)^2. \end{aligned} \quad (2.242)$$

Tenglamaga kiruvchi barcha hosilalar uchun ifodalarni topamiz. $\frac{dC}{dr}$, $\frac{dr}{dx}$ va $\frac{dx}{dp}$ hosilalar ilgari olingan edi, $\frac{d^2x}{dp^2}$ ning hosilasi esa 0 ga teng. $\frac{dx}{dp} = Pe$ doimiy kattalik bo'lganligi uchun:

$$\left(\frac{dx}{dp}\right)^2 = Pe^2; \quad \frac{d^2r}{dx^2} = \frac{1}{4x\sqrt{x}}; \quad \frac{dr}{dx} = \frac{1}{2\sqrt{x}}; \quad \left(\frac{dr}{dx}\right)^2 = \frac{1}{4x} \quad (2.243)$$

$r \rightarrow 0$ da $x = \left(\frac{Pe}{2}\right)^2$ ga egamiz va bundan kelib chiqib:

$$\frac{d^2r}{dx^2} = \frac{1}{4 \frac{Pe^2}{4} \frac{Pe}{2}} = \frac{2}{Pe^3} \quad (2.244)$$

va

$$\left(\frac{dr}{dx}\right)^2 = \frac{1}{4\left(\frac{Pe}{2}\right)^2} = \frac{1}{Pe^2}, \quad (2.245)$$

$$\frac{d^2\bar{C}}{Cr^2} = \frac{[Pe^2e^{r_2} - Per_2e^{r_2} - Pee^{r_2} + Pee^{r_2}](Pe - r_2)^2}{(Pe - e^{r_2})^4} - \frac{[-2Pe + 2r_2][Pe^2e^{r_2} - Per_2e^{r_2} + Pee^{r_2}]}{(Pe - e^{r_2})^2}. \quad (2.246)$$

$r \rightarrow 0$ da $r_2 = 0$ egamiz va bundan:

$$\frac{dC^2}{dr^2} = \frac{Pe^2Pe^2 + 2PePe^2 + 2PePe}{Pe^4} = \frac{Pe^4 + 2Pe^3 + 2Pe^2}{Pe^4}.$$

Natijada quyidagi ifodalarni olamiz:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\bar{C}}{dp^2} \Big|_{p \rightarrow 0} &= \left(1 + \frac{1}{Pe}\right) \frac{2}{Pe^3} Pe^2 + \\ &+ \frac{Pe^4 + 2Pe^3 + 2Pe^2}{Pe^4} * \frac{1}{Pe^2} Pe^2 = \frac{4}{Pe^2} + \frac{4}{Pe} + 1, \end{aligned} \quad (2.248)$$

$$\frac{d^2\bar{C}}{dp^2} \Big|_{p \rightarrow 0} = \int_0^\infty \theta^2 C(\theta) d\theta; \quad \sigma_\theta^2 = \int_0^\infty \theta^2 C(\theta) d\theta - \theta^2 \quad (2.249)$$

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{4}{Pe^4} + \frac{4}{Pe} + 1 - \frac{1}{Pe^2} - \frac{2}{Pe} - 1 = \frac{3}{Pe^2} + \frac{2}{Pe} = \frac{1}{Pe^2}(3 + 2Pe). \quad (2.250)$$

(2.250) ifoda tizim javobining tajribaviy egri chizig‘i bo‘yicha Pe kattaligini hisoblash uchun qo‘llaniladi. Pog‘onali g‘alayon usuli bilan oqimlar strukturasi tadqiq qilishda model parametrlari (2.204) va (2.250) tenglamalar bo‘yicha hisoblanadi. Pog‘onali g‘alayon ta‘siriga javob funktsiya dispersiyasi quyidagi tarzda aniqlanadi. Ko‘rinib turibdiki,

$$\sigma_{\theta}^2 = \int_0^{\infty} \theta^2 dF - \theta^2. \quad (2.251)$$

Bu ifodadagi integralning qiymati F funktsiya hosilasi bo‘yicha emas, balki $1 - F$ kattalik bo‘yicha sodda va aniqroq aniqlanadi. Buning uchun integralni o‘zgartiramiz:

$$\int_0^1 \theta^2 dF = 1 \int_0^1 \theta^2 d(1 - F). \quad (2.252)$$

Bo‘laklab integrallab, quyidagini olamiz:

$$- \int_0^1 \theta^2 d(1 - F) = 2 \int_0^{\infty} (1 - F) d\theta. \quad (2.253)$$

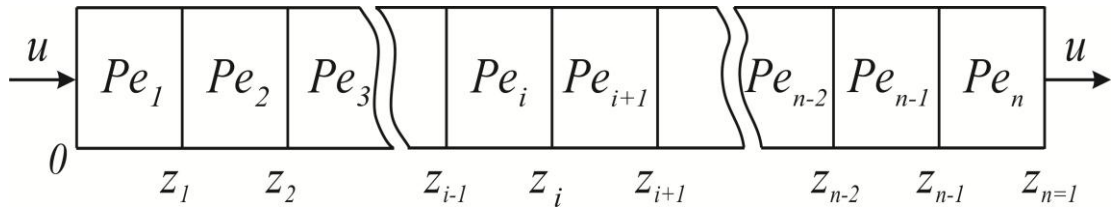
Javob funktsiyaning dispersiyasi quyidagiga teng:

$$\sigma_{\theta}^2 = 2 \int_0^{\infty} \theta(1 - F) d\theta - \theta^2. \quad (2.254)$$

O‘zgaruvchan bo‘ylama aralashtirish apparatlarida diffuziyali model parametrlarini baholash. Kolonnali apparatlarni tadqiq qilishda odatda bo‘ylama aralashtirishning o‘rtalashtirilgan koeffitsiyenti aniqlanadi, real sharoitlarda esa u turli uchastkalarda har xil bo‘lish mumkin. Bu apparatning balandligi va uning fizik xossalari bo‘yicha oqim strukturalarining turg‘unmasligiga, strukturalarning mahalliy buzilishlariga olib kelishi mumkin. Oddiy diffuziyali model bu hollarda jarayonning fizik mohiyatini yetarli aniq aks ettirmaydi. Bu ayniqsa, jarayonni o‘tkazish uchun eng yomon gidrodinamik muhitli uchastkalarni aniqlash zarur bo‘lgan issiqlik va modda almashish apparatlari, kimyoviy reaktorlarni loyihalash va optimallashtirishda muhimdir. Buning uchun apparatning ayrim uchastkalarida bo‘ylama aralashtirish parametrlari Pe ni aniqlash kerak.

2.19-rasmda ko‘rsatilgan modellarning sxemasi o‘zida bo‘ylama aralashtirishning turli jadalliklariga ega n zonadan tashkil topgan chegaralangan kanal (apparat)ni ifodalaydi. Impulsi g‘alayon birinchi zonaga kiritilmoqda deb faraz qilamiz.

Tanlangan zonalarning har biri uchun diffuziyali model tenglamalarini yozamiz:



2.19-rasm. Turli bo‘ylama aralashtirishli n zonalarni o‘z ichiga olib chegaralangan kanalning diffuziyali modelini grafik orqali tasvirlash.

$$\frac{l}{Pe_1} \frac{d^2 C}{dz^2} - \frac{dC}{dz} + \delta(t) = \frac{dC}{d\theta}, \quad 0 \leq z \leq z_1;$$

.....

$$\frac{l}{Pe_n} \frac{d^2 C}{dz^2} - \frac{dC}{dz} = \frac{dC}{d\theta}, \quad z_{n-1} \leq z \leq z_n;$$

.....

$$\frac{l}{Pe_k} \frac{d^2 C}{dz^2} - \frac{dC}{dz} = \frac{dC}{d\theta}, \quad z_{k-1} \leq z \leq z_k; \quad (2.255)$$

Bunda quyidagi muvofiq chegaraviy shartlar bajarilmoqda:

$$\frac{1}{Pe_1} \left(\frac{dC}{dz} \right)_0 - C_0 = 0,$$

$$\frac{1}{Pe_1} \left(\frac{dC}{dz} \right)_{z_1} - C_{z_1}^- = \frac{1}{Pe_2} \left(\frac{dC}{dz} \right)_{z_1}^+ - C_{z_1}^+,$$

$$C_{z_1}^- = C_{z_1}^+,$$

.....

$$\frac{1}{Pe_k} \left(\frac{dC}{dz} \right)_{z_k}^- - C_{z_k}^- = \frac{1}{Pe} \left(\frac{dC}{dZ} \right)_{z_k}^+ - C_{z_k}^+,$$

$$C_{z_k}^- = C_{z_k}^+,$$

.....

$$\frac{1}{Pe_{n-1}} \left(\frac{dC}{dz} \right)_{z_{n-1}}^- - C_{z_{n-1}}^- = \frac{1}{Pe_n} \left(\frac{dC}{dz} \right)_{z_{n-1}}^+ - C_{z_{n-1}}^+,$$

$$C_{z_{n-1}}^- = C_{z_{n-1}}^+,$$

$$\left(\frac{dC}{dZ} \right)_{Z-1} = 0. \quad (2.256)$$

Apparatning boshlang‘ich kesimiga trassiyorni impulsli kiritganda ($z = 0$) ixtiyoriy k - zonada javob egri chizig‘ining birinchi boshlang‘ich momenti uchun tenglama quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$M_1 = A_K e^{Pe_K z} + \frac{1}{Pe_K} + z, \quad z_{K-1} \leq z \leq z_K, \quad (2.257)$$

agar $k=1,2,\dots,n-1$ bo'lsa, unda

$$A_K = \left(\frac{1}{Pe_{k+1}} - \frac{1}{Pe_k} + A_{K+1} e^{Pe_{K+1} z_k} \right); \quad (3.258)$$

agar $k=n$ bo'lsa, unda

$$A_n = \frac{e^{-Pe_n}}{Pe_n}. \quad (2.259)$$

O'xshash tarzda ikkinchi boshlang'ich moment uchun quyidagi tenglama olinadi:

$$M_2 = \sum_{Pe_K}^K a_i + \frac{4z}{Pe_K} + \frac{4}{Pe_k^2} + z^2 - (2A_{Kz} - B_K) e^{Pe_K z}, \quad z_{k-1} \leq z \leq z_k; \quad (2.260)$$

agar $k = 1$ bo'lsa, unda

$$a_1 = -\frac{2A_1}{Pe_1};$$

agar $k = 2, 3, \dots, p$ bo'lsa, unda

$$a_k = \frac{2z_{k-1}}{Pe_{k-1}} - \frac{2z_{k-1}}{Pe_k} + \frac{2A_{k-1}}{Pe_{k-1}} e^{Pe_{k-1} z_{k-1}} - \frac{2A_k}{Pe_k} e^{Pe_k z_{k-1}}; \quad (2.261)$$

agar $k = 1, 2, \dots, p-1$ bo'lsa, unda

$$B_k = 2A_k z_k - (2A_{k+1} z_k - B_{k+1}) e^{z_k (Pe_{k+1} - Pe_K)} + (a_{K+1} - \frac{4z_k}{Pe_k} - \frac{4}{Pe_k^2} + \frac{4z_k}{Pe_{k+1}} + \frac{4}{Pe_{k+1}^2}) e^{-Pe_K z_k}; \quad (2.262)$$

agar $k = p$ bo'lsa, unda

$$B_n = -\left(\frac{4}{Pe_n} + \frac{6}{Pe_n^2} \right) e^{-Pe_n}. \quad (2.263)$$

(2.257) - (2.263) tenglamalar apparatning ayrim uchastkalarida qayd qilingan javobning tajribaviy egri chizig'i bo'yicha bo'ylama aralashtirish jadalligini aniqlash imkonini beradi. Masalan, z_u, z_2, \dots, z_n kesimlarda javob egri chiziqlarini qayd qilib, oxirgi uchastkadan boshlab ketma-ket har bir uchastka uchun $\Delta \sigma^2 = \sigma_{Z_K}^2 - \sigma_{Z_{K-1}}^2$ dispersiyaning orttirmasi kattaligi bo'yicha, Pe_K ning barcha qiymatlarini hisoblash mumkin. Model parametrlari bo'yicha $\Delta \sigma^2$ bog'liqlikni hisoblash uchun zaruriy ifoda (2.257) – (2.263) tenglamalardan kelib chiqadi. $\Delta \sigma^2$

ning umumiy ifodasi apparatning ixtiyoriy k -uchastkasi uchun quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\Delta \sigma^2 = \sigma_{z_K}^2 - \sigma_{z_{K-1}}^2 = \frac{2(z_K - z_{K-1})}{Pe_K} + (4A_K z_{K-1} + \frac{2A_K}{Pe_K} - B_K) * \\ * e^{Pe_K z_{K-1}} - (4A_K z_K + \frac{2A_K}{Pe_K} - B_K) e^{Pe_K z_K} + A_K^2 (e^{2Pe_K z_{K-1}} - e^{2Pe_K z_K}). \quad (2.264)$$

(2.264) tenglamaga tadqiq qilinayotgan uchastkaning Pe qiymatidan tashqari keyingi uchastkalar uchun Pe qiymatlari kiradi, shuning uchun ketma-ket hisoblash bilan Pe_K ning barcha qiymatlarini topish mumkin. (2.264) tenglamani yechish natijasida apparatning ayrim uchastkalar uchun Pe ning o‘rtacha qiymatlari topiladi. Oxirgi uchastka uchun (oqimning yo‘nalishi bo‘yicha) (2.264) tenglama quyidagi ko‘rinishga keltiriladi:

$$\Delta \sigma^2 = \Delta \sigma_{z=1}^2 - \Delta \sigma_{n-1}^2 = \frac{2(1 - z_{n-1})}{Pe_n} - \frac{5}{Pe_n^2} + \\ + \left[\frac{4(1 - z_{n-1})}{Pe_n} + \frac{4}{Pe_n^2} \right] e^{-Pe_n(1 - z_{n-1})} + \frac{e^{-Pe_n(1 - z_{n-1})}}{Pe_n^2} \quad (2.265)$$

(2.265) tenglamaning oxirgi ikki a‘zosi ko‘pincha juda kichik bo‘ladi. Unda quyidagi qabul qilinadi:

$$Pe_n = \frac{1 - z_{n-1}}{\Delta \sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{1 - z_{n-1}}{\Delta \sigma^2} \right)^2 - \frac{5}{\Delta \sigma^2}}. \quad (2.266)$$

Bo‘ylama aralashtirish jadalligi turlicha bo‘lgan ikki uchastkadan iborat apparatlar uchun (2.257) - (2.263) tenglamalar asosida quyidagini olish mumkin:

$$\sigma_1^2 = \frac{2(1 - z_1)}{Pe_2} - \frac{2}{Pe_2^2} + \frac{2}{Pe_1} \left(z_1 + \frac{1}{Pe_2} \right) - \frac{2}{Pe_1^2} + \left(\frac{1}{Pe_1} - \frac{1}{Pe_2} \right) * \\ * \frac{2e^{-Pe_1 z_1}}{Pe_1} + \left(\frac{1}{Pe_2} - \frac{1}{Pe_1} + \frac{e^{-Pe_1 z_1}}{Pe_1} \right) \frac{2e^{-Pe_2(1 - z_1)}}{Pe_2}. \quad (2.267)$$

Pe ning katta qiymatlarida (2.267) tenglamaning oxirgi ikki a‘zosi e‘tiborga olinmaydigan darajada kichik. Bu holda quyidagini hisoblash mumkin:

$$Pe_1 = \frac{z_1 + \frac{1}{Pe_2}}{C_1} + \sqrt{\left(\frac{z_1 + \frac{1}{Pe_2}}{C_1} \right)^2 - \frac{2}{C_1}}, \quad (2.268)$$

bu yerda

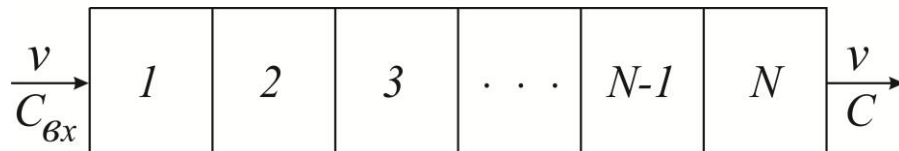
$$C_1 = \sigma_1^2 + \frac{2}{Pe_2} - \frac{2(1 - z_1)}{Pe_2}. \quad (2.269)$$

Pe_2 bilgan holda, birinchi zonadan chiqishda qayd qilingan javob funksiyasining dispersiyasi bo'yicha (2.268) tenglama yordamida Pe_1 ni topish mumkin.

2.5. Yacheykali model

Modelning asosiy tenglamalarini keltirib chiqarish. Aralashtirgichlar bilan reaktorlar kaskadi uchun ilk taklif qilingan model eng oddiylaridan biridir. (2.20-rasm).

Quyidagi qo'yimlarni qabul qilamiz: 1) har bir yacheykada ideal aralashtirish bajarilmoqda; 2) yacheykalar orasida qayta aralashtirish mavjud emas. Bo'ylama aralashtirishni miqdoriy tavsiflovchi yacheykali model parametri bo'lib JV to'la aralashtirish yacheykalarining soni xizmat qiladi. N oshishi bilan oqimning strukturasi to'la siqib chiqarish modeliga yaqinlashadi, N kamayishi bilan – ideal aralashtirish modeliga yaqinlashadi.



2.20-rasm. Yacheykali model sxemasi:

v – apparat orqali moddaning sarfi; C_{kir} – kirishdagi konsentratsiya.

Har bir yacheyka uchun moddani saqlashni tenglamalarini yozamiz (soddalashtirish uchun yacheykalar bir xil hajm V_{YA} ga ega deb faraz qilamiz):

$$\begin{aligned}
vC_{kir} - vC &= V_{ya} \frac{dC_1}{dt}, \\
vC_1 - vC_2 &= V_{ya} \frac{dC_2}{dt}, \\
&\dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \\
vC_{j-1} - vC_j &= V_{ya} \frac{dC_j}{dt} \\
&\dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \\
vC_{n-1} - vC_n &= V_{ya} \frac{dC_n}{dt}.
\end{aligned}
\tag{2.270}$$

(2.270) tenglamalarning chap va o'ng qismlarini v ga bo'lib, quyidagini olamiz:

$$\begin{aligned}
C_{kir} C_1 &= \bar{t} \frac{dC_1}{dt}, \\
C_1 - C_2 &= \bar{t} \frac{dC_2}{dt}, \\
&\dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \\
C_{j-1} - C_j &= \bar{t} \frac{dC_j}{dt}, \\
&\dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \\
C_{N-1} - C_N &= \bar{t} \frac{dC_N}{dt}.
\end{aligned}
\tag{2.271}$$

(2.271) tenglamalar tizimi uchun mos boshlang'ich shartlar quyidagi ko'rinishga ega:

$$t = 0 \text{ da } C_1 = C_{1b}, C_2 = C_{2b}, \dots, C_N = C_{Nb} \tag{2.272}$$

(2.271) tenglamalar tizimi (2.272) boshlang'ich shartlar bilan birga oqimlar strukturasi yacheykali modelini tashkil qiladi. Model xossalarini tahlil qilish uchun yacheykali modelning standart g'alayonlarga bo'lgan javoblarini ko'rib chiqamiz.

Konsentratsiya sakrash ko'rinishida nolgacha kamayadigan pog'onali g'alayonga modelning javobi (yuvib ketish usuli). modelning javobini, (2.271) tenglamalar tizimini ketma-ket yechib, birinchi yacheykadan boshlab qidiramiz.

Birinchi yacheyka.

Yuvib ketish usulida indikatorning konsentratsiyasi kirishda nolga teng. Demak, $S_{kir}=0$ va boshlang'ich tenglama quyidagi ko'rinishga keltiriladi:

$$-C_1 = \bar{t} \frac{dC_1}{dt}, \quad (2.273)$$

o'zgaruvchilarni bo'lib, quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\frac{dC_1}{C_1} = -\frac{dt}{\bar{t}}. \quad (3.274)$$

(2.274) tenglamani integrallash quyidagini beradi:

$$C_1 = Ke^{-t/\bar{t}}. \quad (2.275)$$

K noma'lum konstantani boshlang'ich shartdan topamiz:

$$t = 0 \text{ da } C_1 = C_{1b} = C_b \quad (2.276)$$

Bu yerdan

$$K = S_b. \quad (2.277)$$

(2.275) ni (2.277) ga qo'yib, birinchi yacheykadan chiqishdagi javobning quyidagi ko'rinishini olamiz:

$$C_1 = C_b e^{-t/\bar{t}}. \quad (2.278)$$

Ikkinchi yacheyka.

Birinchi yacheykaning chiqishi ikkinchi yacheykaning kirishini hosil qiladi. U vaqtda moddani saqlanish tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$C_1 - C_2 = \bar{t} \frac{dC_2}{dt} \quad (2.279)$$

yoki

$$C_b e^{-t/\bar{t}} - C_2 = \bar{t} \frac{dC_2}{dt}. \quad (2.280)$$

(2.280) tenglama – birinchi darajali bir jinsli bo'lmagan differensial tenglamadir. Uni noma'lum ko'paytuvchilar usuli bilan yechamiz. Bunga mos keluvchi bir jinsli tenglama quyidagi ko'rinishga ega:

$$\bar{t} \frac{dC_2}{dt} + C_2 = 0 \quad (2.281)$$

Uning yechimi quyidagiga tengdir:

$$C_2 = A(t)e^{-t/\bar{t}}, \quad (2.282)$$

bu yerda $A(t)$ – noma'lum ko'paytuvchi.

(2.282) bir jinsli tenglamaning yechimini (2.280) ga qo'yamiz:

$$\frac{dC_2}{dt} = A_t e^{-t/\bar{t}} + A\left(-\frac{1}{\bar{t}}\right)e^{-t/\bar{t}}, \quad (2.283)$$

$$\bar{t} \left[A_t^1 e^{-t/\bar{t}} - \frac{A(t)}{\bar{t}} e^{-t/\bar{t}} \right] + A(t) e^{-t/\bar{t}} = C_N e^{-t/\bar{t}}. \quad (2.284)$$

o‘xshash a‘zolarini keltirib, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{C_b}{\bar{t}}. \quad (2.285)$$

(2.285) differensial tenglamani noma‘lum koeffitsiyenga nisbatan yechamiz:

$$A(t) = \frac{C_b}{\bar{t}} t + K. \quad (2.286)$$

Endi (2.282) ga topilgan $A(t)$ ifodani qo‘yib, quyidagini olamiz:

$$C_2 = \left[\frac{C_b}{\bar{t}} + K \right] e^{-t/\bar{t}} \quad (2.287)$$

K noma‘lum konstantani boshlang‘ich shartdan topish mumkin:

$$t=0 \text{ da } S_2=S_{2b}=S_b. \quad (2.288)$$

Bu yerdan

$$K=S_b. \quad (2.289)$$

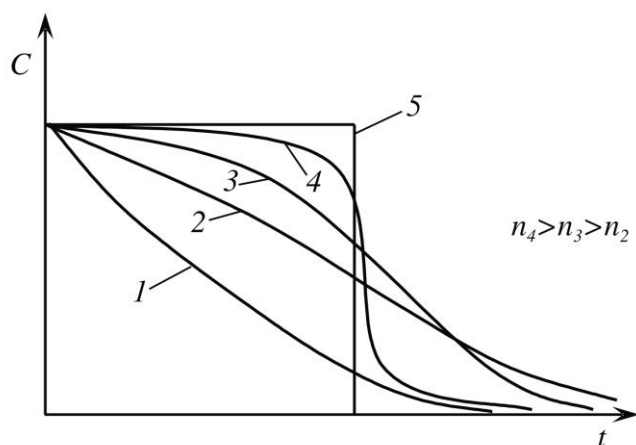
Shunday qilib, ikkinchi yacheykani chiqishida javob quyidagi ko‘rinishga ega:

$$C_2 = C_b \left[1 + \left(\frac{t}{\bar{t}}\right) \right] e^{-t/\bar{t}} \quad (2.290)$$

Uchinchi, to‘rtinchi, ..., N – yacheykalar uchun o‘xshash fikrni davom ettirib, konsentratsiyani sakrash ko‘rinishda nolgacha kamayadigan yacheykali model javobi uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\frac{C_N}{C_b} = \left[1 + \left(\frac{t}{\bar{t}}\right) + \frac{1}{2} \left(\frac{t}{\bar{t}}\right)^2 + \dots + \frac{1}{(N-1)!} \left(\frac{t}{\bar{t}}\right)^{N-1} \right] e^{-t/\bar{t}}. \quad (2.291)$$

2.21-rasmda yacheykalarining turli soni uchun yuvib ketish usuli bo‘yicha chiqish konsentratsiyasining bog‘liqligi ko‘rsatilgan.



2.21-rasm. Yacheykalarning turli soni uchun konsentratsiyaning sakrash ko‘rinishli kamayishiga yacheykali modelning javobi: 1 – ideal aralashtirishda; 2, 3, 4 – mos ravishda n_1 , n_3 va n_4 yacheykalar sonida; 5 – ideal siqib chiqarishda.

(2.291) tenglamani quyidagi o‘lchamsiz ko‘rinishda yozish qulay:

$$C(\theta) = \left[1 + N\theta + \frac{1}{2}N^2\theta^2 + \dots + \frac{N^{N-1}}{(N-1)!}\theta^{N-1} \right] e^{-N\theta}. \quad (2.292)$$

Impulsi g‘alayonga modelning javobi. Yacheykali model javob funksiyasini olish uchun oldingi holga o‘xshash birinchi, ikkinchi va h.k. yacheykalardagi javoblarni topamiz.

Birinchi yacheyka.

Impulsi g‘alayon uchun birinchi yacheykaga kirish S_{kr} konsentratsiyasi nolga teng bo‘lganligi uchun, moddaning saqlash tenglamasi quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$-C_1 = \bar{t} \frac{dC_1}{dt}. \quad (2.293)$$

Uning yechimi quyidagiga tengdir:

$$C_1 = K / e^{-t/\bar{t}}. \quad (2.294)$$

K noma’lum kattalikni boshlang‘ich shartdan topamiz:

$$t = 0 \text{ da } C_1 = C_b \quad (2.295)$$

Bu yerdan

$$K = S_b \quad (2.296)$$

va

$$C_1 = C_b e^{-t/\bar{t}}. \quad (2.297)$$

Ikkinchi yacheyka.

Birinchi yacheykaning chiqishi ikkinchi yacheykaning kirishini hosil qiladi. Unda ikkinchi yacheyka uchun quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$C_b e^{-t/\bar{t}} - C_2 = \bar{t} \frac{dC_2}{dt}. \quad (2.298)$$

Avval o‘zgaruvchilarini ajratgandan so‘ng (2.300) ko‘rinishni qabul qiluvchi mos bir jinsli tenglamani yechamiz:

$$\bar{t} \frac{dC_2}{dt} + C_2 = 0, \quad (2.299)$$

$$C_2 = A(t) e^{-t/\bar{t}}. \quad (2.300)$$

$A(t)$ noma'lum ko‘paytuvchini topish uchun (2.300) ning yechimini (2.298) boshlang‘ich tenglamaga qo‘yamiz:

$$t \left[A_t e^{-t/\bar{t}} - \frac{A(t)}{\bar{t}} \right] + A e^{-t/\bar{t}} = C_b e^{-t/\bar{t}} \quad (2.301)$$

(2.301) tenglamadagi o‘xshash a‘zolarini keltirgandan keyin $A(t)$ ga nisbatan birinchi tartibli differensial tenglamaga kelamiz:

$$\bar{t} \frac{dA(t)}{dt} = C_b. \quad (2.302)$$

Uning yechimi quyidagiga teng:

$$A(t) = \frac{C_b}{\bar{t}} t + K. \quad (2.303)$$

(2.303) tenglamani (2.300) ga qo‘yib va $t = 0$ da C_2 boshlang‘ich shartni hisobga olib, ikkinchi yacheyka chiqishidagi javob funksiyasini olamiz:

$$C_2 = C_b \frac{t}{\bar{t}} e^{-t/\bar{t}}. \quad (2.304)$$

Uchinchi, to‘rtinchi ,..., N -Pi yacheykalar uchun o‘xshash yechimlar N -yacheykalarni o‘z ichiga olgan quyidagi yacheykali modelning umumiy javob funksiyasini beradi:

$$C_N = C_b \left(\frac{t}{\bar{t}}\right)^{N-1} \frac{1}{(N-1)!} e^{-t/\bar{t}}. \quad (2.305)$$

$C(\theta) = C_N / C_b$ o'lchamsiz konsentratsiyani va $\theta = t / \bar{t}$ vaqtni kiritib, (2.305) javob funksiyasini o'lchamsiz ko'rinishda quyidagicha keltirish mumkin:

$$C(\theta) = \frac{N^N \theta^{N-1}}{(N-1)!} e^{-N\theta}. \quad (2.306)$$

Konsentratsiya sakrash ko'rinishida oshib boruvchi pog'onali g'alayonga yacheykali modelning javoblari. Har bir yacheykaning chiqishidagi konsentratsiyani aniqlaymiz.

Birinchi yacheyka.

S_{kr} kirish konsentratsiyasi berilgan g'alayon uchun noldan farq qilganligi sababli, modda saqlashni tenglamasi birinchi yacheyka uchun quyidagi tarzda yoziladi:

$$C_{kir} - C_1 = \bar{t} \frac{dC_1}{dt}, \quad (2.307)$$

boshlang'ich shart esa quyidagi ko'rinishga ega:

$$t = 0 \text{ da } C_1 = 0 \quad (2.308)$$

(2.307) tenglamani quyidagi ko'rinishda tavsiflash mumkin:

$$\frac{d(C_{kir} - C_1)}{C_{kir} - C_1} = - \frac{dt}{t} \quad (2.309)$$

Oxirgi tenglamani integrallash quyidagini beradi:

$$(C_{kir} - C_1) = K e^{-t/\bar{t}}. \quad (2.310)$$

K integrallash konstantasini quyidagi boshlang'ich shartdan topamiz:

$$t = 0 \text{ da } K = C_{kir} \quad (2.311)$$

Unda birinchi yacheyka chiqishida quyidagi javob funksiyasini olamiz:

$$C_1 = C_{kir} (1 - e^{-t/\bar{t}}). \quad (2.312)$$

Ikkinchi yacheyka.

Birinchi yacheykaning chiqishi (2.312) ikkinchi yacheykaning kirishini hosil qiladi. U vaqtda ikkinchi yacheyka uchun moddani saqlashni tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$C_{kir} (1 - e^{-t/\bar{t}}) - C_2 = \bar{t} \frac{dC_2}{dt}. \quad (2.313)$$

Mos ravishda bir jinsli tenglamaning yechimi quyidagiga teng:

$$C_2 = A(t) e^{-t/\bar{t}} \quad (2.314)$$

$A(t)$ noma'lum ko'paytuvchini topish uchun (2.314) ning yechimini boshlang'ich bir jinsli bo'lmagan (2.313) tenglamaga qo'yamiz:

$$C_{kir} (1 - e^{-t/\bar{t}}) - A(t) e^{-t/\bar{t}} = \bar{t} \left[A_t'(t) e^{-t/\bar{t}} - \frac{A(t)}{t} e^{-t/\bar{t}} \right]. \quad (2.315)$$

O'xshash a'zolarini keltirib, $A(t)$ noma'lum ko'paytuvchiga nisbatan quyidagi tenglamani olamiz.

$$\frac{dA(t)}{dt} = \frac{C_{kir}}{t} (e^{-t/\bar{t}} - 1). \quad (2.316)$$

Uning yechimi quyidagiga teng:

$$A(t) = \frac{C_{kir}}{\bar{e}} (\bar{t} e^{t/\bar{t}} - t) + K. \quad (2.317)$$

(2.317) ifodani (2.314) ga qo'yib, (2.313) bir jinsli bo'lmagan differensial tenglamaning yechimini olamiz:

$$C_2 = \left[\frac{C_{kir}}{\bar{t}} (\bar{t} e^{t/\bar{t}} - t) + K \right] e^{-t/\bar{t}}. \quad (2.318)$$

K konstantani boshlang'ich shartdan topamiz

$$t = 0 \text{ da } C_2 = 0, \quad X = C_{kir} \quad (2.319)$$

(2.319) ni (2.318) tenglamaga qo'yish ikkinchi yacheyka chiqishidagi javobni beradi:

$$C_2 = C_{kir} \left[1 - \left(1 + \left(\frac{t}{\bar{t}} \right) \right) e^{-t/\bar{t}} \right]. \quad (2.320)$$

Uchinchi, to'rtinchi, ..., N -li yacheyka uchun o'xshash fikrni davom etib, quyidagi oxirgi N -yacheyka chiqishidagi javob funksiyasini olamiz:

$$\frac{C_N}{C_{kir}} = 1 - \left[1 + \left(\frac{t}{\bar{t}}\right) + \frac{1}{2} \left(\frac{t}{\bar{t}}\right)^2 + \frac{1}{3!} \left(\frac{t}{\bar{t}}\right)^3 + \dots + \frac{1}{(N-1)!} \left(\frac{t}{\bar{t}}\right)^{N-1} \right] e^{-t/\bar{t}} \quad (2.321)$$

$F(\theta) = C_N / C_{kir}$ o'lchamsiz konsentratsiyani va $\theta = t / \bar{t}$ vaqtni kiritib, quyidagini topamiz:

$$C(\theta) = 1 - \left[1 + N\theta + \frac{N^2\theta^2}{2} + \frac{N^3\theta^3}{3!} + \dots + \frac{N^{N-1}\theta^{N-1}}{(N-1)!} \right] e^{-N\theta}. \quad (2.322)$$

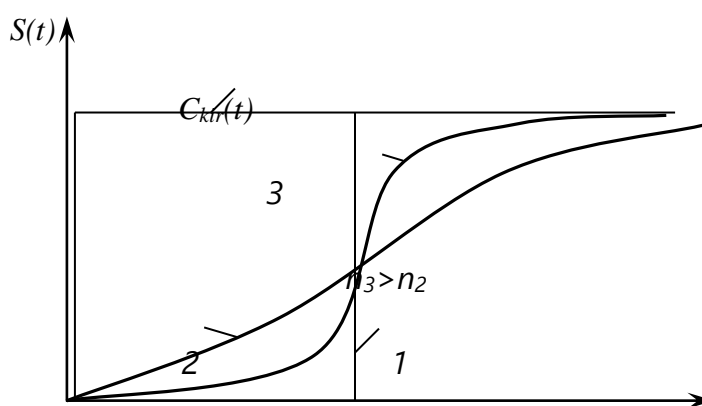
2.22-rasmda turli yacheykalar soni uchun pog'onali g'alayonga chiqish konsentratsiyasining bog'liqligi ko'rsatilgan.

Oldin belgilanganidek, $F(\theta)$ javob funksiyasi F -egri chiziq deb ataladi va oqim elementlarini bo'lish vaqti bo'yicha taqsimlanishini tavsiflaydi. olingan javob funksiyasi (2.322) ni yuvib ketish usulidagi yacheykali model javobi (2.292) bilan solishtirib, ular orasidagi aloqa bog'liqligini olamiz:

$$(F(\theta) = 1 - I(\theta)), \quad (2.323)$$

bunda, $I(\theta)$ – yuvib ketish usulidagi modelning o'lchamsiz javobi bo'lib, u quyidagiga teng:

$$I(\theta) = \left[1 + N\theta + \frac{1}{2} N^2\theta^2 + \dots + \frac{N^{N-1}\theta^{N-1}}{(N-1)!} \right] e^{-N\theta}. \quad (3.324)$$



2.22-rasm. Pog'onali g'alayonga yacheykali modelning javobi:
1 – ideal siqib chiqarishda; 2, 3 – mos ravishda n_2 va n_3 yacheykalar sonida.

Yacheykali model bilan tavsiflanadigan obyektlarning uzatish funksiyasi.

$W(p)$ obyektning uzatish funksiyasi ta'rifiga muvofiq quyidagi ko'rinishga ega:

$$W(p) = \frac{\tilde{C}_{chiq}}{\tilde{C}_{kir}} = \frac{\tilde{C}_N}{\tilde{C}_{kir}}. \quad (2.325)$$

(2.325) tenglamaning o'ng qismini \tilde{C}_{N-1} ga ko'paytiramiz va bo'lamiz:

$$W(p) = \frac{\tilde{C}_{N-1}}{\tilde{C}_{kir}} \frac{\tilde{C}_N}{\tilde{C}_{N-1}}. \quad (2.326)$$

(2.326) tenglamaning o'ng qismidagi ikkinchi ko'paytuvchi $N-P$ yacheykaning uzatish funksiyasini, ya'ni $W_N(p)$ ni ifodalaydi. Unda oxirgi tenglamani quyidagi ko'rinishda qayta yozishimiz mumkin:

$$W(p) = \frac{\tilde{C}_{N-1}}{\tilde{C}_{kir}} W_N(p). \quad (2.327)$$

O'xshash tarzda, (2.327) tenglamani o'ng qismini \tilde{C}_{N-1} ga ko'paytirib va bo'lib, quyidagini olamiz:

$$W(p) = \frac{\tilde{C}_{N-2}}{\tilde{C}_{kir}} \frac{\tilde{C}_{N-1}}{\tilde{C}_{N-2}} W_N(p). \quad (2.328)$$

(2.328) tenglamani o'ng qismidagi ikkinchi ko'paytuvchi $(N-1)$ - yacheykaning uzatish funksiyasidir. Unda (2.328) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin:

$$W(p) = \frac{\tilde{C}_{N-2}}{\tilde{C}_{kir}} W_{N-1}(p) W_N(p). \quad (2.329)$$

O'xshash o'zgartirishlarni olib borib, yacheykali model bilan tavsiflanadigan obyekt uzatish funksiyasining quyidagi ifodasiga kelamiz:

$$(W(p) = W_1(p)W_2(p)...W_N(p) = \prod_{i=1}^N W_i(p). \quad (2.330)$$

yacheykali modelda har bir yacheyka ideal aralashtirish modeli bilan tavsiflanayotganligi uchun:

$$W_i(p) = \frac{1}{1 + \bar{t}p}. \quad (2.331)$$

bunda, \bar{t} – yacheykada o'rtacha bo'lish vaqti (yacheykalar bir xil hajmga ega deb faraz qilinadi).

(2.331) ifodani hisobga olib, yacheyka modelining uzatish funksiyasi uchun yakuniy ifodani olamiz:

$$W(p) = \frac{1}{(1 + \bar{t}p)^N}. \quad (2.332)$$

Endi quyidagi ayrim holatlarni ko'rib chiqamiz.

1. Yacheykali modelda yacheykalar soni $N=1$ teng. Bu holda uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$W(p) = \frac{1}{1 + \bar{t}p}. \quad (2.333)$$

(2.333) ifoda ideal aralashtirish modelining uzatish funksiyasiga mos va yacheykali model ideal aralashtirish modeliga o'tadi.

2. Yacheykali modelda yacheykalar soni $N \rightarrow \infty$ ga intiladi. Bu holda quyidagiga egamiz:

$$W(p) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{(1 + \bar{t}p)^N}. \quad (2.334)$$

Deylik, $x = \frac{1}{\bar{t}p}$ va t_0 - yacheykali model bilan tavsiflanadigan obyektga o'rta bo'lish vaqti. Unda

$$N = \bar{t}_y px. \quad (2.335)$$

(2.335) ni (2.334) tenglamaga qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$W(p) = \lim_{x \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{1}{x}\right)^{\bar{t}_y px}} \right] = \left(1 + \frac{1}{x}\right)^{-x \bar{t}_y p} \quad (2.336)$$

yoki

$$W(p) = \lim_{x \rightarrow \infty} \left[\left(1 + \frac{1}{x}\right)^{x - \bar{t}_y p} \right] \quad (2.337)$$

Quyidagini inobatga olib, uzatish funksiyasi uchun (2.339) ifodani olamiz:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e, \quad (2.338)$$

$$W(p) = e^{-\bar{t}_y p} \quad (2.339)$$

(2.339) uzatish funksiyasi ideal siqib chiqarish modeliga mosdir. Demak, $N \rightarrow \infty$ holda, yacheykali model ideal siqib chiqarish modeliga o'tadi.

Yacheykali modelning N – parametrini baholash. Yacheykali modelning N – parametrini baholash uchun bu modelning uzatish funksiyasidan foydalanib, impulsli g‘alayonga javob funksiyasi uchun ikkinchi tartibli boshlang‘ich momenti M_2^t ni topamiz:

$$M_2^t = W_p''(p=0) = N(N+1)(1+\bar{t}p)^{-N-2} \Big|_{p=0} =$$

$$= N(N+1)\bar{t}^2 = N^2\bar{t}^2 + N\bar{t}^2 = \bar{t}_y^2 \left(1 + \frac{1}{N}\right). \quad (2.340)$$

Mos markaziy o‘lchamli ikkinchi tartibli moment quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\mu_2^t = M_2^t - \bar{t}_c^2 = \frac{\bar{t}_c^2}{N}. \quad (2.341)$$

(2.341) ifodani tizimda o‘rta bo‘lish vaqtining kvadratiga bo‘lib, yacheykali model N parametri bilan yacheykali modelning impulsli g‘alayonga javob funksiyasining o‘lchamsiz dispersiyasi σ_θ^2 orasidagi aloqa tenglamasini olamiz:

$$N = \frac{1}{\sigma_\theta^2} \quad (2.342)$$

(2.342) ifoda - impulsli g‘alayonga javobning tajribaviy egri chiziqlari bo‘yicha yacheykali modelning N parametrini baholash uchun asosiydir. (2.342) va (2.204) ifodalarni solishtirib, diffuziyali va yacheykali modellar orasidagi bog‘lanishning quyidagi tenglamasini olamiz:

$$\frac{1}{N} = \frac{2}{Pe^2} (Pe - 1 + e^{-Pe}). \quad (2.343)$$

$Pe > 10$ da oxirgi bog‘lanishni soddalashtirish mumkin. Bu holda bog‘lanish tenglamasi quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$N \approx \frac{Pe}{2}. \quad (2.344)$$

Apparatda oqimlar strukturasi turli modellarini qo‘llashning orientirlangan sohalari

2.6-jadval

| № | Modelning nomi | Qo‘llash sohalari |
|----|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Ideal siqib chiqarish modeli | Uzunligining diametriga nisbati 20 dan katta bo‘lgan quvurli apparatlar |

| | | |
|----|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2. | Ideal aralashtirish modeli | Qaytaruvchi devorli jadal aralashtirish usullaridagi sferik taglisilindrik apparatlar; jadal barbotaj sharoitidagi diametr va bo'yi o'lchamlari yaqin bo'lgan barbotaj apparatlari |
| 3. | Yacheykali model | Aralashtirgichli reaktor kaskadlari; tarelkali kolonnalar; soxta suyultirilgan qatlamli apparatlar; nasadkali kolonnalar |
| 4. | Retsirkulatsionli model | Asosiy oqimining yo'nalishiga teskari tomonga moddani tashlovchi tarelkali, seksiyalangan nasadkali apparatlar (masalan, pulsatsiyali kolonna apparatlari) |
| 5. | Diffuziyalili model | Quvurli apparatlar; moddani o'q bo'yicha yoyuvchi nasadkali va nasadkasiz kolonna apparatlari |

O'z-o'zini tekshirish uchun nazorat savollari

1. Oqimlar strukturasi tadqiqot usullarini aytib o'ting
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'ting.
14. Tipik modellarga quyiladigan talablarni aytib o'ting.
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.

8-Mavzu: Optimallashtirish masalasining qo'yilishi. Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari

Reja:

- 3.1. Optimallashtirish masalasining qo'yilishi
- 3.2. Optimallashtiriladigan o'zgaruvchilarning tavsifi
- 3.3. Optimallashtirish usullarining tafsiflanishi
- 3.4. Optimallashtirishning tajribaviy - statistik usuli
- 3.5. Bir o'lchovli optimallashtirish usullari
- 3.6. Ko'p o'lchamli optimallashtirish usullari

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) $\bar{u}^{mux.et.}$ 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:

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

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

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:

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

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

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

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.

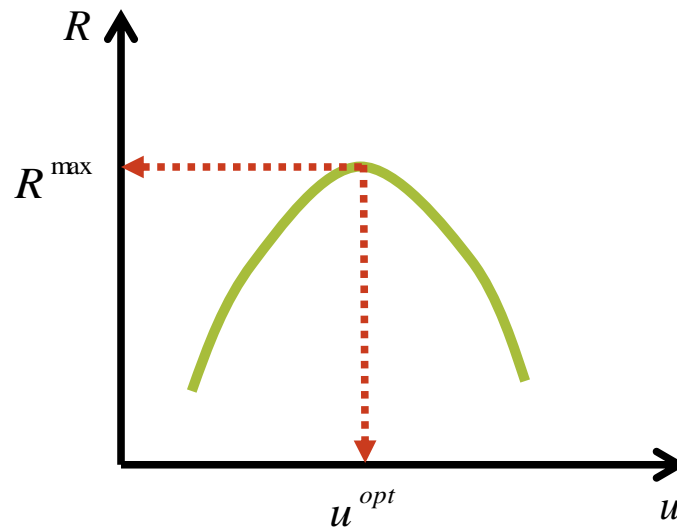
Matematik modellar ushbu holda funksional operatorli aks ettirish yordamida ifodalanadi:

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

\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.

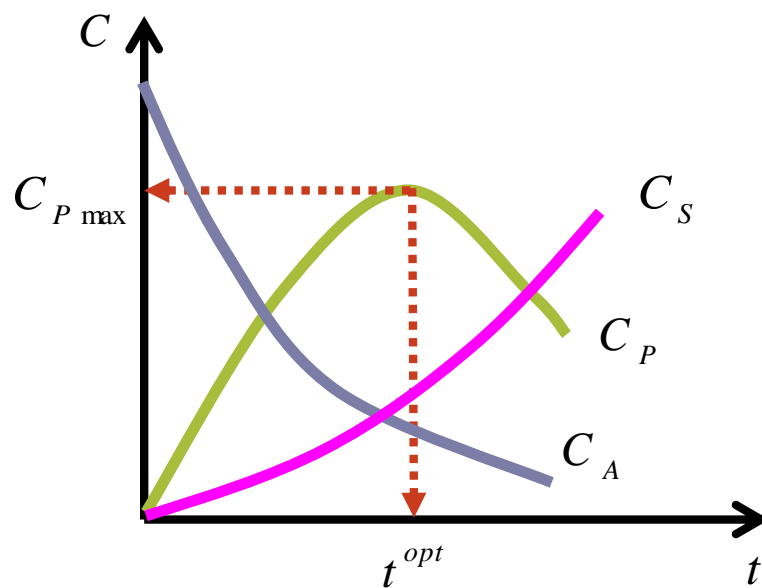
Masala: $R = R(u)$ funksiyani maksimumini aniqlash

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 xarakteru funktsii 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).

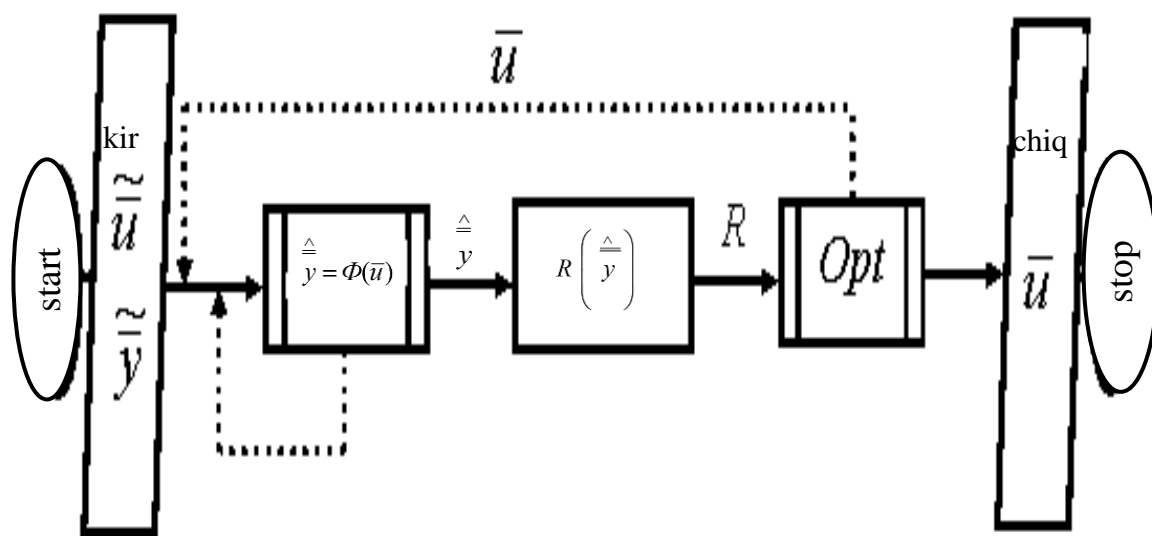
Pri *nalichii ogranicheniy* zadachi i metody nazyvayutsya *uslovnymi* (inache – s usloviyami). Dlya chislennogo resheniya zadach s *ogranicheniyami* ispolzuuytsya metody *matematischeskogo programmirovaniya*.

Dlya resheniya *bezuslovnix* zadach minimizatsii analiticheskim metodom ispolzuetsya klassicheskiy apparat, zaklyuchayushiy v priravnivaniy nulyu chastnyx proizvodnyx selevoy funktsii 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 funktsii 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 y (optimallik mezon) larning tajriba yo'li bilan aniqlanadigan qiymatlari ma'lum bo'ladi.

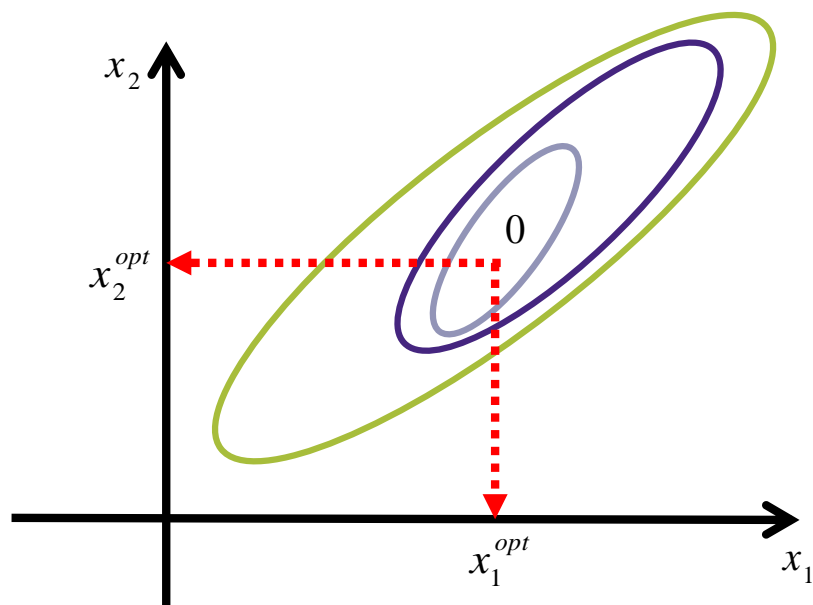
Optimallashtirish masalalarining ifodalanishi:

$$\begin{aligned} \text{opt } y(\bar{x}) \\ \bar{x} \in \bar{X}^{\text{mux}} \end{aligned}$$

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 ($\bar{y} = \text{const}$) 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'lovli 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.

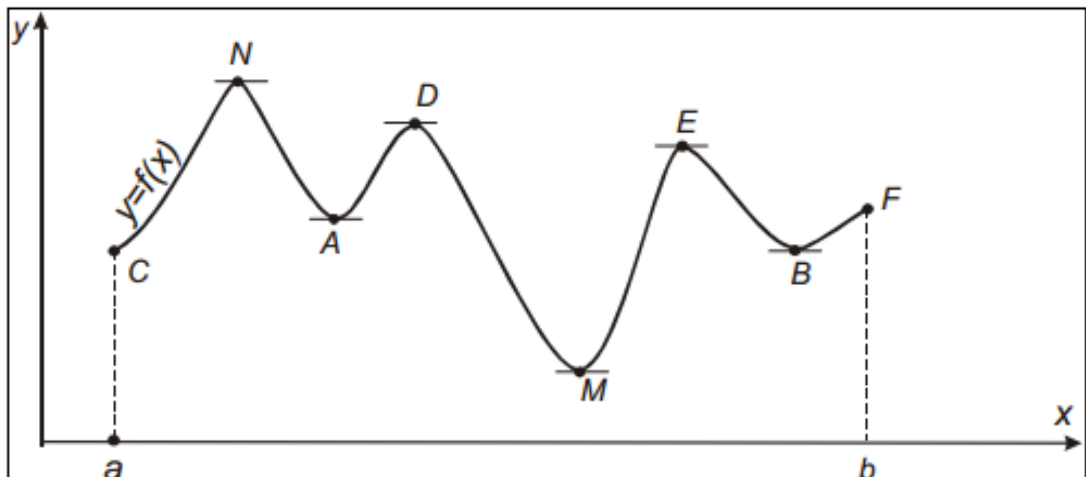
4.1 rasmda A va V nuqtalar - lokal optimumlar.

x^* nuqtadagi bir o'zgaruvchan optimumining zarur sharti

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

x^* nuqtadagi bir o'zgaruvchan optimumining etarli sharti

$$f'(x^*) = 0$$
$$f''(x^*) > 0 \quad (4.2)$$

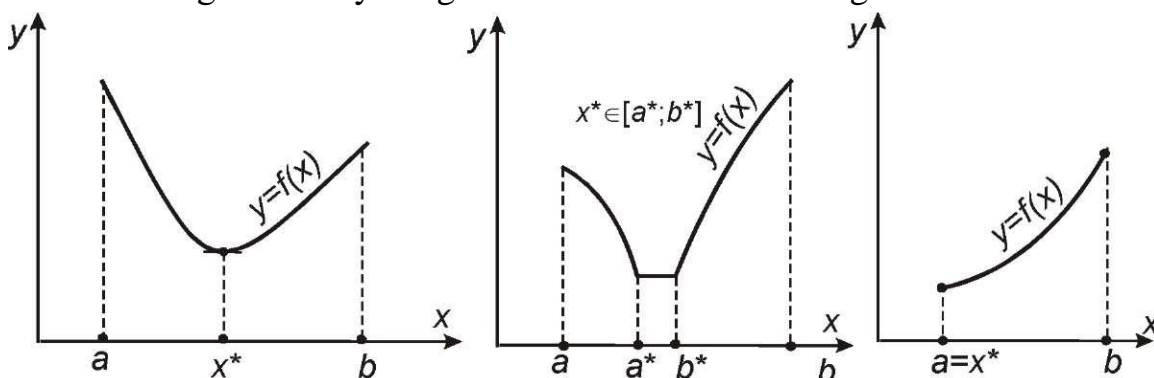


4.1 rasm. A va V nuqtalar - lokal optimumlar

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.



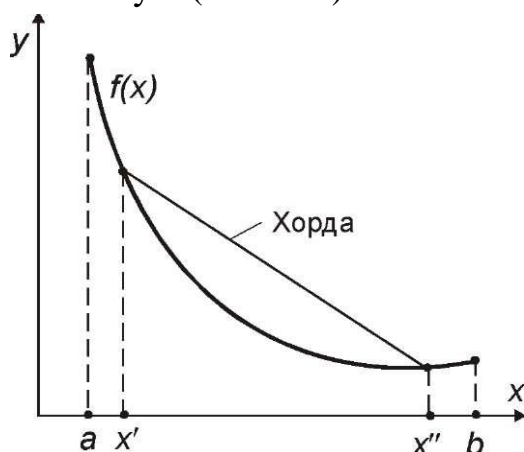
Rasm. 4.2. Unimodal funksiyalarning grafiklari

Qavariq funksiyalar

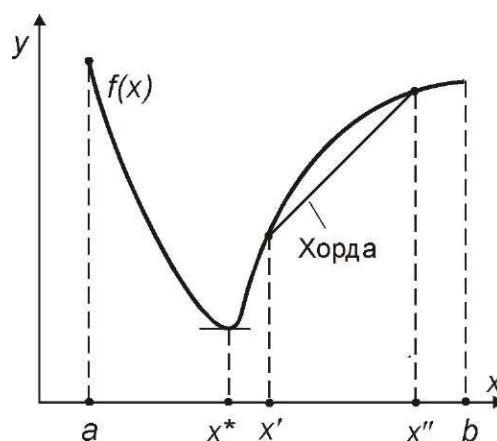
Barcha $x', x'' \in [a, b]$ va ixtiyoriy son $\mu \in [0;1]$ uchun quyidagi tengsizlik bajarilsa, $[a, b]$ kesmada berilgan funksiya $f(x)$ ushbu kesmada qavariq deb nomlanadi

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

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.

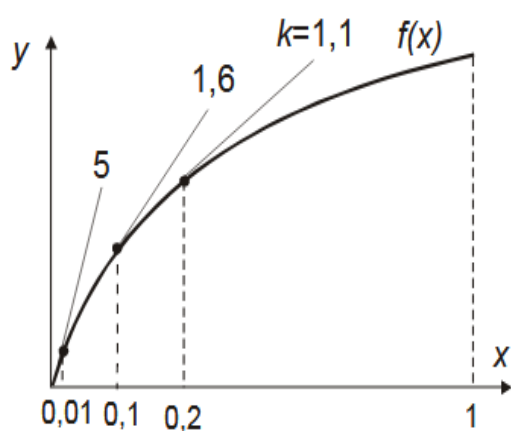
Uslovie (4.4) oznachaet, chto modul uglovogo koeffitsienta lyuboy xordy grafika ne prevosxodit L . Krome togo, esli v nekotroy tochke suщestvuet kasatelnaya k grafiku $f(x)$, to modul ee uglovogo koeffitsienta takje ne mojet prevyishat L . Tak, funksiya $f(x) = \sqrt{x}$ na otrezke $[0; 1]$ usloviyu Lipshitsa ne udovletvoryaet, potomu chto pri $x \rightarrow 0$ uglovoy koeffitsient kasatelnoy 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.

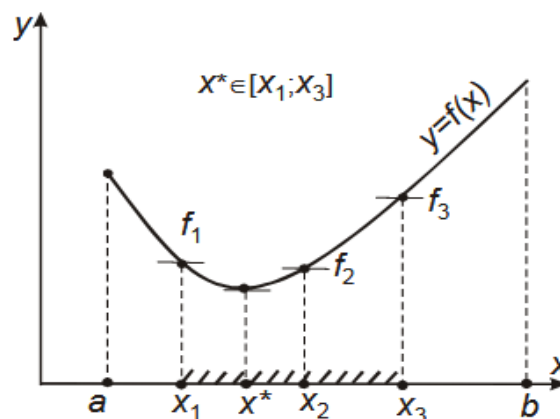
Raqamli usul yordamida (optimumni) **qidigish strategiyasi** – bu funkiya qiymatlari ketma-ket hisoblanadigan $[a, b]$ dagi nuqtalarni tanlash algoritmidir. Berilgan aniqlikda funksiyaning hisoblashning eng kam miqdorini talab qiladigan eng yaxshi strategiya deb xisoblanadi. Turli usullar turlicha strategiyaga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

Sonlarning “muvaqqiyatli” 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 $x_1 < x_2 < x_3$ “muvaqqiyatli” deb hisoblanadi (4.6 rasm). Uning “muvaqqiyatli” hisoblanishi bois ushbu nuqtalarni qamrab olgan kesma $[x_1, x_3]$, albatta optimal nuqtani ham o'z ichiga qamrab oladi!



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



4.6-rasm. (x_1, x_2, x_3) - sonlarning “muvaqqiyatli” uchligi

3.5.2. Bir o'ldamli 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

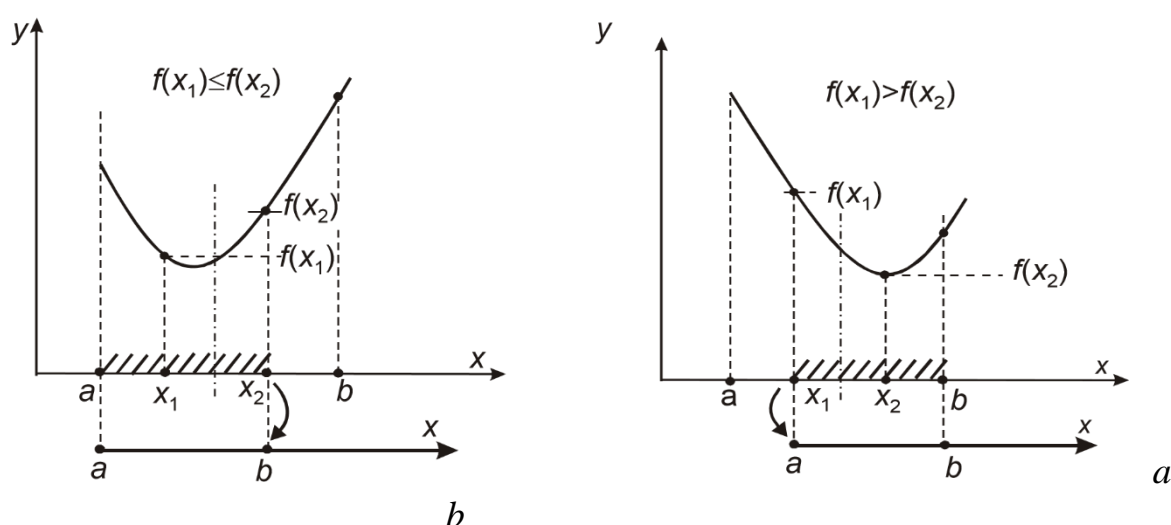
nuqtalarini “sinov” nuqtalari deb nomlaydilar. Ushbu nuqtalarda $f(x)$ qiymatlari aniqlanadi (4.7 rasm).

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'lmashligi 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 funktsiya **optimumining zarur sharti** quyidagicha ifodalanadi:

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

Ma'lum bir x^* da bir o'zgaruvchan funktsiya **optimumining etarli sharti**:

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

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

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. Funksiyaning 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 kotoroy $f(x_m) = \min f(x_i)$, $0 \leq i \leq n$;
- 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 δ – 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.

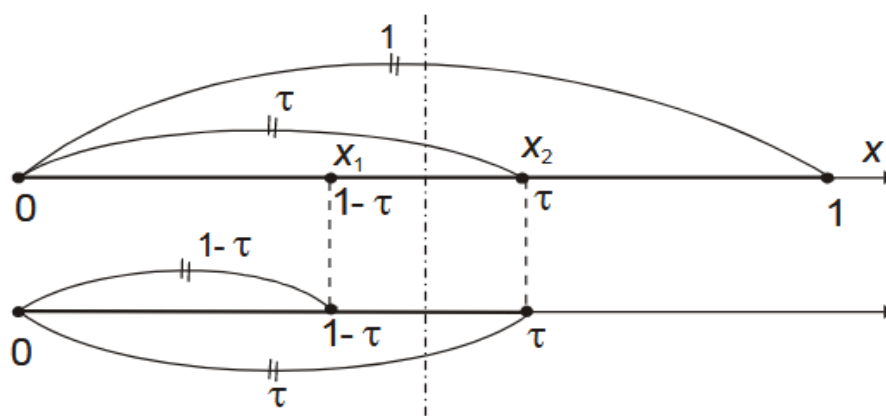
$[0;1]$ kesmani ko‘rib chiqamiz (4.8 rasm.). Pust x_2 nuqtasi uni ma’lum bir son τ ga nisbatan bo‘lsin, ya’ni $x_2 = \tau$, unda unga simmetrik joylashgan nuqta $x_1 = 1 - \tau$. $a = 0$; $b = 1$ hamda x_1 i x_2 qiymatlarni (4.7) ga quyamiz:

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

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

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:

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

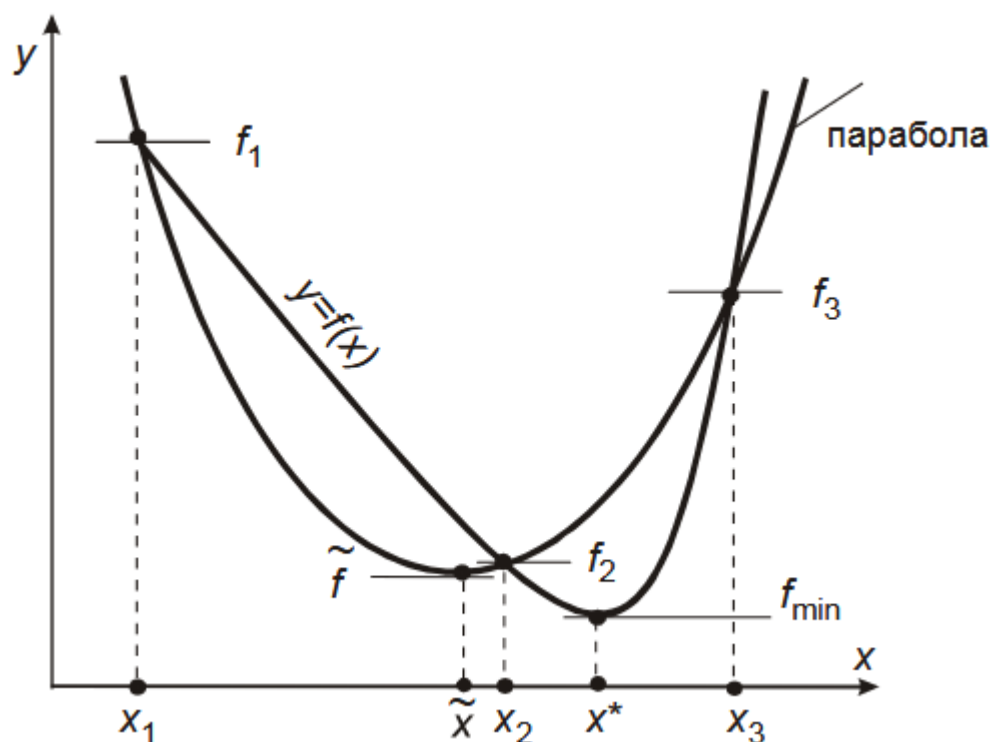


4.8. rasm-.- x_1 va x_2 nuqtalar bilan birlik kesmaning «oltin» kesimi

3.5.8. Parabolalar usuli

Polinomial approksimatsiyalash usulidir. Polinomial approksimatsiyalash 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 *silliqlik* (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 grafigi (parbolasi) 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

Parabollalar 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) $\tilde{f} < f_2$ 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.

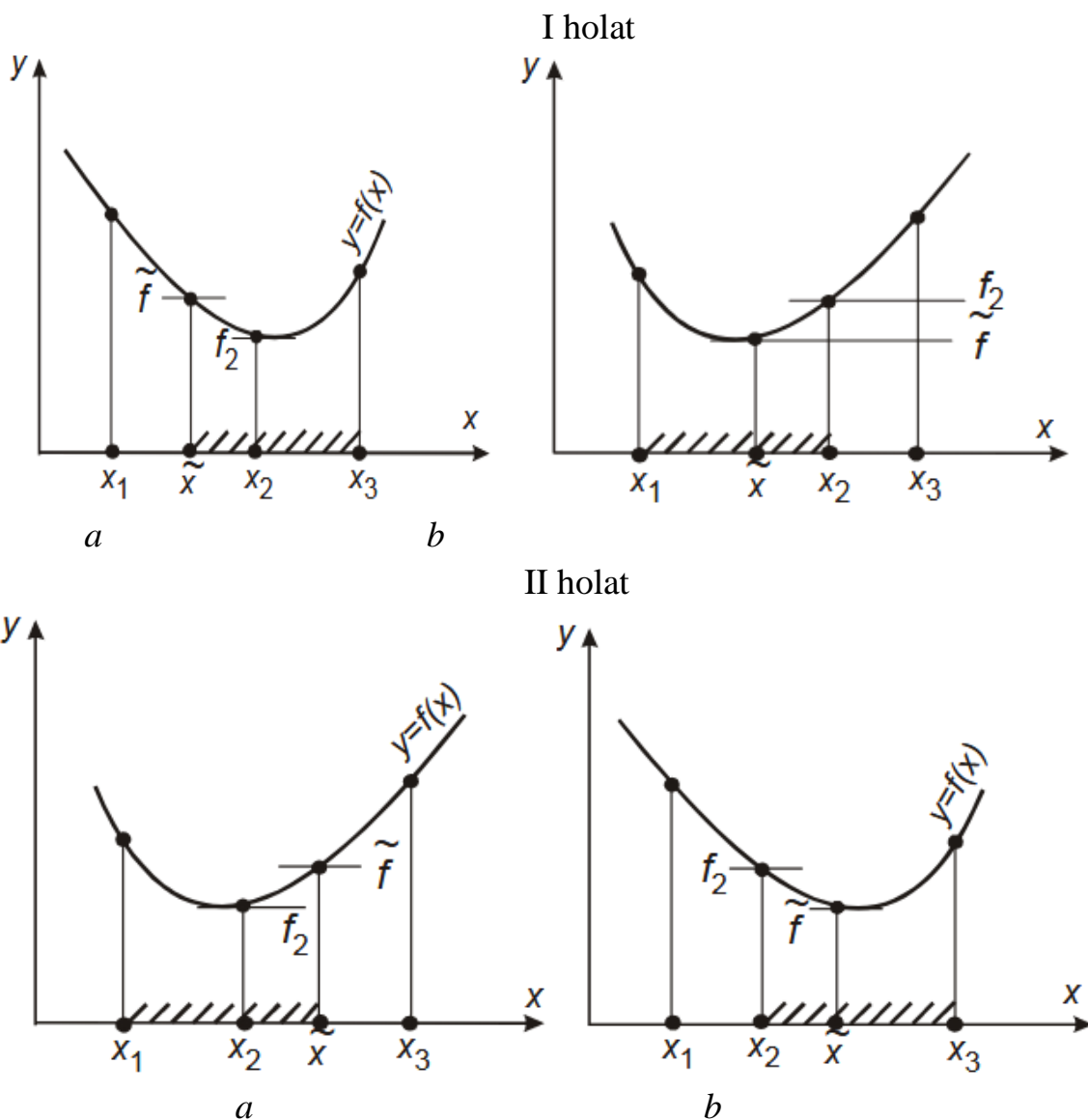
Quyidagi ayirmaning nolga yaqinligi qidiruvning yakunini belgilaydi

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

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

$$\Delta \leq \varepsilon ,$$

bu erda ε – hisoblash hatoligi.



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

3.6. KO‘P O‘LCHAMLI OPTIMALLASHTIRISH USULLARI

3.6.1. Ko‘p o‘lchamli optimallashtirishning raqamli usullarining sinflanishi

Texnik optimallashtirish usullari optimallashtirish parametrlariga cheklashlari mavjud shuning uchun shartli optimallashtirish usullaridan foydalanishni talab qiladilar. SHartsiz optimallashtirish usullariga bo‘lgane’tibor esa quyidagi sabablar bilan izohlanadi:

- shartli optimallashtirish algoritmlari ko‘plab holatlarda cheklovsiz optimallashtirish algoritmlari asosida quriladi;
- chekli optimallashtirish masalalari ko‘pincha ularni cheksiz oatimallashtirish masalalariga olib kelish yo‘li bilan echiladi.

Funksiya ko‘rinishiga ko‘ra ko‘p o‘lchamli shartsiz optimallashtirishning raqamli usullari ikki katta guruhga bo‘linadi:

- silliq bo‘lmagan funksiyalar uchun usullar («noaniq» qidiruv usullari);
- silliq funksiyalar uchun usullar (*tushish* usullari).

Faqat funksiya qiymatlaridan foydalanib va ularni differentsiallanishini talab etmaydigan usullar *bevosita* yoki *nolinchi darajali* usullar deb nomlanadi.

Birinchi darajali usullar birinchi hosilani, *ikkinchi va yuqori darajali* usullar esa ikkinchi va yuqori darajali hosilalarni echish talab etadilar.

Silliq bo‘lmagan funksiyalar uchun faqat bevosita usullardan foydalaniladi, ularning asosiylari quyidagicha:

- *saralash* usuli;
- *ko‘pyoqlik* usuli;
- *tasodifiy qidirish* usuli.

Bevosita usullar barcha optimallashtiriladigan funksiyalar uchun qo‘llash mumkin (bu ularning *afzalligi* (!)), ammo ularni boshqa turdagi usulni qo‘llab bo‘lmagan holatlarda qo‘llanishi mumkin.

Bevosita usullarning *kamchiliklari*:

- samaradorligi past;
- juda shubhali, ba’zi holatlarda esa hatto tutashishning kafolarining yo‘qligi.

Tushish usuli:

- *koordinatali tushish* usuli (*nolinchi darajali usuli*);
- *gradientli usullar guruhi* (*birinchi darajali usullar*: *gradientli*, *eng tez tushish usuli*, *biriktirilgan yo‘nalishlar usuli* va *boshqalar*);
- *ikkinchi darajali usullar guruxi* (*Nyuton usuli*; *o‘zgaruvchan metrika usuli* va *boshqalar*).

3.6.2. Ko‘plab o‘zgaruvchanlar funksiyasini differentsiallash

Ma’lum nuqta $X \in E^n$ dagi ko‘plab o‘zgaruvchanlar funksiya $F(X)$ ***gradienti*** – bu koordinatalari ushbu nuqtadagi funksiyaning ayrim hosilalari bo‘lgan vektordir, ya’ni:

$$\text{Grad} F(x) = \nabla F(X) = F'(X) = \left(\frac{\partial F(X)}{\partial x_1}, \frac{\partial F(X)}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial F(X)}{\partial x_n} \right) \quad (4.8)$$

X nuqtasining kichik tevaragida gradient funksiyaning *eng keskor o‘sishi yo‘nalishini* ko‘rsatadi, uning normasi esa ushbu o‘sishning *tezligini* tasvirlaydi. Vektor-antigradient funksiyaning *eng keskor pasayishi yo‘nalishini* ko‘rsatadi.

Maqsadli funksiya $F(X)$ ning har bir nuqtasida *vektor-antigradienti ushbu nuqtadagi daraja chizig‘i* $F(X)=\text{const}$ ga *perpendikulyardir* (4.11-rasm).

Vektor-gradientning *normasi*

$$\|\nabla F(X)\| = \sqrt{\left(\frac{\partial F(X)}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial F(X)}{\partial x_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F(X)}{\partial x_n} \right)^2} \quad (4.9)$$

Funksiya ekstremumi bo‘lmish $X^* (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ koordinatali nuqtada *vektor-gradient va uning barcha komponentlari nolga aylanadi* $F'(X^*) = (0; 0; \dots; 0)$.

Koordinatalari $(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$ bo‘lmish n -o‘lchovli fazodagi ma’lum bir X^0 nuqtadan ma’lum bir X^1 nuqtaga berilgan funksiya $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ vektor-gradient bo‘ylab

o'tishida yangi nuqta koordinatalarini $(x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)$ quyidagi formula bo'yicha hisoblash mumkin:

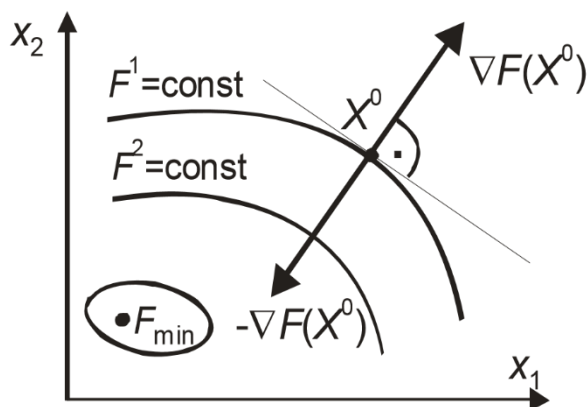
$$x_1^1 = x_1^0 + \frac{\partial F(x^0)}{\partial x_1};$$

$$x_2^1 = x_2^0 + \frac{\partial F(x^0)}{\partial x_2};$$

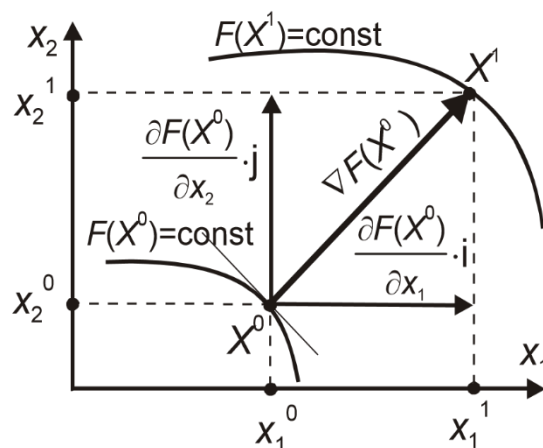
...

$$x_n^1 = x_n^0 + \frac{\partial F(x^0)}{\partial x_n};$$

Ikki o'zgaruvchan funksiyasi $X^0(x_1^0; x_2^0)$ nuqtadan $X^1(x_1^1; x_2^1)$ nuqtaga gradient bo'yicha o'tishining grafik ko'rinishi 4.12-rasmda keltirilgan.



4.11-rasm. Ma'lum nuqtada ikki o'zgaruvchan funksiyasi gradienti va antigradientining grafik ko'rinishi



4.12-rasm. $X^0(x_1^0; x_2^0)$ nuqtadan $X^1(x_1^1; x_2^1)$ nuqtaga gradient bo'yicha o'tishining grafik ko'rinishi

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

$$\nabla F(1;1;1) = (2 \cdot 1 - 1 + 3; 6 \cdot 1 - 1 + 5 \cdot 1 - 1; -8 \cdot 1 + 5 \cdot 1) = (4; 9; -3).$$

Birinchi differensial

X^0 nuqtadagi ko'plab o'zgaruvchanlar funksiyasining birinchi differensial qiyidagiga teng

$$dF(X^0) = \sum_{j=1}^n \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_j} \cdot \Delta x_j \quad (4.13)$$

bu erda Δx_j – ma'lum bir nuqta X_0 dan kichik kattalik $\Delta X(\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n)$ ga o'tishidagi alohida koordinataning orttirmasi.

Vektor shaklidagi X^0 nuqtadagi ko'plab o'zgaruvchanlar funksiyasining birinchi differensial ushbu nuqtadagi vektor-gradient $\nabla F(X^0)$ va orttirmalar vektori ΔX ning skalyar ko'paytmasi sifatida ifodalanadi:

$$dF(X^0) = (\nabla F(X^0), \Delta X). \quad (4.14)$$

Ikkinchi differensial

X^0 nuqtadagi ko'plab o'zgaruvchanlar funksiyasining ikkinchi differensial qiyidagicha

$$d^2 F(X^0) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 F(X^0)}{\partial x_i \partial x_j} \cdot \Delta x_i \cdot \Delta x_j \quad (4.15)$$

yoki vektor shaklda

$$d^2 F(X^0) = (H(X^0) \cdot \Delta X, \Delta X). \quad (4.16)$$

Funksiyaning orttirmasi

– birinchi differensial orqali

$$\Delta F(X^0) = dF(X^0) + O(|\Delta X|), \quad (4.17)$$

bu erda $O(|X|)$ – qoldiq hatolik,

yoki

$$\Delta F(X^0) \approx dF(X^0) = (\nabla F(X^0), \Delta X); \quad (4.18)$$

– birinchi va ikkinchi differensiallar orqali

$$\Delta F(X^0) = dF(X^0) + \frac{1}{2} d^2 F(X^0) + O(|\Delta X|^2), \quad (4.19)$$

bu erda $O(|\Delta X^2|)$ – nisbatan kichik darajali qoldiq hatolik.

Ayrim hosilalarni aniqlash

1. *Analitik usul.* Matematikada ma'lum bo'lgan qoidalar asosida ayrim hosilalar analitik ifodalar ko'rinishida aniqlanadilar.

2. *Raqamli usul (raqamli differentsiallashtirish).* Hosilalar tegishli ayirmalar orqali aniqlanadilar:

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} \approx \frac{F(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_i + \Delta x_i, x_{i+1}, \dots, x_n) - F(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, \dots, x_n)}{\Delta x_i}$$

Raqamli differensiallashda quyidagi qarama qarshi jihatlarni mnobatga olish kerak:

- bir tomondan, Δx_i qanchalar kichik bo'lsa ($\Delta x_i \rightarrow 0$), ayrim hosilaning yaqinlashgan qiymati uning aniq qiymatiga shu qadar yaqindir;
- ikkinchi tomondan, Δx_i hohlagancha kichik bo'lishi mumkin emas, chunki bu holatda hisoblash hatoligi oshib boradi.

Bug' turbinali qurilmalarning termodinamik parametrlarini tanlash bilan bog'liq masalalarda differensiallashning nisbiy qadamini quyidagicha olish maqsadga muvofiq

$$\frac{\Delta x_i}{x_i} \approx (0,0001 \div 0,005).$$

Normalangan vektor-gradient

Vektorning har bir komponentini uning normasiga bo'linishi vektorni normallashtiradi, ya'ni

$$\nabla_{F_n}(X) = \frac{\nabla F(X)}{\|\nabla F\|} = \frac{\left(\frac{\partial F(X)}{\partial x_1}, \frac{\partial F(X)}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial F(X)}{\partial x_n} \right)}{\sqrt{\left(\frac{\partial F(X)}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial F(X)}{\partial x_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F(X)}{\partial x_n} \right)^2}}$$

3.6.3. Ko'plab o'zgaruvchanlar funksiyasini optimallashtirishning klassik usuli

X nuqtada ko'plab o'zgaruvchanlar funksiyasini optimallashtirishning zarur va etarli shartlari

Optimum mavjudligining zaruriy sharti

1. \bar{X} nuqtada gradient nolga teng, ya'ni

$$\|\nabla F(\bar{X})\| = 0,$$

yoki $\frac{\partial F(\bar{X})}{\partial x_1} = 0; \quad \frac{\partial F(\bar{X})}{\partial x_2} = 0; \dots; \quad \frac{\partial F(\bar{X})}{\partial x_n} = 0$

2. Funksiya $F(\bar{X})$ ning Gesse matritsasi manfiy emas (musbat yarimaniqlangan): $H(\bar{X}) \geq 0$.

Optimum mavjudligining etarli sharti

1. Gradient nolga teng: $\|\nabla F(\bar{X})\| = 0$.

2. Gesse matritsasi musbat aniqlangan: $H(\bar{X}) > 0$.

Klassik usul algoritmi

1. Hamma o'zgaruvchan bo'yicha ketma ket funksiya $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ning ayrim hosilalarini aniqlab ularni nolga tenglashtiramiz

$$\begin{cases} \frac{\partial F(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_1} = 0; \\ \frac{\partial F(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_2} = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_n} = 0. \end{cases}$$

2. Ildizlari *statsionar* nuqtalar bo'lmish hosil bo'lgan tenglamalar sistemasini echamiz.

Optimallashtirilaetgan funksiyaning statsionar nuqtalarida Gesse matritsasini $H(X)$ aniqlaymiz. Agar $H(X) > 0$ bo'lsa, demak o'rganayotgan nuqta funksiyaning minimumiga mos keladi.

4.6.4. Tushish usullarining nazariy asoslari

Ko'p o'lchamli optimallashtirish usullarini tahlil qilish va taqqoslashdagi kvadratik funksiyalarning o'rni

Kvadratik funksiyalar va ularning hususiyatlari ko'p o'lchamli optimallashtirish nazariyasida muhim ahamiyatga ega. Bu quyidagi sabablar bilan izohlanadi:

1) usul kvadratik funksiyalar uchun yaroqsiz bo'lsa, yanada murakkab strukturali funksiyalar uchun uning qo'llanish imkoni juda past;

2) optimal nuqta X^* ning nisbatan kichik doirasida Gesse matritsasi musban aniqlangan har qanday kvadratik bo'lmagan silliq funksiyaning kvadratik funksiya bilan approksimatsiyalash mumkin. n o'zgaruvchanlarning *kvadratik funksiyasining* umumiy ko'rinishi quyidagicha

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{j=1}^n b_j \cdot x_j + C. \quad (4.20)$$

$a_{ij} = a_{ji}$ qabul qilib, simmetrik matritsa $A = (a_{ij})$ ga ega bo'lamiz, uning yordamida esa ifoda (4.46) ni matritsa shaklida yozish mumkin

$$F(X) = \frac{1}{2} \cdot (A \cdot X, X) + (B, X) + C, \quad (4.21)$$

bu erda $B = (b_j), j=1, 2, \dots, n$.

Misol 1. Quyidagi funksiyaning 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

$$F(X) = \frac{1}{2} \cdot \left(\begin{pmatrix} 4 & -2 & 3 \\ -2 & 1 \cdot 2 & -5 \\ 3 & -5 & 8 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \right) + (7 - 8 \ 9) \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + 10.$$

Qavariq funksiyalar

Har qanday nuqtalar $X^1, X^2 \in D$ va har qanday skalyar $\mu \in [0,1]$ uchu quyidagi tengsizlik bajarilganida qavariq ko‘plik $D \subset E^n$ da berilgan funksiya $F(X)$ *qavariq* deb nomlanadi

$$F(\mu \cdot X^1 + (1-\mu) \cdot X^2) \leq \mu \cdot F(X^1) + (1-\mu) \cdot F(X^2). \quad (4.22)$$

Qavariq funksiyasi uchun uning har qanday lokal minimumi bir vaqtning o‘zida global deb ham nomlanadi.

Funksiya $F(X)$ ning qat’iy qavariqligining etarli sharti bu uning Gesse matritsasi $H(X)$ ning *musbat aniqligidir*, *qattiq* qavariqligining esa – matritsa $H(X) - L \cdot E$ ning *musbat aniqligidir*, bu erda E – birlik matritsasi, $L > 0$.

Hususiy qiymatlar va hususiy vektorlar

$A \cdot U = \lambda \cdot U$ bo‘lgan nol bo‘lmagan vektor U kvadrat matritsa A ning *hususiy vektori* deb nomlanadi, λ soni esa – unga tegishli ushbu matritsaning *hususiy qiymati* deb nomlanadi.

Hususiy qiymatlar xarakteristik tenglamadan topiladi

$$\det(A - \lambda \cdot E) = 0,$$

bu erda E – birlik matritsasi (asosiy diagonalida – birlar, boshqa hamma qiymatlar nolga teng).

λ_i – matritsa A ning hususiy soni bo‘lsa, nolga teng bo‘lmagan quyidagi chiziqli tenglamalar sistemasining echimi unga tegishli hususiy vektorni beradi

$$(A - \lambda_i \cdot E) \cdot U = 0.$$

3.6.5. Tushish usullarining modelli sxemsi

X^k – qidirilayotgan minimum nuqtasiga X^* joriy yaqinlashuvi bo‘lsin (4.13-rasm).

1 qadam. Algoritm to‘htashi sharti bajarishining tekshirilishi.

SHart bajarilsa, quyidagilar mavjud deb qabul qilib, hisob kitoblar to‘xtatiladi

$$X^* = X^k; \quad F_{\min} = F(X^k).$$

2 qadam. Qidiruv yo‘nalishini hisoblash.

Keyingi nuqtani joylashtirish uchun yo‘nalish tanlash, ya’ni yo‘nalish deb nomlangan n -o‘lchovli vektor d^k ni hisoblash.

3 qadam. Qadam uzunligini hisoblash.

X^k dan X^{k+1} ga o‘tishda funksiyaning kamayishini ta’minlaydigan musbat sonni (qadam uzunligini) hisoblash

$$F(X^{k+1}) < F(X^k).$$

Iterationsion formula

$$X^{k+1} = X^k - h^k \cdot d^k.$$

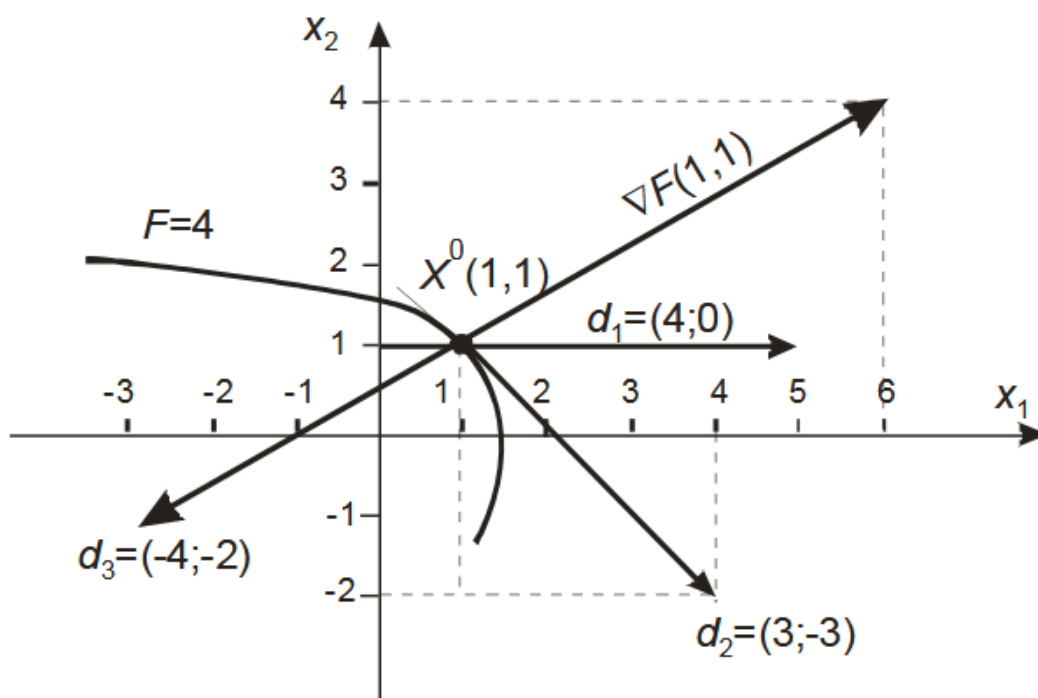
4 qadam. Echim bahosini qayta hisoblash:

$$X^k = X^{k+1};$$

$$F(X^k) = F(X^{k+1});$$

$$k = k + 1.$$

1 qadamga qaytish.



4.13-rasm. $X^0(1,1)$ nuqtaga $F = 2x_1^2 + x_2^2 + x_1 \cdot x_2$ funksiyaning maqbul yo‘nalishlari

Izoh. Algoritmni to‘htatish sharti sifatida quyidagilarni qabul qilish mumkin:

- 1) $\rho(X^{k+1}, X^k) \leq \varepsilon_\rho$, bu erda ρ X^k va X^{k+1} nuqtalar orasidagi masofa;
- 2) $|F(X^{k+1}) - F(X^k)| \leq \varepsilon_F$;
- 3) $\|\nabla F(X^k)\| \leq \varepsilon_{\nabla F}$.

Bu erda ε_p , ε_F , $\varepsilon_{\nabla F}$ – nuqtalar, funksiyalar qiymatlari va gradient normalari orasidagi masofani hisoblashda avvaldan berilgan hatoliklar.

3.6.6. Tushish usullarining tutashishi sharti

1. F funksiyasi ikki marotaba uzluksiz differensiallanadi.
2. Har bir iteratsiyada funksiya «sezilarli» kamayadi.

Qadamning h^k noto‘g‘ri tanlovi $\Delta F = F^{k+1} - F^k$ iteratsiyalar bo‘yicha funksiya kamayishining qiymatlari haddan tashqari tez nolga yaqinlashadi ($\Delta F \rightarrow 0$), ya‘ni funksiyaning sezilarli kamayishi bo‘lmaydi.

3. Barcha k (iteratsiya raqami)larda tushish yo‘nalishi d^k va gradient $\nabla F(X^k)$ o‘rtasidagi burchak ϕ to‘g‘ri burchakdan fiksatsiyalangan nolga teng bo‘lmagan kattalik $\Delta\phi$ dan kam bo‘lmagan kattalikga farq qiladi. d^k va $\nabla F(X^k)$ ortogonal ($\phi = 90^\circ$) bo‘lganlarida hisoblash usuli ular bo‘ylab $F^k = \text{const}$ vektorlarni beradi.

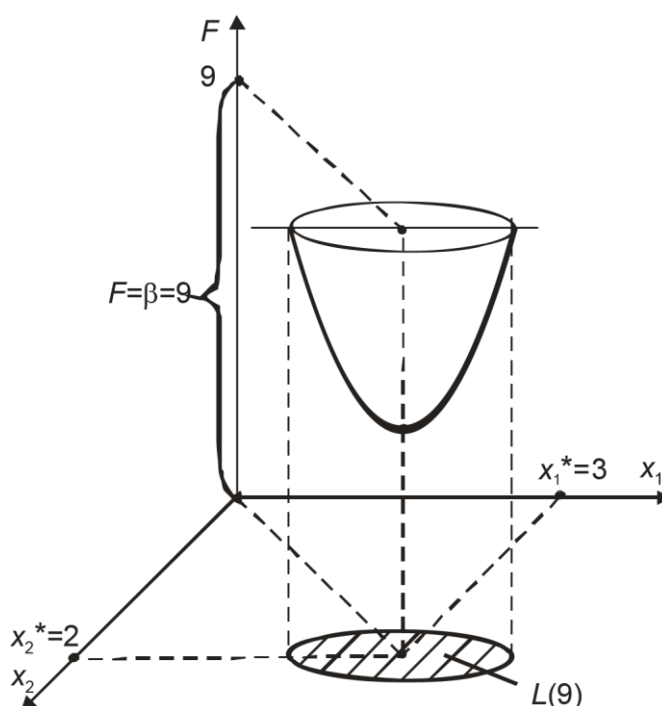
4. Sath ko‘pligi $L(F(X^0))$ berk va chegaralangan (X^0 – tushishning boshlang‘ich nuqtasi).

Izoh.

Berilgan funksiya $F(X)$ va son β uchun sath ko‘pligi $L(\beta)$ deb quyidagi tengsizligi bajariladigan barcha X nuqtalar yig‘indisi nomlanadi

$$F(X) \leq \beta.$$

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).

3.6.7. Tushish usullari

Tushish usullari – bu ko'plab o'zgaruvchanlar funksiyasining shartsiz minimumini qidirishga yo'naltirilgan usullar.

Tushish usullari quyidagi shart bajariladigan nuqtalar ketma ketligini $X^0, X^1, \dots, X^k, \dots$ qurishdan iborat

$$F(X^0) > F(X^1) > \dots > F(X^k) > \dots \quad (4.23)$$

Ular funksiya differentsiallashtirishini talab qiladilar, bu esa X^k nuqtalarining kichik atrofida funksiyaning harakati to'g'risida ma'lumot beradi va minimum nuqtasini yo'naltirilgan qidiruvini amalga oshirish imkonini beradi.

3.6.7.1. Gradient usuli

Gradient usulning mohiyati: *qidiruvning har bir nuqtasida vektor-gradient aniqlanadi va bu (maksimum qidirilganda) yoki teskari (minimum qidirilganida) yo'nalishda qadam quyiladi.*

Keyingida faqat maqsadli funksiyaning minimumi va uning antigradienti to'g'risida gap ketadi. Gradient usuli yordamida maqsadli funksiyaning minimumini qidirish ketma ketligi tushishning modeli sxemasiga to'liq to'g'ri keladi, unga muvofiq ko'rib chiqilayotgan usul bo'yicha har bir iteratsiyasida ikki masala echiladi.

1 masala. Tushishning yo'nalishini aniqlash

Bu maqsadda boshlang'ich nuqta X^0 da optimallashtirilayotgan funksiyaning hususiy hosilalari hisoblanadi:

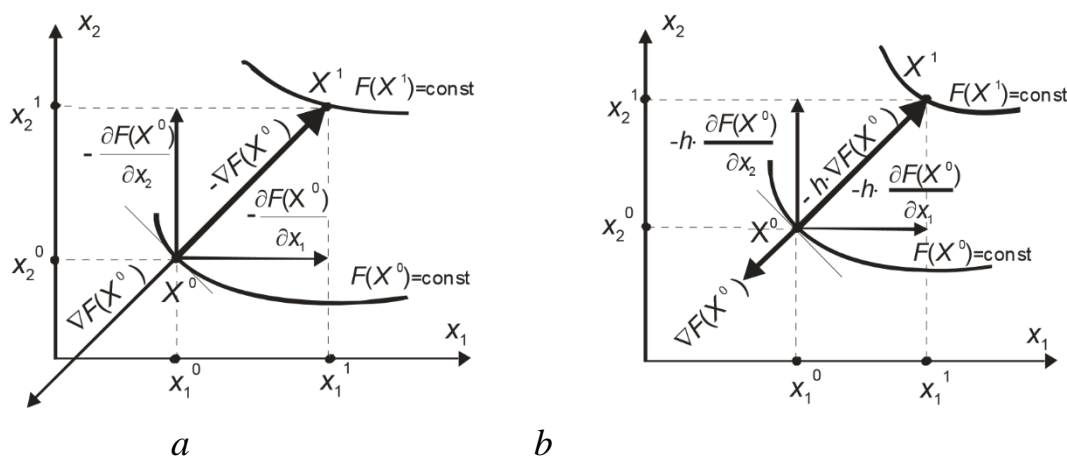
$$\frac{\partial F(X^0)}{\partial x_1}, \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_n}. \quad (4.24)$$

x_1, x_2, \dots, x_n bo'yicha hususiy hosilalarning absolyut qiymatlari – bu tegishli Ox_1, Ox_2, \dots, Ox_n koordinatalar o'qlari bo'ylab o'zgarishga mos bo'laklaridir. Hosilaning belgisi o'zgarishning yo'nalishini belgilaydi.

Funksiya F antigradienti bo'ylar koordinatalari $(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$ bo'lgan X^0 berilgan nuqtadan ma'lum nuqtaga X^1 tushishida uning koordinatalari $(x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)$ quyidagicha aniqlanadi:

$$x_1^1 = x_1^0 - \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_1}; \quad x_2^1 = x_2^0 - \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_2}; \quad \dots; \quad x_n^1 = x_n^0 - \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_n}. \quad (4.25)$$

Ikki o'zgaruvchan funksiyasi $F(x_1; x_2)$ uchun X^0 nuqtadan X^1 nuqtaga antigradientning to'liq uzunligiga o'tishi 4.5, a- rasmda ko'rsatilgan.



4.15- rasm. $X^0(x_1^0, x_2^0)$ nuqtadan $X^1(x_1^1, x_2^1)$ nuqtaga antigradient bo'ylab vektorning to'liq uzunligiga bo'yicha (a) va ma'lum bir qadam $h > 1$ (b) bilan o'tishi

2 masala. Tushish yo'nalishida qadam tanlash

Antigradient bo'ylab vektorning to'liq uzunligig bo'ylab o'tishi optimallashtirish jarayonining tutashishmasligiga olib kelishi mumkin. Tushishning so'ngi nuqtasidagi funksiya qiymati har bir iteratsiyada uning dastlabki nuqtadagi qiymatidan oshmasligi uchun qadamni antigradient yo'nalishida o'zgartirish maqsadga muvofiq, ya'ni vektorning to'liq uzunligiga o'zgartirmasdan, $h \cdot \nabla F$ kattaligiga o'zgartirish, bu erda h – qiymati masalaning tabiati va antigradient yo'nalishida qadam qilinayotgan nuqtaning koordinatalari qiymatlariga bog'liq bo'lgan ma'lum bir musbat son. O'zining mohiyati bo'yicha h – masshtabli ko'ypaytma, ammo qabul qilingan terminlarga ko'ra uni **qadam uzunligi**, yoki shuncha ki **qadam** deb nomlaymiz.

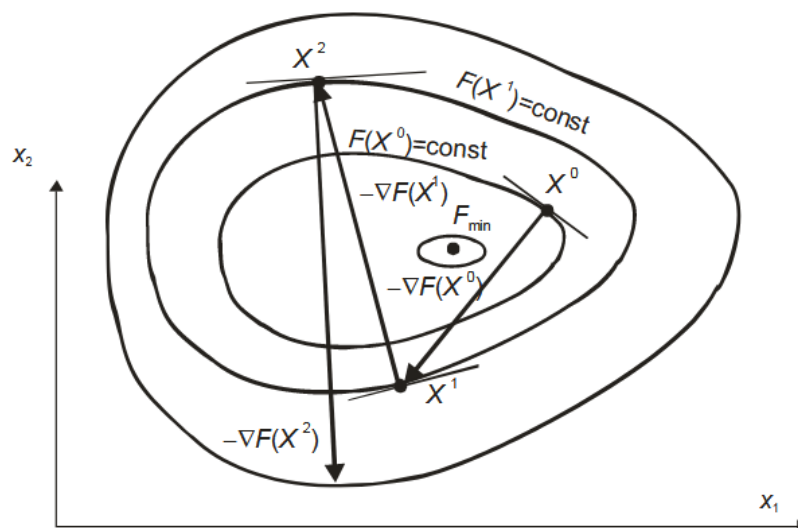
Har bir iteratsiyada qadam uzunligining h^k tanlovi gradientli tushishning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga o'tishida minimumini ta'minlashi kerak

$$F(X^{k+1}) < F(X^k).$$

Qadam uzunligini tanlashda quyidagi qarama qarshi jihatlarini inobatga olish kerak:

1) qadamni h etarli darajada kichik qilib olinganda harakat deyarli antigradient chizig'i bo'ylab kechadi (yaxshi!), ammo bunda iteratsion jarayonning juda sekin tutashishi vujudga keladi (yomon!);

2) h – katta bo'lsa, jarayonning tutashishini ta'minlay olmaslik xavfi vujudga keladi, bu grafik ko'rinishda yuqorida keltirilgan (4.16- rasm).



4.16- rasm. Qadamni muvaffaqiyatsiz tanlovidagi tutashmaydigan iteratsion jarayon

Tushish qadamini h tanlash mezonini

SHunday qadamlar bilan harakatlanish kerak ki maqsadli funksiyaning minimumiga iteratsiyalarning eng kichik sonida erishish kerak!

Ma'lum masala uchun qadam h ni saralash bilan qabul qilinadi, yoki buning ilojisi bo'lmasa tushishning har bir qadamida uning maksimal qiymati keyingi bo'lish bilan to'ki ushbu yo'nalishda funksiyaning kamayishiga erishmaguncha aniqlanadi. Tanlangan qadam h antigradient yo'nalishida $X^0(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$ nuqtadan koordinatalari aniqlanadigan $X^1(x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)$ nuqtaga o'tish imkonini beradi:

$$x_1^1 = x_1^0 - h \cdot \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_1}; \quad x_2^1 = x_2^0 - h \cdot \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_2}; \quad \dots \quad x_n^1 = x_n^0 - h \cdot \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_n};$$

3.6.7.2. Eng tez tushish usuli

Tushishning har bir bosqichida funksiya $F(X)$ ning vektor-gradianti $\nabla F(X)$ aniqlanadi va antigradient yo'nalishida ushbu yo'nalishda maqsadli funksiya minimal qiymatga ega bo'lga nuqttagacha harakatlaniladi. Topilgan nuqtada yana gradient aniqlanadi va yangi antigradient yo'nalishida yangi yo'nalishda minimum nuqtasigacha bo'lgan to'g'ri chiziq bo'yicha harakat amalga oshiriladi.

SHunday qilib, eng tez tushish usulining har qadamida ma'lum nuqtadan X^k h bo'yicha maqsadli funksiyaning **bir o'lchovli minimallashtirish masalasi** echiladi:

$$\phi(h) = F(X^k - h \cdot \nabla F(X^k)) \rightarrow \min$$

h o'zgartirish natijasida ushbu yo'nalishdv optimal qadam h^* aniqlanadi.

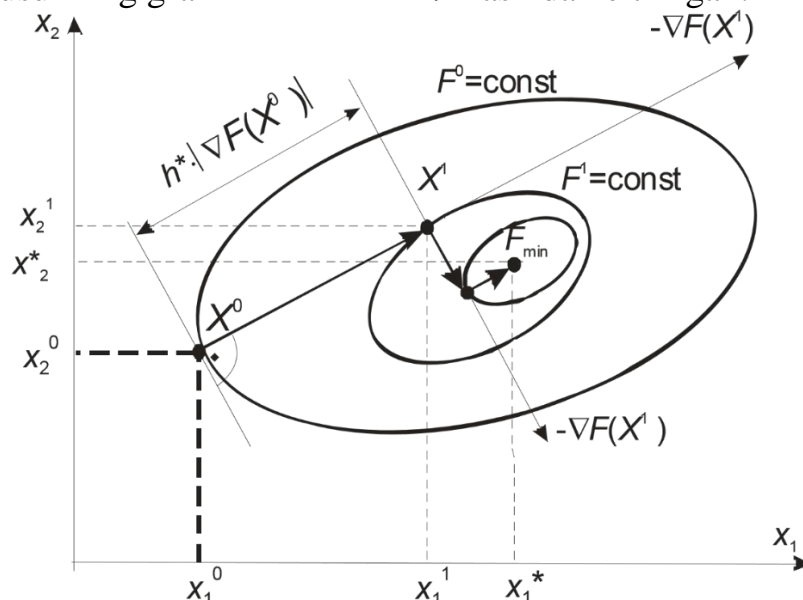
h ning optimaldan h^* birinchi yoki ikkinchi tomonga og'ishida (masalan, Δh qiymatga) vektor-antigradient $-\nabla F(X^k)$ yo'nalishida maqsadli funksiyaning qiymati oshadi:

$$F(X^j) > F(X^k - h^* \cdot \nabla F(X^k)),$$

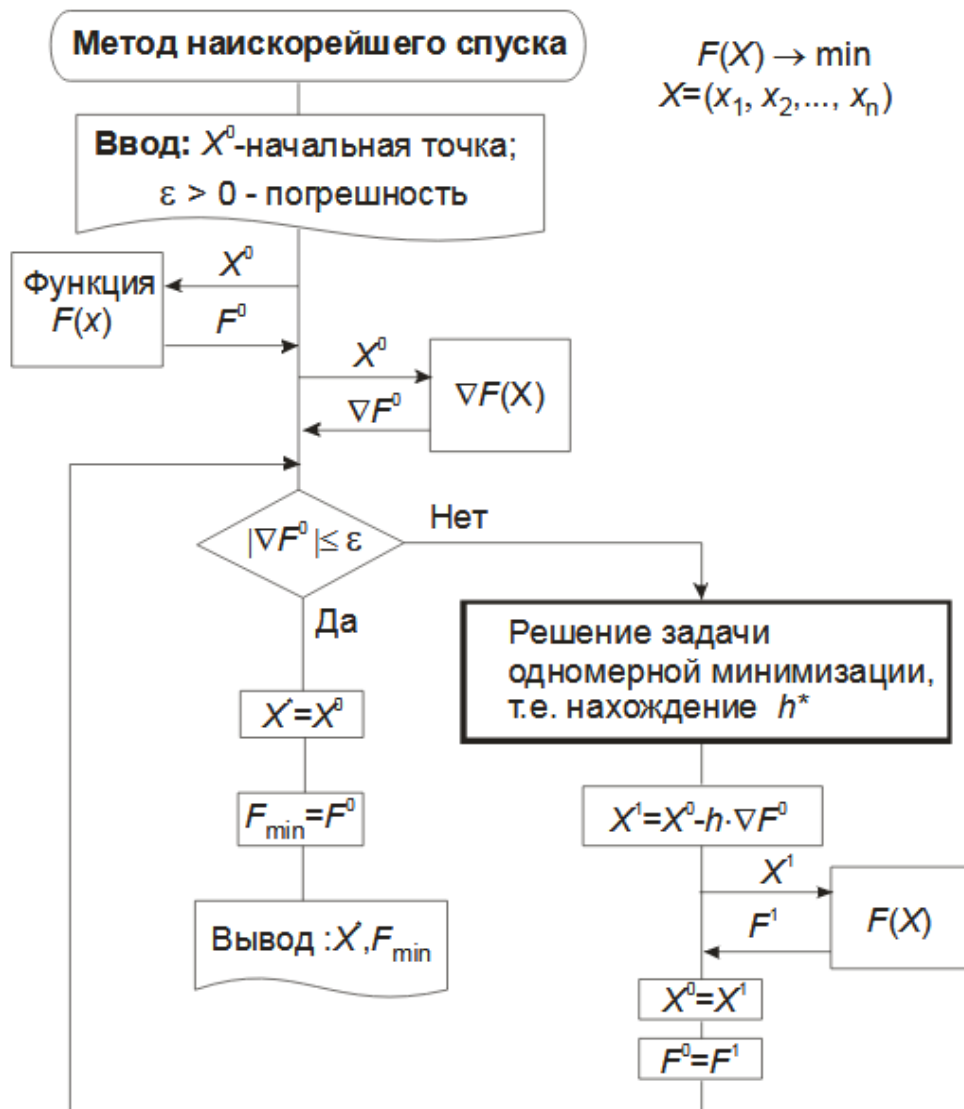
bu erda

$$X^j = X^k - (h^* \pm \Delta h) \cdot \nabla F(X^k).$$

Eng tez tushish usulining grafik ko'rinishi 4.7- rasmda keltirilgan.



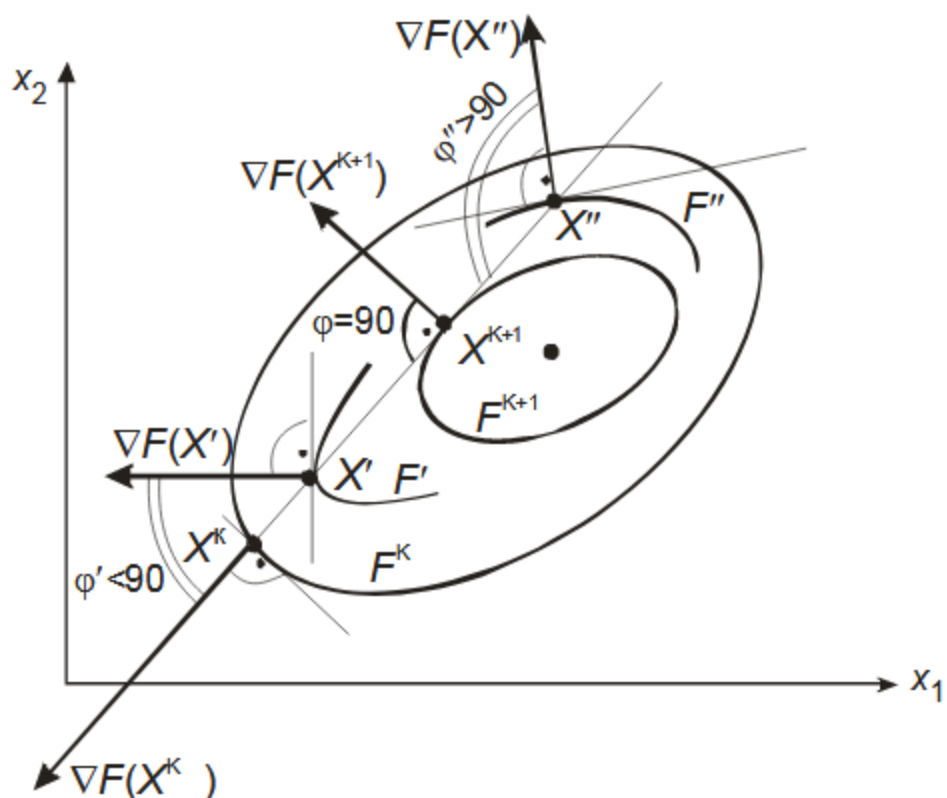
4.17- rasm. Eng tez tushish usulining grafik ko'rinishi



4.18- rasm. Eng tez tushish usulining umumiy algoritmi
Usulninh umumiy algoritmi 4.18 rasmda keltirilgan.

Optimal qadamni aniqlash usullari:

- 1) grafik usuli (4.19 rasm);
- 2) tushishning har bir yo‘nalishida bir o‘lchamli minimallashtirish masalasini echish bilan:
 - a) analitik usul;
 - b) raqamli usul;
- 3) tushishning qo‘shni nuqtalarida X^k va X^{k+1} vektor-gradientlarning skalyar ko‘paytmasini aniqlash bilan (4.20- rasm).



4.19- rasm. Eng tez tushish usuli bilan X^k nuqtadan tushishda optimal qadamni tanlashning grafik ko‘rinishi

Tushishning optimal qadamini hisoblash

Tanlangan yo‘nalishda optimal qadamni h^* aniqlashning eng sodda usuli bu tushishning qo‘shni nuqtalarida X^k va X^{k+1} vektor-gradientlarning skalyar ko‘paytmasini aniqlashdir:

$$S = (\nabla F(X^k), \nabla F(X^{k+1})).$$

$$X' : F^k > F' > F^{k+1}; S = (\nabla F(X^k), \nabla F(X')) > 0 \quad (\varphi < 90^\circ) \Rightarrow h \uparrow \text{ kerak};$$

$$X'' : F^k > F'' > F^{k+1}; S = (\nabla F(X^k), \nabla F(X'')) > 0 \quad (\varphi > 90^\circ) \Rightarrow h \downarrow \text{ kerak};$$

$$X^{k+1} : S = (\nabla F(X^k), \nabla F(X^{k+1})) = 0 \quad (\varphi = 90^\circ) \Rightarrow h = h^*.$$

h^* uchun $|S| = 0$ bajariladi. h^* ni raqamli aniqlashda $|S| \leq \varepsilon$ shartni bajarish kerak, bu erda ε – oldindan berilgan hisoblash hatoligi.

S hisobi chiziqli algebra fanining ma’lum formulalari bo‘yicha aniqlanadi:

$$S = \frac{\partial F(X^k)}{\partial x_1} \cdot \frac{\partial F(X^{k+1})}{\partial x_1} + \frac{\partial F(X^k)}{\partial x_2} \cdot \frac{\partial F(X^{k+1})}{\partial x_2} + \dots + \frac{\partial F(X^k)}{\partial x_n} \cdot \frac{\partial F(X^{k+1})}{\partial x_n}$$

yoki

$$S = |\nabla F(X^k)| \cdot |\nabla F(X^{k+1})| \cdot \cos \phi,$$

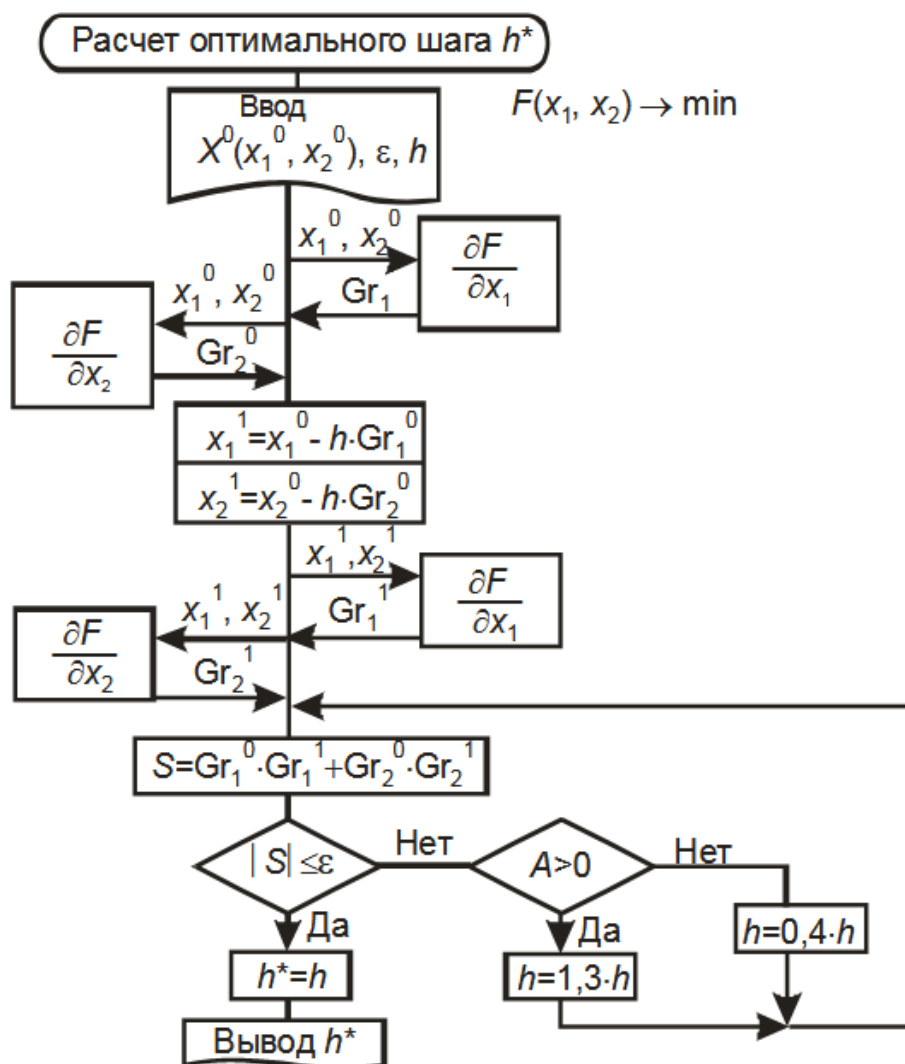
bu erda

$$|\nabla F(X^k)| = \sqrt{\left(\frac{\partial F(X^k)}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial F(X^k)}{\partial x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F(X^k)}{\partial x_n}\right)^2};$$

$$|\nabla F(X^{k+1})| = \sqrt{\left(\frac{\partial F(X^{k+1})}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial F(X^{k+1})}{\partial x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F(X^{k+1})}{\partial x_n}\right)^2};$$

ϕ – $\nabla F(X^k)$ va $\nabla F(X^{k+1})$ vektorlari orasidagi burchak (3.17 rasm).

$\nabla F(X^k)$ va $\nabla F(X^{k+1})$ vektor-gradientlarning skalyar ko‘paytmasini hisoblash asosida h^* aniqlash algoritmining blok-sxemasi 4.47- rasmda keltirilgan.



4.20- rasm. Optimal qadamni hisoblash (eng tez tushish usuli)

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 tuqta 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

$$X^1 = (0,8387; 1,2582);$$

$$F(X^1) = 1,5486;$$

$$\nabla F(X^1) = (-2,323; 1,549);$$

$$x_1^2 = 0,8387 \cdot h;$$

$$x_2^2 = 1,258 - 1,549 \cdot h.$$

$$\varphi(h) = F(x_1^2; x_2^2) = (0,8387 + 2,323 \cdot h - 2)^2 + 3 \cdot (1,258 - 1,549 \cdot h - 1)^2 = 12,59 \cdot h^2 - 7,792 \cdot h + 1,548;$$

$$\varphi'(x) = 25,19 \cdot h - 7,792 = 0; h^* = 0,3094.$$

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 $F(X^2) = 0,3429$.

3.6.7.3. Koordinatali tushish usuli

Koordinatali tushish usulining mohiyati ko'p parametrli funksiya $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ni boshida birinchi parametr x_1 , so'ng ikkinchi parametr x_2 va h.k. ohirgi parametr x_n bo'yicha minimallashtirishdan iborat.

Masalani echishning *birinchi* bosqichida *birinchidan tashqari bircha parametrlar fiksatsiyalanadi*, va birinchi parametrning optimal qiymati aniqlanadi, ya'ni birinchi parametrning minimaldan maksimal qiymatigacha o'zgarganida bir o'lchamli minimallashtirish masalasi echiladi

$$F = F(x_1(\text{var}), x_2^0, \dots, x_n^0) \rightarrow \min$$

Birinchi parametrning topilgan optimal qiymati $x_1^{\text{opt*}}$ bilan belgilanadi

So'ng faqat ikkinchi parametri x_2 o'zgarganida funksiya $F = F(x_1^{\text{opt*}}, x_2(\text{var}), x_3^0, \dots, x_n^0)$ minimumi qidiriladi. Bu erda birinchi parametr yuqorida topilgan optimal qiymat bo'yicha fiksatsiyalanadi

$$x_{1f}^{\text{opt*}} = x_1^{\text{opt*}}$$

Optimallashtirish sikli parametr x_n ning optimal qiymatini $x_n^{\text{opt*}}$ aniqlashda x_n parametri o'zgaranda funksii $F = F(x_{1f}^{\text{opt*}}, x_{2f}^{\text{opt*}}, \dots, x_{(n-1)f}^{\text{opt*}}, \dots, x_n(\text{var}))$ minimumini aniqlash bilan tugaydi.

Odatda qidiruvning bir sikli funksiya $F(X)$ ning minimal qiymatini aniqlash imkonini bermaydi. SHuning uchun keltirilgan siklning takrorlanishi kerak.

Koordinatali tushish iteratsiyalarining ikkinchi siklini bajarish jarayonida ikkinchi yaqinlashuvda optimallashtirilayotgan parametrlarning optimal qiymatlari aniqlanadi: $\text{opt } x_1^{\text{opt**}}, x_2^{\text{opt**}}, \dots, x_n^{\text{opt**}}$ va h.k.

Algoritm to'htashining mezonini bo'lib nomi bir o'zgaruvchanlarning ikki ohirgi iteratsiyalarida «optimal» qiymatlarning farqi oldindan berilgan hatolik qiymatiga teng

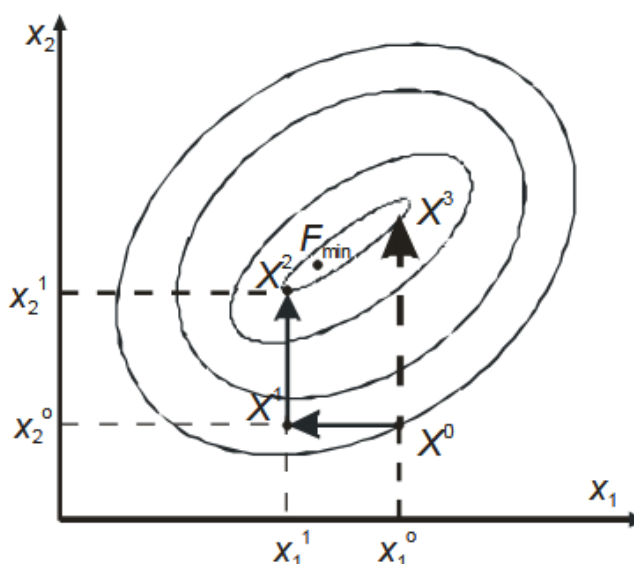
$$|x_i^{optk} - x_i^{opt(k-1)}| \leq \varepsilon_i,$$

bu erda i 1 dan n gacha o'zgaradi;
 k – iteratsiya raqami.

Koordinatali tushish algoritmi ko'p o'lchamli masalani bir o'lchovli optimallashtirish usullari yordamida echiladigan ketma ket bir o'zchamli masalalarga olib keladi.

4.21 rasmda koordinatali tushish usulini ikki o'zgaruvchan funksiyasi $F(x_1, x_2)$ misolida grafik ko'rinishi keltirilgan.

Rasmdan koordinatali tushish usuli bilan minimumni qidirish yo'lidagi qadamlar soni sezilarli darajada dastlabki nuqta tanlovi va birinchi fiksatsiyalangan koordinataga bog'liqligini ko'rishimiz mumkin.



4.21- rasm. Koordinatali tushish usulining grafik ko'rinishi

3.6.8. Ekstremumga keskin ko'tarilish usuli bilan yaqinlashish

Ekstremumga yaqinlashish u javob funksiyasi gradiyenti (antigradiyent) yo'nalishi bo'yicha amalga oshiriladi (422-rasm).

Gradiyent vektori funksiyaning tezkor ko'tarilish yo'nalishini aniqlaydi va $y = y(x_1, x_2, \dots, x_m)$ uchun quyidagiga teng:

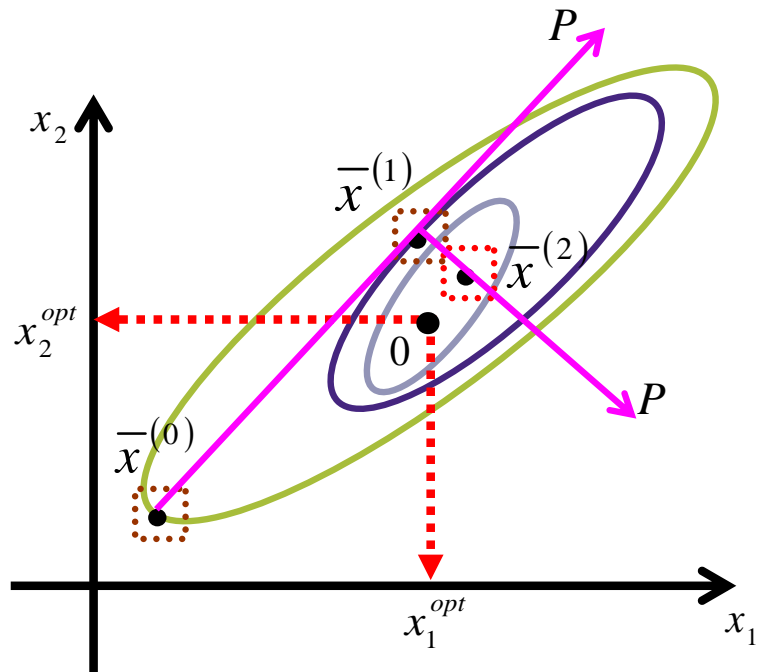
$$\text{grad } \bar{y} = \frac{\partial y}{\partial x_1} \bar{i} + \frac{\partial y}{\partial x_2} \bar{j} + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_m} \bar{m},$$

bu yerda,

$\bar{i}, \bar{j}, \dots, \bar{m}$ – koordinata o'qlari yo'nalishidagi birlik vektorlar;

$\frac{\partial y}{\partial y_i}$ ($i = 1, \dots, \bar{m}$) – gradient vektorining (x_1, x_2, \dots, x_m) koordinata o‘qlariga proeksiyalari.

$m = 2$ uchun keskin ko‘tarilish usuli bilan yaqinlashishni quyidagicha keltirish mumkin:



4.22-rasm. Ekstremumga keskin ko‘tarilish usuli bilan yaqinlashish

$\bar{x}^{(0)}, \bar{x}^{(1)}$ – birinchi tartibli tajriba (TFT – to‘liq faktorli tajriba) rejalarining markazi;

$\bar{x}^{(2)}$ – ikkinchi tartibli tajriba (TOMKR – tajribaning ortogonal markaziy kompozitsion rejasi) rejasining markazi.

Faktorli fazoda ekstremumni qidirishning koordinatalar ketma- ketligi quyidagi formula bo‘yicha aniqlanadi:

$$x_i^{(s+1)} = x_i^{(s)} \pm h \frac{\frac{\partial y^{(s)}}{\partial x_i}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial y^{(s)}}{\partial x_j}\right)^2}}$$

$$s = 0, 1, 2, 3, \dots$$

bu yerda, h – gradient vektorining yo‘nalishi bo‘yicha qadamning berilgan faktori;

s – tajribalashirilayotgan nuqtalar raqami;

\pm – maksimumga (+) yoki minimumga (–) ga yaqinlashish.

Bu yerda y kattalik faktorlari va koeffitsiyentlari nisbatan chiziqli bo‘lgan regressiya tenglamasidan aniqlaniladi:

$$\hat{y} = a_0 + \sum_{j=1}^m a_j x_j$$

Bu tenglama javobning ekstremum qiymatidan uzoqda bo‘lgan sohalarda javob sirtini tavsiflash uchun ishlatiladi.

Faktorli fazoning bu regressiya tenglamasi haqiqiy bo‘ladigan chegaralangan sohasi $(x_j^{(0)}, j = 1, \dots, m)$ – tajriba rejasining markazi bo‘lgan sohaning markazi:

$$x_j^{(0)} = \frac{x_j^{\min} + x_j^{\max}}{2} \quad j = 1, \dots, m$$

va faktorlarni o‘zgartirish intervali (aniq, yarim interval):

$$\Delta x_j = \frac{x_j^{\max} - x_j^{\min}}{2}$$

$$j = 1, \dots, m$$

bilan beriladi.

Faktorli fazoning mahalliy sohalari uchun regressiya tenglamasi kodlangan faktorlar bilan yoziladi:

$$\hat{y} = \tilde{a}_0 + \sum_{j=1}^m \tilde{a}_j z_j,$$

bu yerda,

$$z_j = \frac{x_j - x_j^{(0)}}{\Delta x_j} \quad j = 1, \dots, m$$

Natijada faktorning minimal qiymati $z_j = -1$ ga, maksimal qiymati $z_j = 1$ ga, tajriba rejasining markazi esa $z_j = 0$, $j = 1, \dots, m$ koordinatali nuqta bilan mos keladi.

Kodlangan \tilde{a}_j faktorli regressiya tenglamasining koeffitsiyentlari natural qiymatli x_j faktorli regressiya tenglamalarining koeffitsiyetlaridan farq qiladi va ko‘rib chiqilayotgan chegaralangan sohada o‘tkazilgan to‘liq faktorli tajriba (TFT) dan aniqlanadi.

Bunday xossalardan biri reja markazidan bir xil masofaga kodlangan faktorli regressiya tenglamalarini bashorat qilish qobiliyatini tavsiflovchi rotatabellik xossasidir.

Regressiya tenglamalarining bashorat qilish qobiliyatining tavsiflari uchun \bar{y} chiqish o'zgaruvchilarining \tilde{a}_j koeffitsiyentlarning mustaqilligidan kelib chiquvchi dispersiya baholari $-s^2$ dan foydalaniladi va ularning bir xil dispersiyalari TFT hollarida quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$S_{\bar{y}}^2 = S_{a_0}^2 + \sum_{j=1}^m z_j^2 S_{a_1}^2 = S_a^2 (1 + p^2)$$

bu yerda,

S_a^2 – barcha \tilde{a}_j koeffitsiyentlar uchun bir xil dispersiya baholari

$$S_a^2 = \frac{S_e^2}{n}$$

bu yerda

n – TFT sinovlarining soni;

S_e^2 – u chiqish o'zgaruvchilarining parallel sinovlar bo'yicha aniqlanadigan qayta tiklanish dispersiyasi;

p^2 – reja markazidan faktorli fazoning ko'rilayotgan nuqtasigacha bo'lgan masofaning kvadrati.

$$p^2 = \sum_{j=1}^m z_j^2$$

Teskari $S_{\bar{y}}^2$ kattalik regressiya tenglamasining aniqlik o'lchami uchun qabul qilingan.

$S_{\bar{y}}^2$ uchun tenglamaning aniqligi sfera radiusining kvadrati p^2 ga proporsional kamayadi va barcha ekvimasofali nuqtalari uchun bir xil bo'ladi.

Shuning uchun ham faktorli fazoda birorta ham ustuvorroq yo'nalishni belgilash mumkin emas va boshqa ixtiyoriy yo'nalishga qaraganda y o'zgaruvchisini bashorat qilish jihatidan gradiyent vektori ($grad \bar{y}$) yomon emas.

Biroq gradiyent – vektor ($grad \bar{y}$) y funksiyaning tezroq ko'tarilish yo'nalishini tavsiflaydi va bu jihatdan unga yaqinlashish yanada q taxminiy hisoblanadi.

Gradiyent – vektor ($grad \bar{y}$) ning koordinatalarini aniqlash uchun regressiyaning TFT natijalari bo'yicha olinadigan monand tenglamasi ishlatiladi:

$$\hat{\bar{y}} = \tilde{a}_0 + \sum_{j=1}^m \tilde{a}_j z_j$$

h qadamning faktori beriladi va qadam gradiyent bo'yicha TFT rejasi markazi ($\bar{x}^{(0)}$) – boshlang'ich yaqinlashish) dan funksiya javobining ekstremum qiymatiga tomon amalga oshiriladi va faktorli fazodagi rejaning yangi markazi $\bar{x}^{(1)}$ ning koordinatalari aniqlanadi.

Bu yerda yana TFT o'tkaziladi va uning natijalari qayta ishlanadi hamda gradiyent – vektorning ekstremum tomonga

$$x_i^{(s+1)} = x_i^{(s)} \pm h \frac{\frac{\partial y^{(s)}}{\partial x_i}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial y^{(s)}}{\partial x_j}\right)^2}}$$

$$s = 0,1,2,3...$$

qadam bilan amalga oshiriladigan yangi yo'nalishi hisoblanadi:

$$\text{grad } \bar{y} = \frac{\partial y}{\partial x_1} \bar{i} + \frac{\partial y}{\partial x_2} + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_m} \bar{m}$$

Ketma-ket tajribalashtirish protsedurasi soha, javob funksiyaning ekstremum qiymatiga yaqin sohaga erishmaguncha davom ettirilaveradi.

Deyarli statsionar soha bilan yaqinlikni reja markazidagi tajribaviy $\bar{y}^{(c)}$ va hisobiy $\bar{y}^{(c)}$ kattaliklar o'rtasidagi farq qiymatining bahosi bilan amalga oshiriluvchi Styudent mezoni – t yordamida o'rnatish mumkin.

$$y^{(c)} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^{(c)}}{n}$$

$$\bar{y}^{(c)} = \tilde{a}_0$$

Javob funksiyasi ekstremumining yaqinlik sharti quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{|y^{(c)} - \tilde{a}_0|}{S_e} > t_{\beta(fe)}^{jad}$$

bu yerda,

$f_e = k - 1$ - erkinlik darajalari soni;
 k – parallel sinovlar soni;
 β – berilgan ishonchli ehtimollik (odatda 0,95).

3.6.9. Deyarli statsionar sohadagi ekstremumning holatini aniqlash

Chiqish o‘zgaruvchisi uning ekstremum qiymatini ta’minlovchi faktorlarning optimal kattaliklarini aniqlash uchun ko‘p o‘zgaruvchili funksiyalar ekstremumining zaruriy shartidan kelib chiqadigan tenglamalar tizimi yechiladi:

$$\frac{\partial \bar{y}}{\partial z_1} = 0; \frac{\partial \bar{y}}{\partial z_2} = 0; \dots \frac{\partial \bar{y}}{\partial z_m} = 0$$

Bunday hollarda kodlangan faktorlar z_j ni qo‘llash qulayroq.

Ekstremumga yaqin bo‘lgan sohani tavsiflash uchun ikki o‘zaro ta’sirlashuvchi faktorli ikkinchi tartibli tenglamadan foydalanish mumkin:

$$\bar{y}'' = \tilde{a}_0 + \sum_{j=1}^m \tilde{a}_j z_j + \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{u=2}^m \tilde{a}_{ju} z_j z_u + \sum_{j=1}^m \tilde{a}_{jj} (z_j^2 - S)$$

Kiritilgan kattalik S bu modellarning koeffitsiyentlari $(\tilde{a}_j, \tilde{a}_{ju}, \tilde{a}_{jj})$ ni aniqlash maqsadida o‘tkaziladigan tajribaning matritsalarini ortogonalligini ta’minlaydi.

\bar{y}'' uchun tenglamaning koeffitsiyentlarini hisoblashda deyarli statsionar sohadagi tajribaning TOMKR amalga oshiriladi.

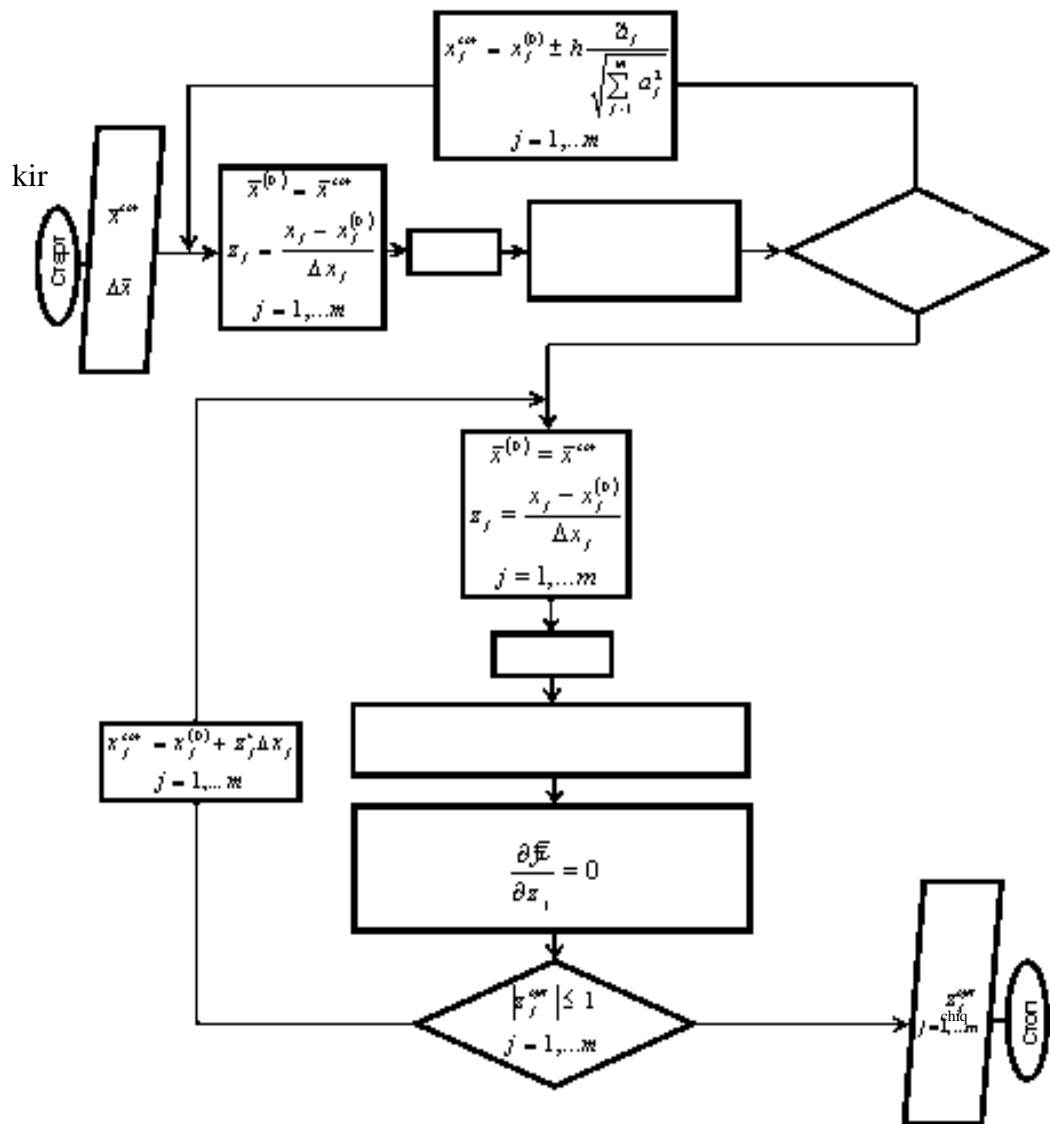
Agar quyidagi shart bajarilmasa, ekstremum holatini aniqlash masalasini yechish natijalarini muvaffaqiyatli deb hisoblab bo‘lmaydi:

$$\left| z_j^{opt} \right| \leq 1$$

$$j = 1, \dots, m,$$

shuningdek, regressiya tenglamasi faqatgina tajribada joylashgan $(-1 \leq z_j \leq 1)$ kodlangan faktorlar diapazonidagina to‘g‘ri bo‘ladi.

Bu shart bajarilmaganida tajribaning TOMKR ni rejaning yangi, xususan z_j^{opt} nuqtadagi markazi bilan qaytadan amalga oshirish tavsiya etiladi.



4.23-rasm. Optimallashtirishning tajribaviy - statistik usuli algoritmining blok-sxemasi.

Ushbu ekstremum atrofidagi ketma-ket tajribalashtirish protsedurasi yuqorida keltirilgan tengsizlik bajarilmaguncha davom ettirilishi tavsiya etiladi.

O‘z - o‘zini tekshirish uchun topshiriqlar

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?

4-Mavzu: **KIMYOVIY TEXNOLOGIYA TIPIK APPARATLARINING KOMPYUTERLI MODELLARINI TUZISH**

Reja:

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

4.1.6. Tarelkali kolonnalardagi ko‘p komponentli uzluksiz rektifikatsiya jarayonini kompyuterli modellashtirish, 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 molekullar 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 fazoviy 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 proeksiyalari.

Issiqlik o'tkazuvchanlik nazariyasida o'rganiladigan deformatsiyalanmaydigan bir komponentli muhitlarda issiqlik tashish uchun bir tomondan issiqlik oqimi boshqa tomondan harorat gradienti bilan molekular 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, λ — 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. ρ — 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:

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

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 turbulentshishi; 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 impulsli, 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.

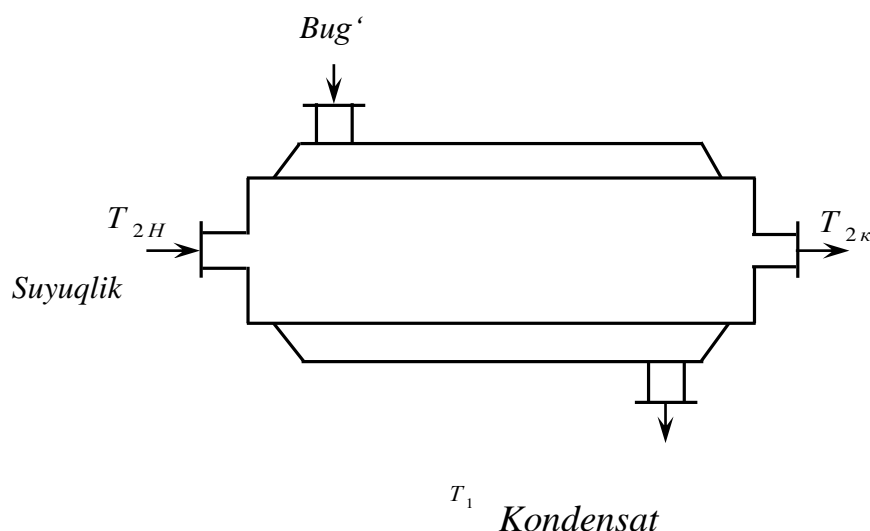
Modellarning matematik tavsiflari quyidagi ko‘rinishga ega:

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

bu yerda, ν_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; χ – issiqlik apparatining kirishigacha bo‘lgan masofa.

(5.7) tenglamani integrallash kirishdan χ masofada bo‘lgan sovuq agentning harorati uchun quyidagi ifodani beradi:

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



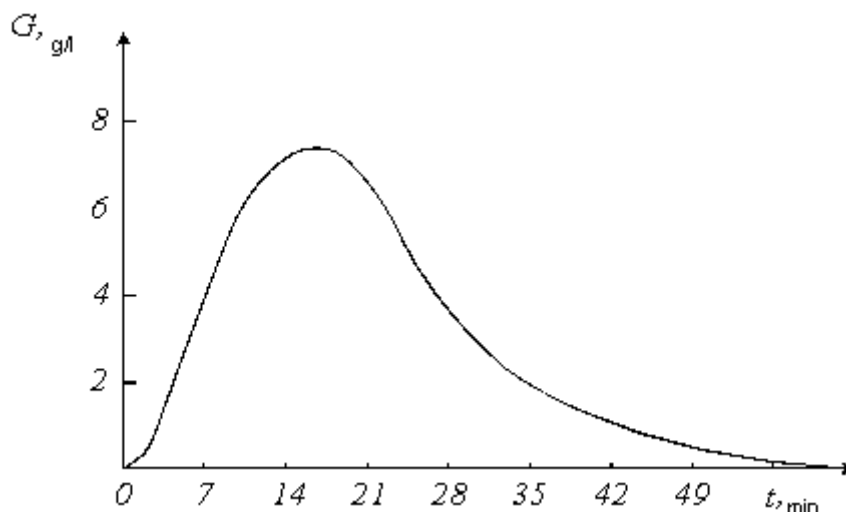
5.1-rasm. Issiqlik almashish apparatining sxemasi.

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:

sig'imi $c_{p_2} = 2520 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; zichligi $\rho = 1200 \text{ kg}/\text{m}^3$. Qizdirish $T_1 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 $1,5 \text{ m}$.



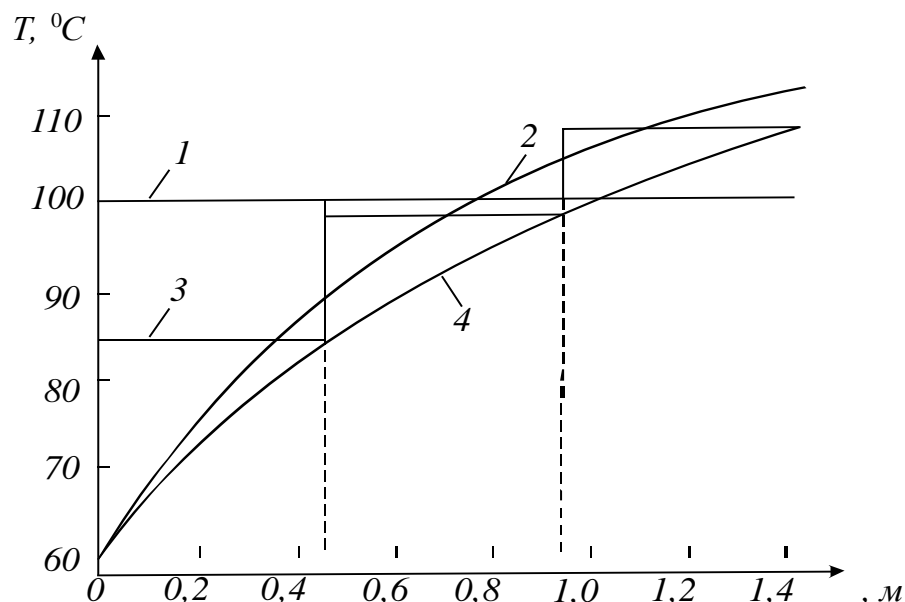
5.2-rasm. Tizim javobining S egri chizig'i.

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° (5% ga yaqin) ni tashkil etadi. Sovuq agentning o'rin almashish va to'liq aralashish modellari yanada katta farqni beradi.



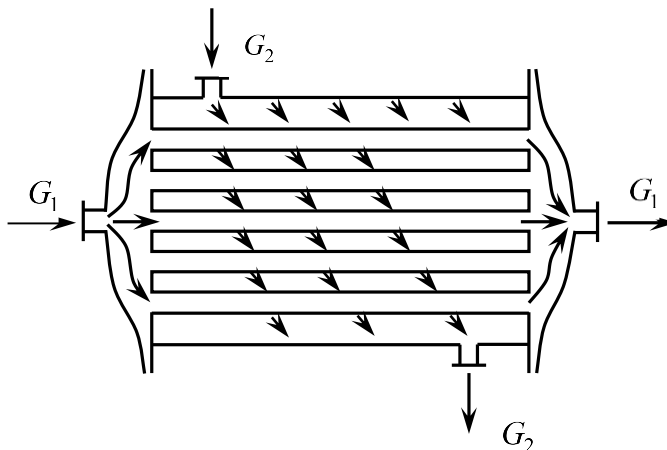
5.3-rasm. Turli modellar bo'yicha harorat profilining hisobi:
 1-ideal aralashish; 2-ideal siqib chiqarish; 3-yacheykali model;
 4-diffuziyali model.

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.

Devor 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 haroratlarning farqi 1° bo'lganda birlik issiqlik almashish yuza 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 $\frac{1}{\alpha_1}$; 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 δ_i va issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti λ_i bilan ifodalanadi.

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

$$K = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (5.18)$$

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‘zgarmas 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:

$$T_1 - T_2 = \Delta_1 \exp \left[- K \left(\frac{1}{\omega_1} - \frac{1}{\omega_2} \right) f \right] \quad (5.22)$$

bu yerda, ΔT_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‘zgarmas 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

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

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‘zgarimas 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 α_1 ni baholash mumkin. Unda birinchi issiqlik tashuvchidan devorga beriluvchi issiqlik oqimi q_1 quyidagini tashkil etadi:

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

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

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

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:

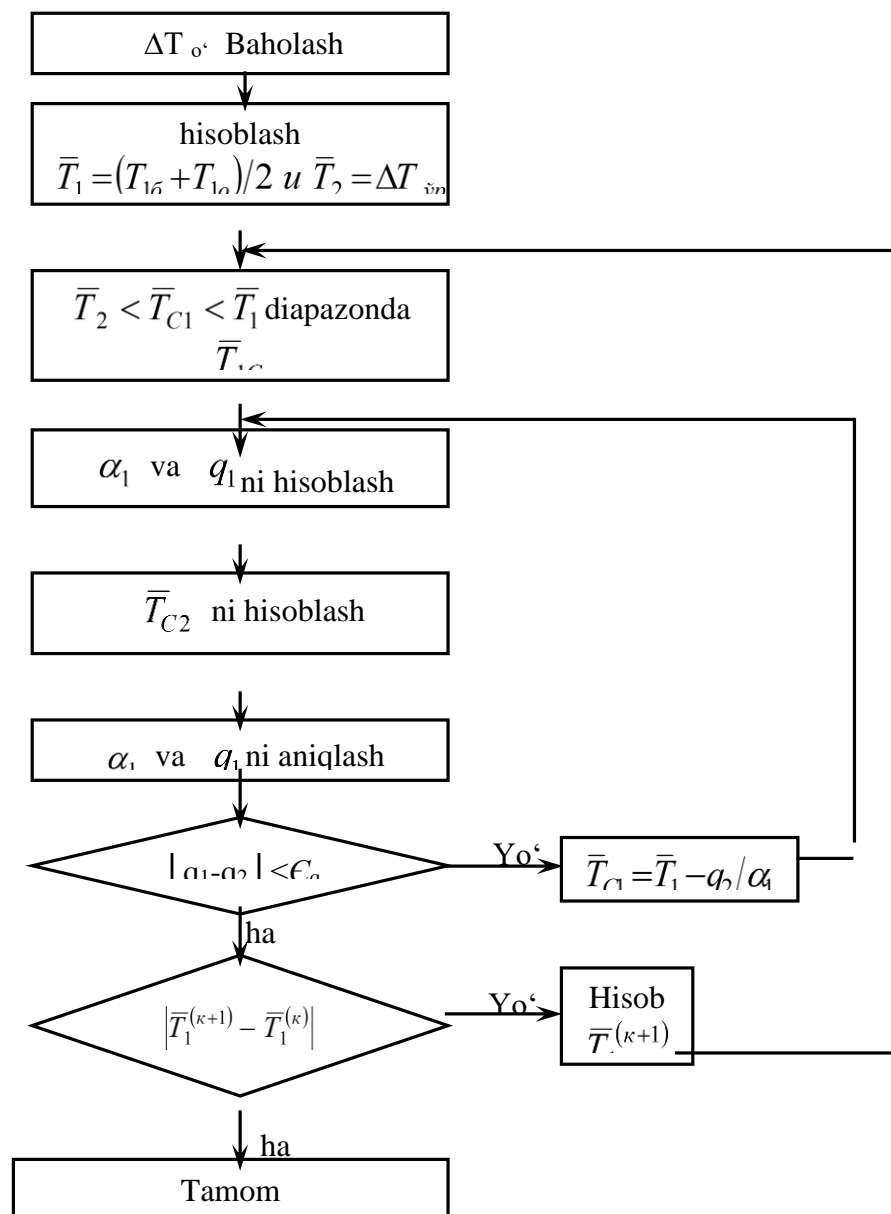
$$q_2 = \alpha_2 (\bar{T}_{C2} - \bar{T}_2) \quad (5.30)$$

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:

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

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'ylama issiqlik o'tkazish yuzasidagi o'rtacha harorati bo'yicha amalga oshiriladigan iteratsiya sikli qatnashmaydi, umumiy qilib aytganda, masala osonlashtiriladi. 5.5 rasmda bo'ylama issiqlik almashish yuzasining o'rtacha parametrlari bo'yicha hisoblanadigan issiqlik almashish apparatlarini hisoblash algoritmining blok - sxemasi keltirilgan.



5.5-rasm. O‘rtacha parametrlı issıqlık almashıshning bo‘ylama yuzasi bo‘yicha issıqlık almashısh apparatını hisoblash algoritmining blok – sxemasi.

Endi issıqlık sig‘imi va issıqlık berish koeffitsiyentlari o‘zgaruvchan bo‘lgan hollarnı ko‘rib chıqamiz. Ko‘pgina amaliy hollarda issıqlık sig‘imi va issıqlık berish koeffitsiyentlari issıqlık tashuvchılarnıng harorati va devor yuzasiga bog‘liq bo‘ladi. Bularga bog‘liq holda ilgari ko‘rib o‘tilgan issıqlık almashıshning o‘rtacha parametrlari bo‘yicha issıqlık almashısh apparatlarını hisoblash algoritmini issıqlık tashuvchılarnıng haroratlarınıng o‘zgarıshı katta bo‘lmagan hollar uchun qo‘llab ko‘ramiz. Ko‘rsatilgan mulohaza issıqlık almashısh apparaturalarını hisoblashning intervalli usuli deb ataluvchi usul sifatida o‘rganiladi. Usulning mohiyati quyida keltirilgan.

$[T_{1H}, T_{1K}]$ issıqlık tashuvchılardan biri ega bo‘lgan harorat o‘zgarıshınıng diapazonı bir necha sondagi intervallarga bo‘linadi va har bir interval chegaralarida issıqlık tashuvchılarnıng haroratlarını o‘zgarmaydi deb hisoblash mumkin.

Birinchi issıqlık tashuvchıng harorati tanlangan intervallarnıng birinchisini oxirida T_1^1 ni tashkil qilsin. Ushbu issıqlık tashuvchıng 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

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

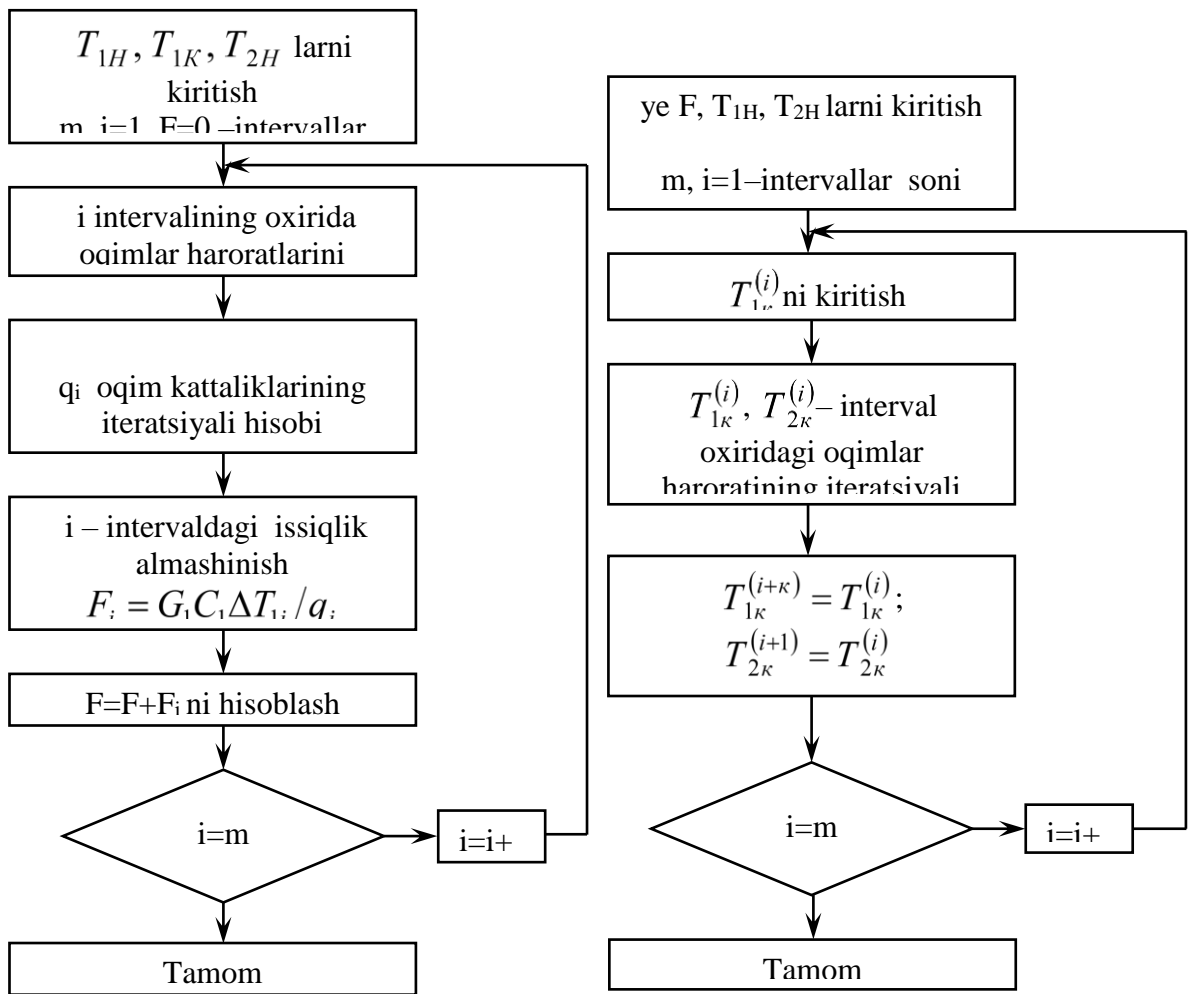
va mos ravishda ikkinchi issiqlik tashuvchining birinchi hududdagi harorati quyidagi tenglikni qabul qilishi mumkin

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

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 apparatini intervalli hisoblash algoritmining blok-sxemasi. **5.7-rasm.** Issiqlik almashish apparatining tekshiruv o'tkazishdagi intervalli hisoblash algoritmining 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'ylama

Issiqlik almashish yuzasi bo'yicha harorati o'zgarmas va buning natijasida issiqlik tashuvchilarning xossalari va issiqlik uzatish koeffitsiyenti ham o'zgarasdir.

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

α_{quv}

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

formula bo'yicha aniqlanadi,

bu yerda, q – solishtirma issiqlik oqimi, Vt/m^2 ; ρ_0 – suyuqlik bug'larining atmosfera bosimidagi zichligi; σ_j – bug' hosil bo'lishining solishtirma issiqligi; σ_j – sirt tarangligi; c_j – issiqlik sig'imi; μ_j – qovushqoqlik; λ_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; λ_k, ρ_k, μ_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; ΔT – 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:

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

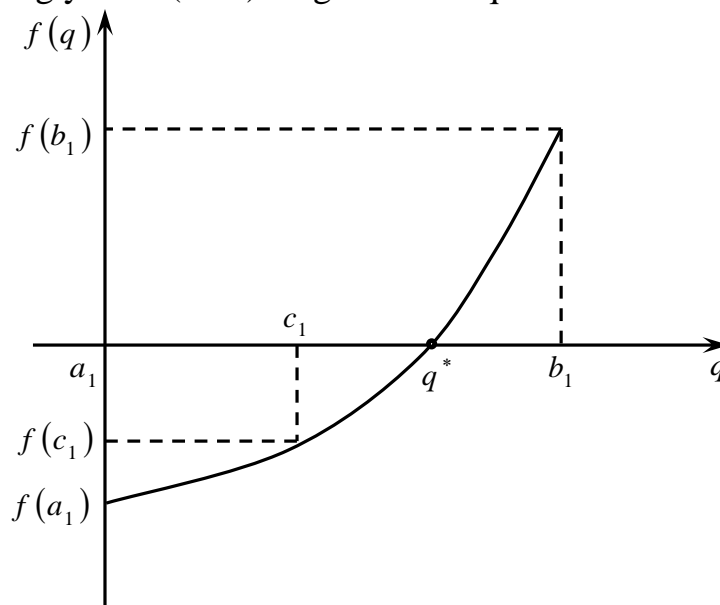
tekshirish sharti quyidagicha

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

Agar (5.41) shart bajarilsa, $[a_i, c_i]$ kesma tanlanadi; aks holda $[c_i, b_i]$ 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 $\rho_k = 908 \text{ kg/m}^3$, 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 $\lambda_j = 0,686 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 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

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,0004787 \text{ m}^2 \text{XK}/\text{Vt}$$

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 m^2 . Shundan kelib chiqib, issiqlik almashish apparatining zaxira yuzasi talab qilingani bilan

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

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 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'zgaras 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:

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

bu yerda

$$Re_{quv} = \frac{u_{quv} d \rho_{quv}}{\mu_{quv}} = \frac{4G_{quv} Z}{\pi \mu_{quv} d N}; \quad Pr_{quv} = \frac{c_{quv} \mu_{quv}}{\lambda_{quv}}$$

agar $Re_{quv} > 10^4$ bo'lsa, $x = 0,023$, $u = 0,8$; agar $2300 < Re_{quv} < 10^4$ 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 diametrlil 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:

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

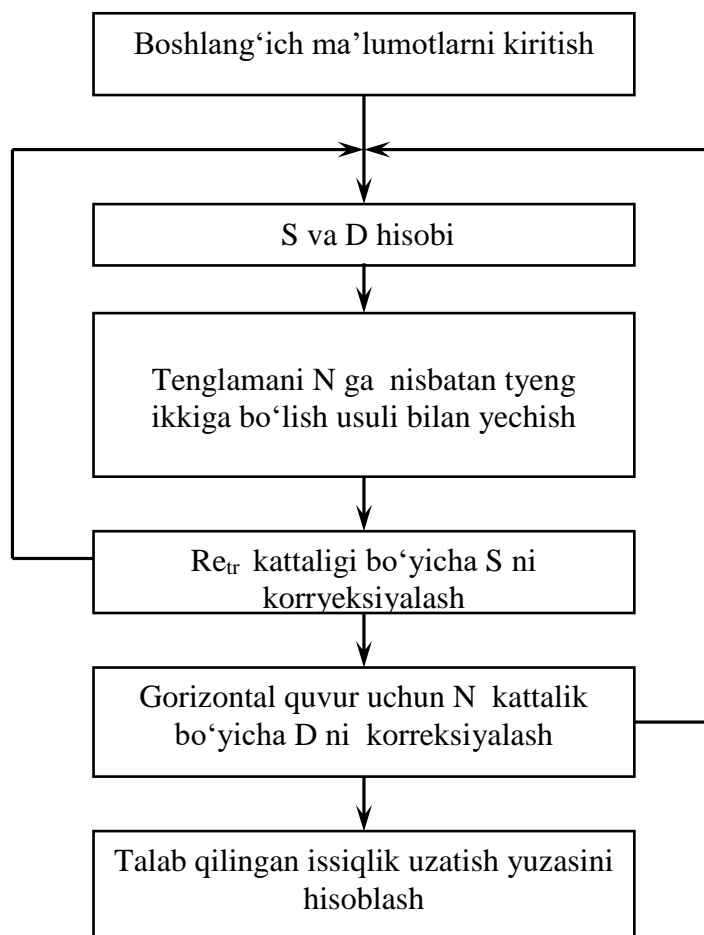
Oxirgi tenglamani issiqlik almashish apparatidagi quvurlar soni N ga nisbatan mohiyati oldinroq ko'rib o'tilgan oraliqni teng ikkiga bo'lish usuli bilan yechish mumkin. Quvurlar soni N aniqlangandan so'ng (5.47) tenglamadan zaruriy issiqlik almashish yuzasi G' aniqlanadi.

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 α_{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 α_{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 ρ , 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 $L = 3$ m bo'lgan gorizontalar issiqlik almashish apparati ($T=1$) keltirilgan variantni ko'rib chiqamiz. **COND** bo'yicha boshlang'ich ma'lumotlarni kiritgandan so'ng $\alpha_{quv} = 865,1$ Vt/(m²·K), $\alpha_{quv.or} = 13118,3$ Vt/(m²·K), $K = 584,5$ Vt/(m²·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 $\alpha_{quv} = 247,0$ Vt/(m²·K), $\alpha_{quv.or} = 15625,8$ Vt/(m²·K), $K = 217,2$ Vt/(m²·K), $Re_{quv} = 1161,1$, $N = 124$ larni olamiz.

Shunday qilib, quvurlar uzunligining kamayishi ularning sonini oshishi va Re_{quv} sonini kamayishi (shuningdek α_{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 $d_H=0,025$ m bo‘lgan quvurli issiqlik almashish apparatini hisoblaymiz. Hisoblash natijalari quyidagicha: $\alpha_{quv}=740,9$ Vt/(m²·K), $\alpha_{quv.or}=12628,1$ Vt/(m²·K), $K = 524,2$ Vt/(m²·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, $d_H = 0,025$ m, yo‘llar soni 2, quvurlar soni 52, quvurlar uzunligi 2 m va issiqlik almashish yuzasi 8m².

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 xossalari va devorning haroratlari 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; $\varepsilon_\phi = 0,6$ – 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:

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

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

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,

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

quvurlardagi issiqlik tashuvchilar uchun o‘lchamsiz Reynolds, Prandtl va Gragof sonlari; β_{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 α_{quv} quvurning ichki yuzasi va quvurdagi issiqlik tashuvchi haroratlarining oldin noma’lum bo‘lgan farqi ΔT ga bog‘liq. Shuning uchun ΔT 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 ΔT_{cp} issiqlik tashuvchilar harakati sxemasining quyidagi formulasi bo'yicha aniqlanadi:

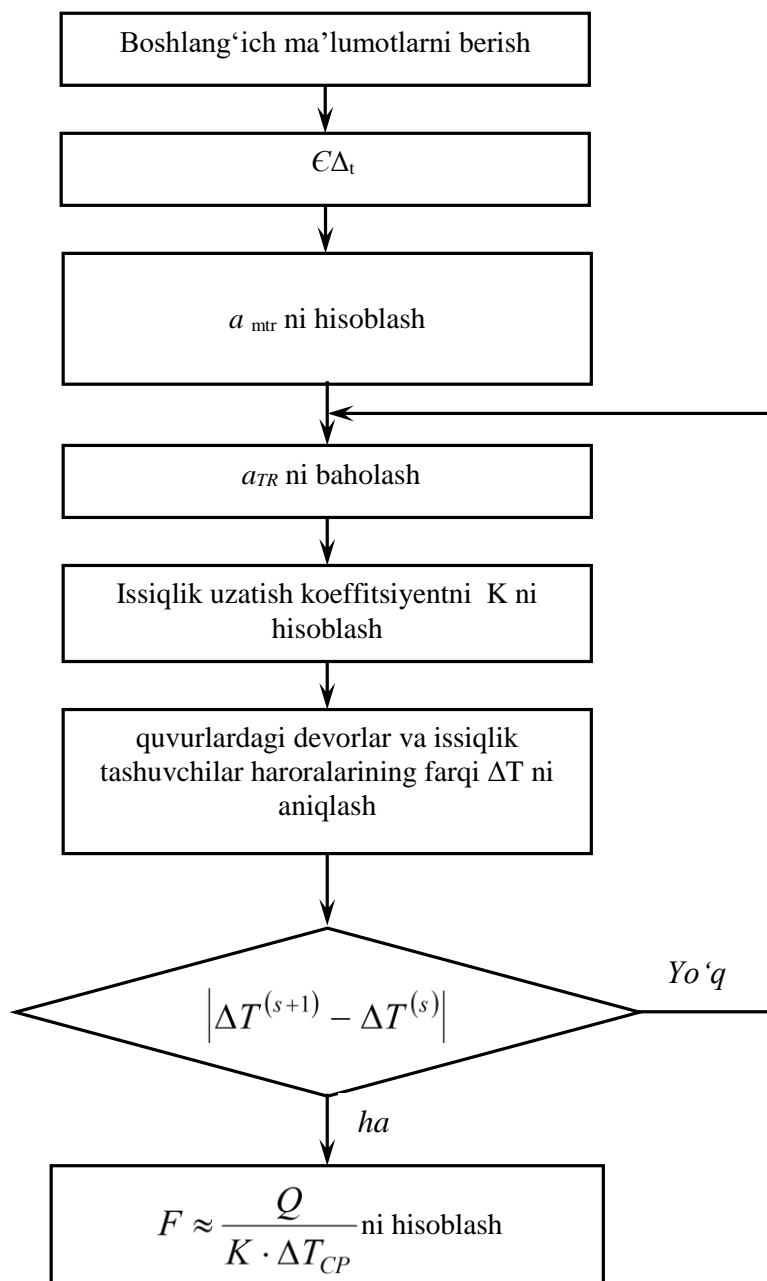
$$\Delta T_{o'r} = \varepsilon_{\Delta T} \Delta T_{o'r \log} \quad (5.58)$$

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-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/m³, qovushqoqligi $\mu_{quv} = 0,00054$ Pa·s, issiqlik sig'imi $c_{quv} = 4190$ J/(kg·K), hajmiy kengayish koeffitsiyenti $\beta_{quv} = 0,00048$ K⁻¹. 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 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 $\sum \delta/\lambda = 0,00042 \text{ m}^2 \text{ K}/\text{Vt}$.

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

$$\Delta = \frac{70 - 63.4}{63.4} \cdot 100 \% = 10.4\% \text{ ni tashkil etadi.}$$

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 $\alpha_{quv} = 524,0 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\alpha_{quv.or} = 1392,4 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $K = 328,2 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $F = 53,7 \text{ m}^2$, $\text{Re}_{quv} = 2166,0$, $\text{Re}_{quv.or} = 2182,7$ larni olamiz.

$$\text{Yuza zaxirasi } \Delta = \frac{64 - 53.7}{53.7} \cdot 100 \% = 19.2\% \text{ ni tashkil etadi. Uzunligi } 3 \text{ m}$$

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; $\alpha_{quv} = 853,7 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\alpha_{quv.or} = 1392,4 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $K = 432,9 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $F = 40,7 \text{ m}^2$,

$$\text{Re}_{quv} = 3431,7, \text{Re}_{quv.or} = 2182,7.$$

Bu variantdagi issiqlik almashish apparatlarining afzalligi shundaki, u kichik uzunlikdagi quvur $L = 2$ m va obi diametri $D = 0,6$ m ga ega. Yuza zaxirasi

$$\Delta = \frac{41 - 40,7}{40,7} \cdot 100 \% = 0,7\% \text{ ni tashkil etadi.}$$

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

4.1.4.1 «Aralashtirish – aralashtirish» tipidagi issiqlik almashish apparatlari

Yuzali issiqlik almashish apparatlarining tiplari:

obi - quvurli;

quvurli;

havoli sovitish apparatlari;

plastinkali;

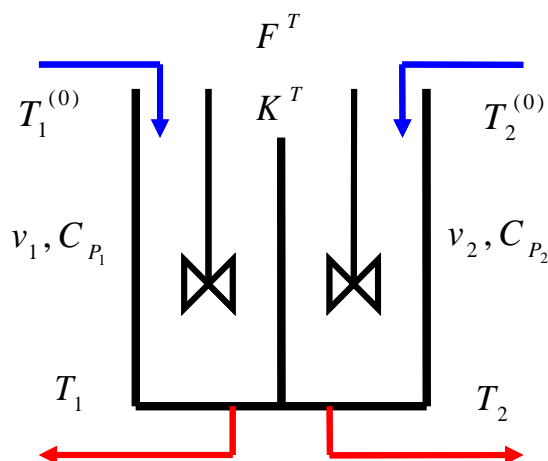
zmeevikli va h.z.

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 Δq_1^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 Δq^T ni qo‘yish yo‘li bilan tenglamalar tizimini

o‘zgartiramiz:

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

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

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

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

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):

$$\bar{f}(x) = 0$$

$$\begin{cases} f_i(x_1, \dots, x_n) = 0 \\ i = 1, \dots, n \end{cases}$$

Bu yerda $f - x$ ning nohiziqli funksiyasi.

Nohiziqli 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 algoritm 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.

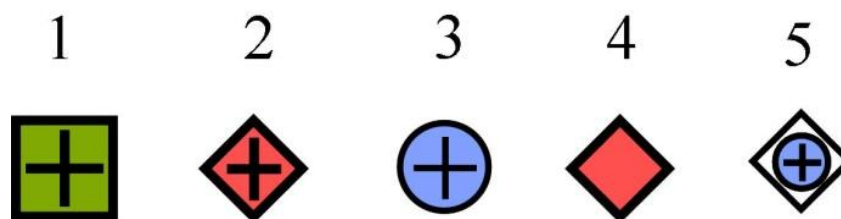
Axborot matritsasi

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 algoritmitga mos keluvchi hisoblashlar ketma- ketligi aks ettiriladi:

| $n \backslash p$ | T_1 | T_2 | Δq^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.

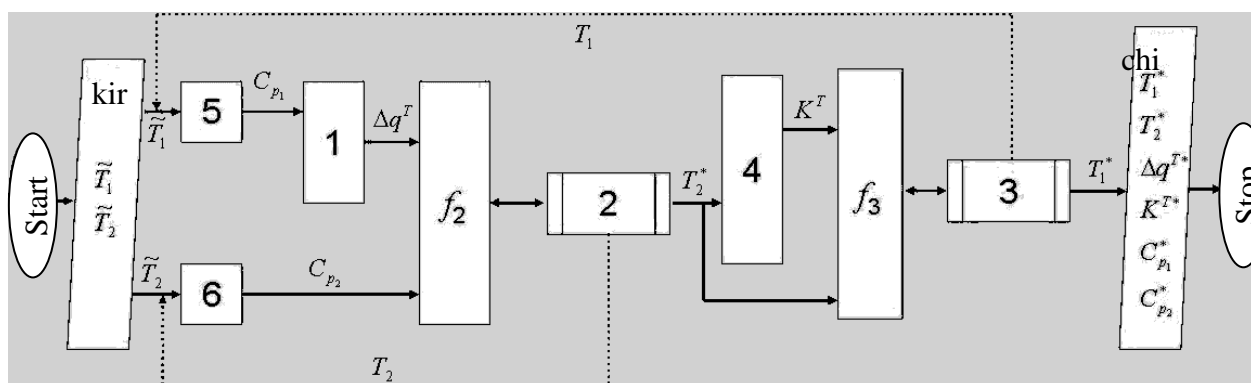
Ichki iteratsiya sikli:

$$v_2^{(0)} C_{P_2}^{(0)} T_2^{(0)} - v_2 C_{P_2} \{T_2\} + F^T (\Delta q^T \{T_2\}) = 0 \rightarrow T_2^*$$

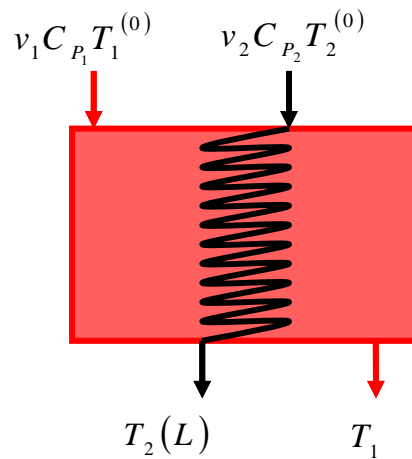
Tashqi iteratsiya sikli:

$$\Delta q^T \{T_1\} - K^T \{T_1\} (T_2 \{T_1\} - T_1) = 0 \rightarrow T_1^*$$

Algoritmnning 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

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

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

$$c) v_2 C_{P_2} \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{L} \Delta q_2^T$$

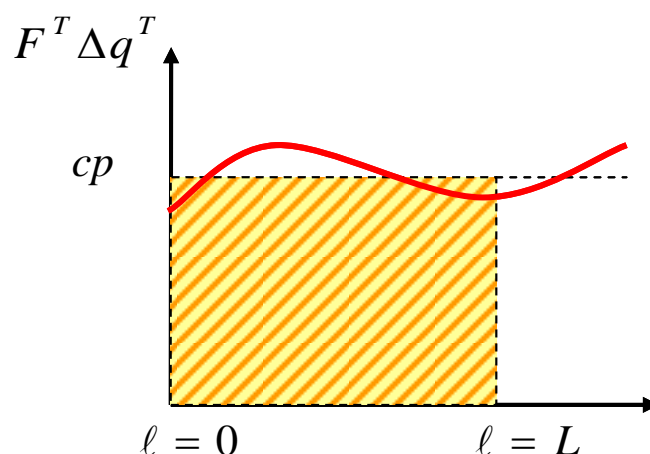
$$d) \Delta q_2^T = K^T (T_1 - T_2)$$

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

Umumiy issiqlik balansi tenglamasining natijasi:

$$v_1^{(0)} C_{P_1} T_1^0 - v_1 C_{P_1} T_1 + [F^T \Delta q_1^T]_{o'r} = 0$$

$$\frac{F^T}{L} (-\Delta q_2^T) = v_2 C_{P_2} \frac{dT_2}{d\ell}$$



Issiqlik o'tkazish yuzasi shtrixlangan maydonga teng

$$T_2(\ell) = ?$$

$$0 \leq \ell \leq L$$

$$\left[F^T \Delta q^T \right]_{o'r} = \frac{1}{L} \int_0^L F^T \Delta q^T d\ell$$

$$\left[F^T \Delta q^T \right]_{o'r} = -v_2 C_{P_2} \int_0^L \frac{dT_2}{d\ell} d\ell = -v_2 C_{P_2} [T_2(L) - T_2(0)]$$

Matematik tavsifning tenglamalar tizimi:

$$1) -v_2 C_{P_2} [T_2(L) - T_2(0)] + v_1^{(0)} C_{P_1} T_1^{(0)} - v_1 C_{P_1} T_1 = 0$$

Yaqqol ko'rinishdagi oddiy differensial tenglama:

$$2) \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} (-\Delta q^T)$$

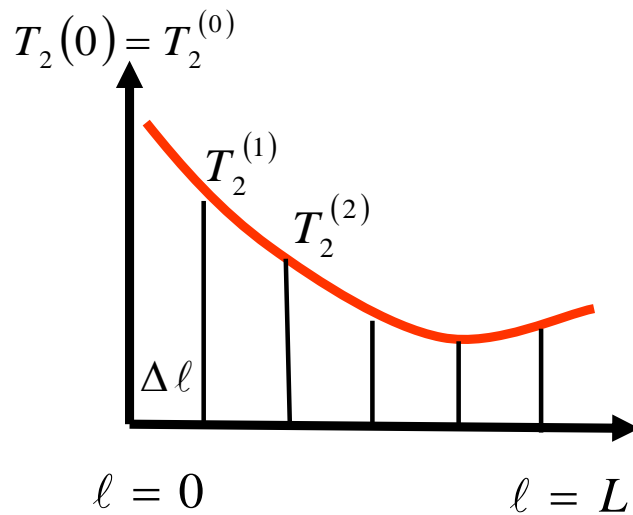
$$3) \Delta q^T = K^T (T_2 - T_1)$$

$$2') T_2(0) = T_2^{(0)}$$

Integral-differensial tenglamalar tizimi

$$T_2 = T_2(\ell) - ? \quad T_1 = ? \quad \Delta q^T = ?$$

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.



$$2) \frac{T_2(L) - T_2(0)}{\Delta l} \cong \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} (-\Delta q^T)$$

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

Axborot matritsasi

| $n \backslash p$ | T_1 | $T_2(0)$ | $T_2(L)$ | Δq^T | N^o |
|------------------|-------|----------|----------|--------------|-------|
| 1. Kor. ur. | ◊ | ⊕ | ⊕ | | 4 |
| 2. Dif. ur. | | ⊕ | ◊ | ⊕ | 3 |
| 3. | ⊕ | ⊕ | | ◊ | 2 |
| 2'. | | ◊ | | | 1 |

1 – aniqlik kirituvchi (korrektlovchi) tenglamalar – masala yechimining tashqi sikli;

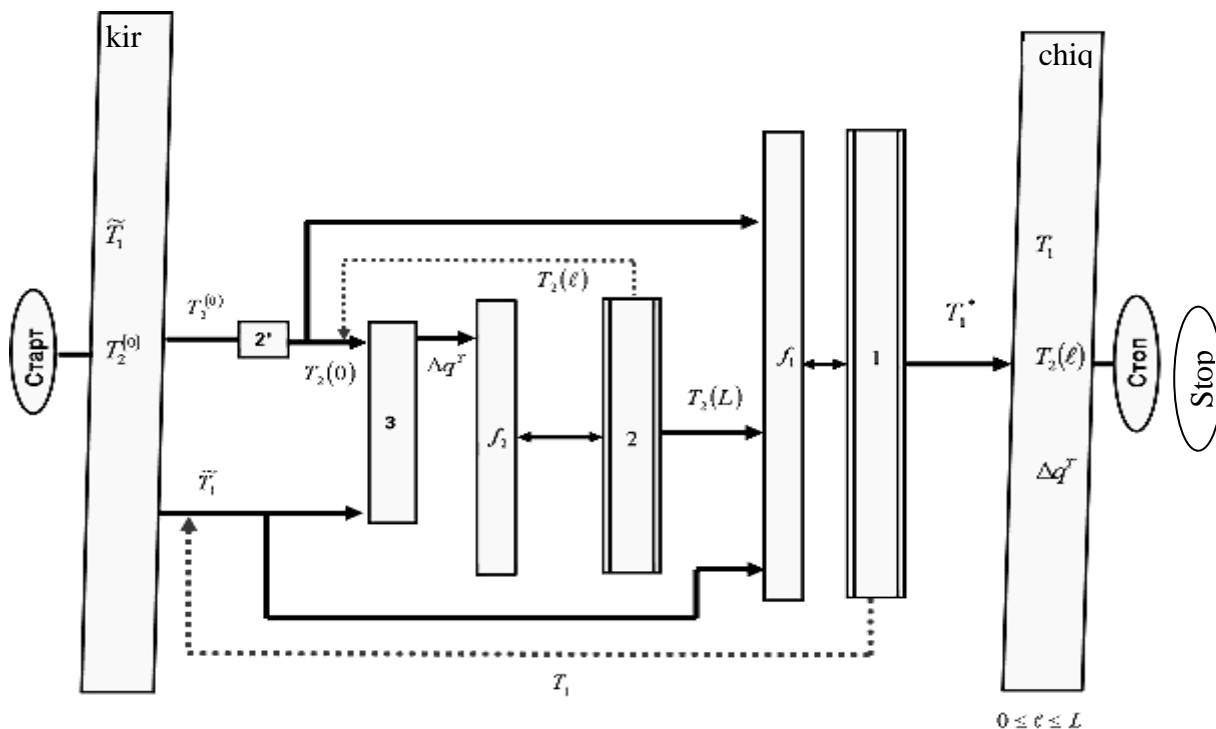
2 – differensial tenglamalarni yechish sikli – masala yechimining ichki sikli.
To‘g‘rilovchi tenglamalar:

$$v_1^{(0)} C_{P_1}^{(0)} T_1^0 - v_1 C_{P_1} T_1 + v_2 C_{P_2} [T_2(L)\{T_1\} - T_2(0)] = 0$$

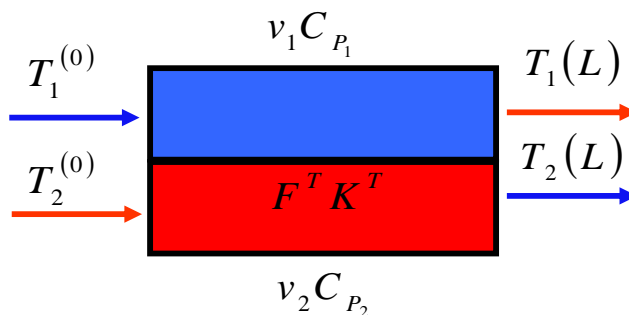
Tashqi siklda – yarmini bo‘lish usuli.

Ichki siklda har bir yaqinlashish T_l da differensial 2 tenglama (Eyler usuli) yechiladi.

Algoritmning blok-sxemasi



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)

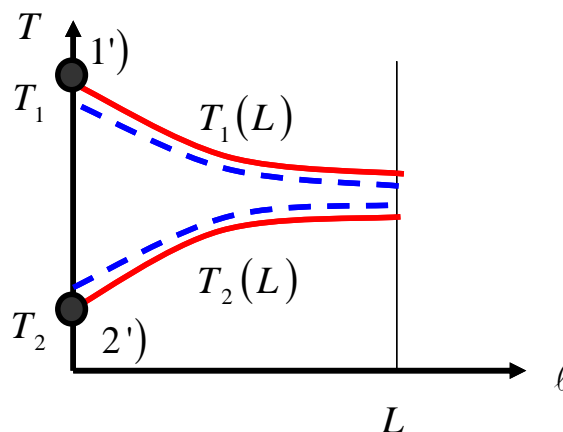
$$\left. \begin{array}{l} 1) \frac{dT_1}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_1 C_{P_1}} \Delta q_1^T \\ 2) \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} (-\Delta q^T) \\ 3) \Delta q^T = K^T (T_2 - T_1) \end{array} \right\}$$

Boshlang'ich shart:

$$\left. \begin{array}{l} 1) T_1(0) = T_1^{(0)} \\ 2) T_2(0) = T_2^{(0)} \end{array} \right\} \ell = 0$$

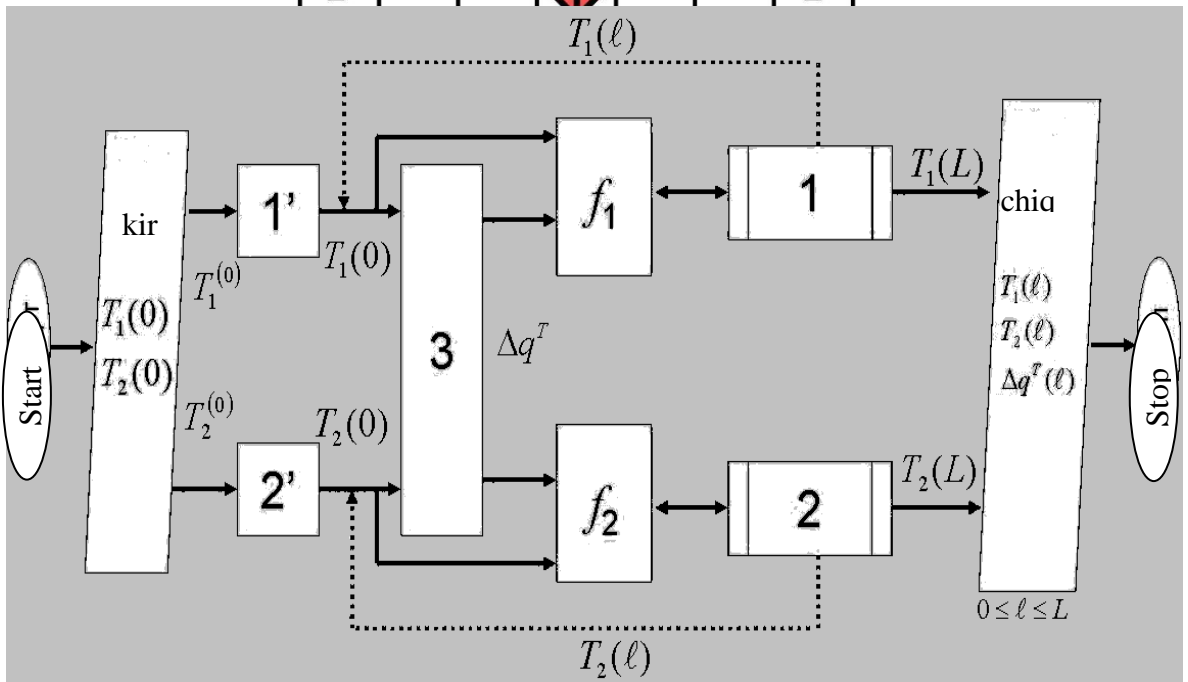
Xususiy yechimi olinadigan masala, qachonki masalaning qo'shimcha shartlari mustaqil o'zgaruvchining bitta qiymatida berilsa, Koshi masalasi deb ataladi.

Bu tizimni tahlilga asoslangan aniqlikda yechish mumkin.

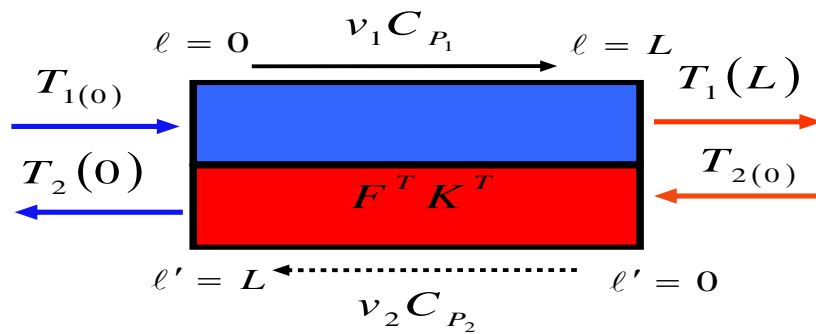


Axborot matritsasi

| $n \backslash P$ | $T_1(0)$ | $T_1(L)$ | $T_2(0)$ | $T_2(L)$ | Δq^T | N^o |
|------------------|----------|----------|----------|----------|--------------|-------|
| 1 Диф. ур. | + | + | | | + | 4 |
| 2 Диф. ур. | | | + | + | + | 5 |
| 3 | + | | + | | + | 3 |
| 1' | + | | | | | 1 |
| 2' | | | + | | | 2 |



Chegaraviy masalalarini yechish.



$$\left. \begin{array}{l} T_1(0) \\ T_2(0) \end{array} \right\} \ell = 0 \\
 \ell' = L - \ell \\
 d\ell' = -d\ell$$

$$1) \frac{dT_1}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_1 C_{P_1}} \Delta q_1^T$$

$$2) \Delta q_1^T = K^T (T_2 - T_1)$$

.....

$$3) \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} \Delta q_2^T$$

$$4) \Delta q_2^T = K^T (T_1 - T_2)$$

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

Matematik tavsifning tenglamalar tizimi:

$$1) \frac{dT_1}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_1 C_{P_1}} \Delta q_1^T$$

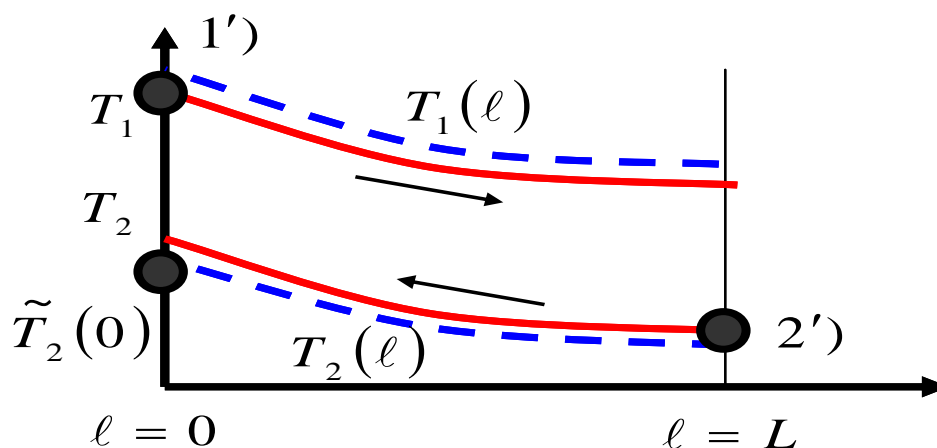
$$2) \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} \Delta q^T$$

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

$$T_1(0) = T_{1(0)}$$

$$T_2(0) = T_{2(0)}$$

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:

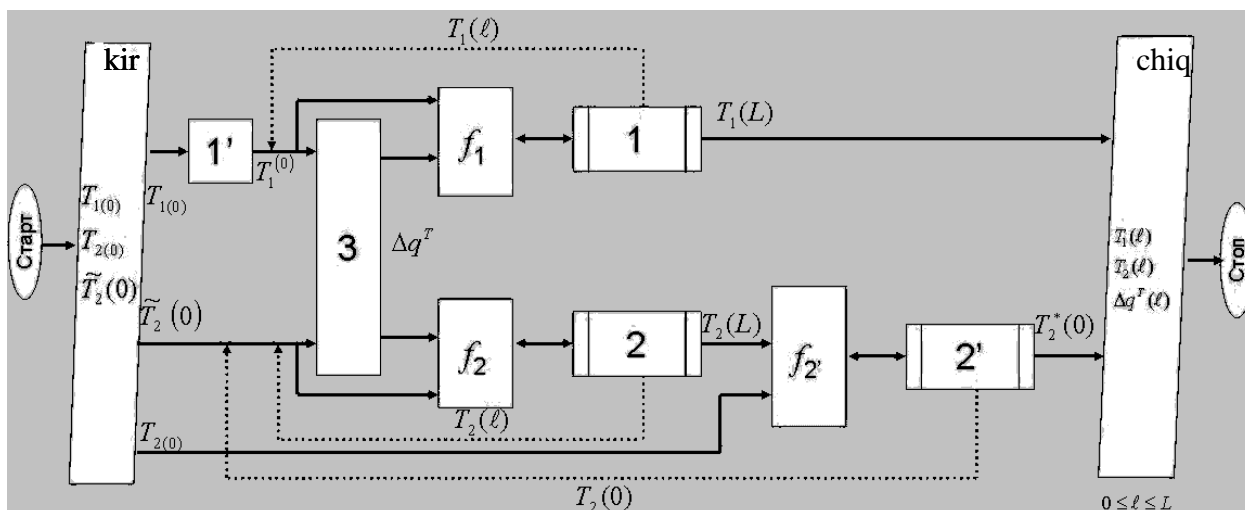
$$T_{2(0)} = ?$$

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

| $n \backslash p$ | $T_1(0)$ | $T_1(L)$ | $T_2(0)$ | $T_2(L)$ | Δq^T | N^o |
|------------------|----------|----------|----------|----------|--------------|-------|
| 1 Диф. ур. | + | + | | | + | 3 |
| 2 Диф. ур. | | | + | + | + | 4 |
| 3 | + | | + | | + | 2 |
| 1' | + | | | | | 1 |
| 2' Кор. ур. | | | + | + | | 5 |

Algoritmning blok-sxemasi



O‘z - o‘zini tekshirish uchun topshiriq:

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 algoritmining 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 algoritmining 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).

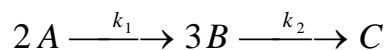


b) Issiqlik tashuvchi teskari oqim rejimida harakatlanadi (Chegaraviy masala).



Asosiy qo'yimlar:

– mikrokinetika: reaksiya



$$(-\Delta H_1) \quad (-\Delta H_2)$$

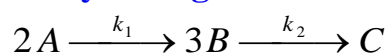
– oqimlar harakati ideal o'rin almashishning gidrodinamik modellari bilan keltiriladi;

– 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:

$$g_A^R, g_B^R, g_C^R, \Delta q^R,$$

$$\begin{bmatrix} g_A^R \\ g_B^R \\ g_C^R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 & 0 \\ 3 & -3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} k_1 x_A^2 \\ k_2 x_B^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2k_1 x_A^2 \\ 3k_1 x_A^2 + 3k_2 x_B^3 \\ k_2 x_B^3 \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}^R = \bar{\alpha} \cdot \bar{r}$$

$$g_A^R = -2 \cdot r_1$$

$$g_B^R = 3 \cdot r_1 - 3 \cdot r_2$$

$$\text{rang}(\bar{a}) = 2$$

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:

$$x_C = x_C^{(0)} - \frac{1}{2}(x_A - x_A^{(0)}) - \frac{1}{3}(x_B - x_B^{(0)})$$

$$\Delta q^R = \sum_{j=1}^2 \left| \alpha_{p_j} \right| (-\Delta H_{p_j}) \cdot r_j = 3(\Delta H_{B1}) \cdot r_1 + 1(-\Delta H_{C2}) \cdot r_2$$

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')
$$x_A(0) = x_A^{(0)}$$

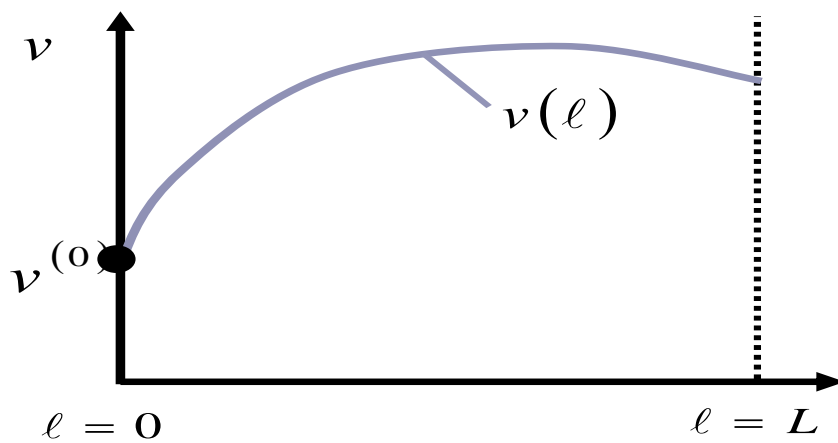
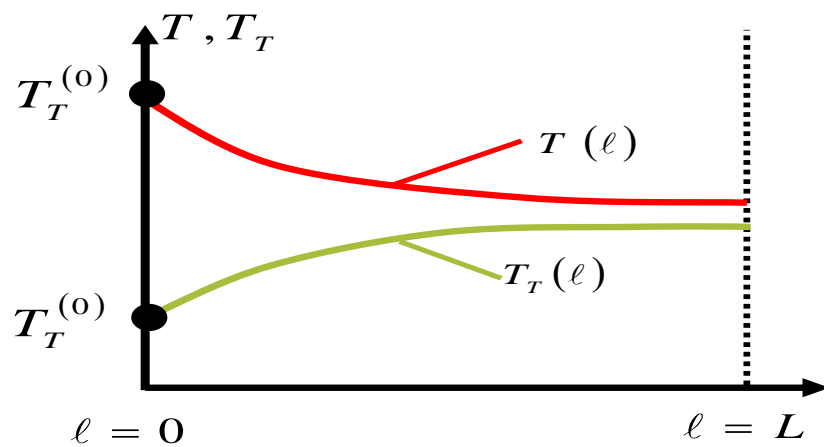
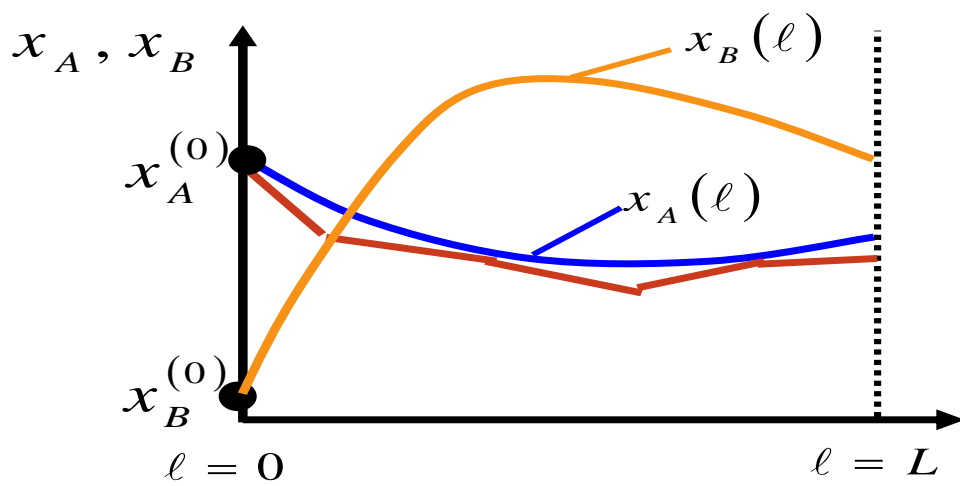
(1.2')
$$x_B(0) = x_B^{(0)}$$

(5')
$$v(0) = v^{(0)}$$

(6')
$$T(0) = T^{(0)}$$

(11')
$$T_T(0) = T_T^{(0)}$$

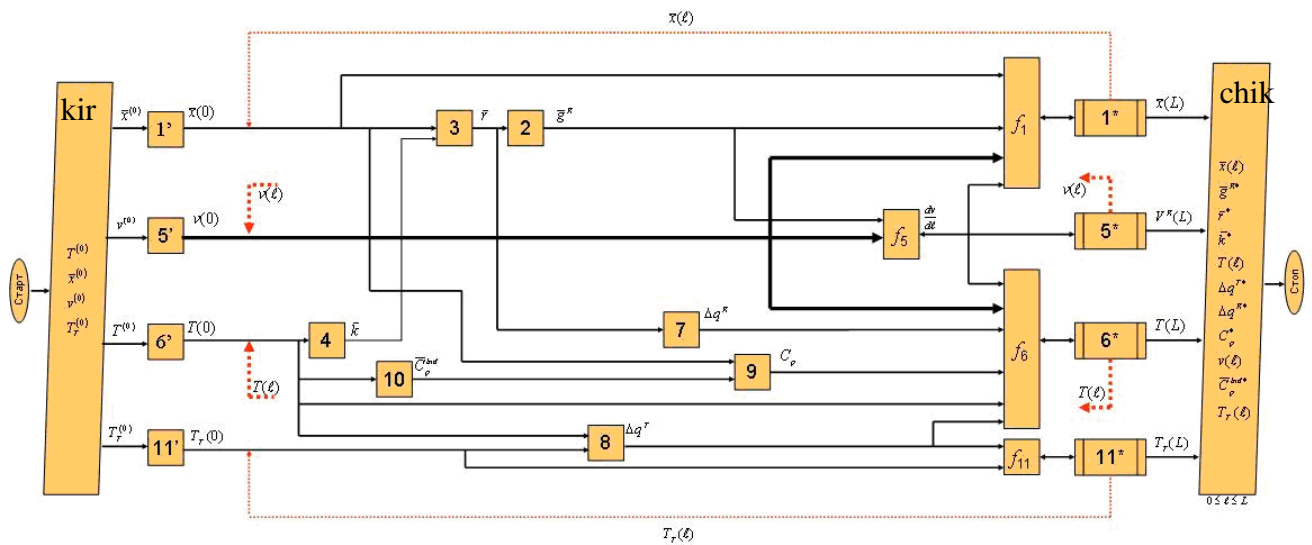
Kompyutyerda xususiy yechimni aniqlash uchun Koshi masalasi yoki boshlang'ich shartli masala yechiladi – «o‘rin almashish – urin almashish» issiqlik almashish apparatiga qarang (to‘g‘ri oqim).



Axborot matritsasi (to'g'ri oqim)

| $n \setminus P$ | $\bar{x}_{(a)(0)}$ | $\bar{x}_{(a)(L)}$ | $\bar{x}_{(a)(0)}$ | $\bar{x}_{(a)(L)}$ | $\bar{x}_{(c)(0)}$ | $\bar{x}_{(c)(L)}$ | $\bar{g}_{(n)}^R$ | $\bar{r}_{(m)}$ | $\bar{k}_{(m)}$ | $\tau(0)$ | $\tau(L)$ | Δq^T | Δq^R | C_p | $v(0)$ | $v(L)$ | f_s | $\bar{C}_{p(0)}$ | $\tau_r(0)$ | $\tau_r(L)$ | N^o |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|--------------|--------------|-------|--------|--------|-------|------------------|-------------|-------------|-------|
| $\bar{1}_{(n)}$ [ИФ. УР] | + | + | + | + | + | + | + | | | | | | | | + | | + | | | | 14 |
| $\bar{2}_{(n)}$ | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | 8 |
| $\bar{3}_{(m)}$ | + | | + | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | 7 |
| $\bar{4}_{(m)}$ | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | 5 |
| 5^* [ИФ. УР] | | | | | | | | | | | | | | | + | + | + | | | | 13 |
| $5^* \cdot]$ | | | | | | | + | | | | | | | | + | | + | | | | 12 |
| 6^* [ИФ. УР] | | | | | | | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | | | | 15 |
| 7 | | | | | | | | + | | | | | + | | | | | | | | 10 |
| 8 | | | | | | | | | | + | | + | | | | | | | | + | 9 |
| 9 | + | | + | | + | | | | | | | | | | | | | | | + | 11 |
| $\bar{10}_{(n)}$ | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | + | 6 |
| 11^* [ИФ. УР] | | | | | | | | | | | | + | | + | | | | | | + | 16 |
| $\bar{1}_{(n)}$ | + | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 5' | | | | | | | | | | | | | | | + | | | | | | 2 |
| 6' | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | | 3 |
| 11' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | + | 4 |

Hisoblash algoritmining blok-sxemasi (to'g'ri oqim)



Jarayonning matematik tavsifi (teskari oqim).

Ideal o'rin almashish modelining komponentli balansi:

$$1.1) \quad x_A \frac{dv}{d\ell} + v \frac{dx_A}{d\ell} = \frac{V_R}{L} g_A^R \Rightarrow \frac{dx_A}{d\ell} = \frac{V_R}{vL} g_A^R - \frac{x_A}{v} \frac{dv}{d\ell}$$

$$1.2) \quad \frac{dx_B}{d\ell} = \frac{V_R}{L} g_B^R - \frac{x_B}{v} \frac{dv}{d\ell}$$

$$1.3) \quad x_C = x_C^{(0)} - \frac{1}{2} (x_A - x_A^{(0)}) - \frac{1}{3} (x_B - x_B^{(0)})$$

$$2.1) \quad g_A^R = -2 \cdot r_1$$

$$2.2) \quad g_B^R = 3 \cdot r_1 - 3 \cdot r_2$$

$$2.3) \quad g_C^R = r_2$$

$$3.1) \quad r_1 = k_1 x_A^2$$

$$3.2) \quad r_2 = k_2 x_B^3$$

$$4.1) \quad k_1 = A_1 \exp(-E_1/RT)$$

$$4.2) \quad k_2 = A_2 \exp(-E_2/RT)$$

$$5) \quad \frac{dv}{d\ell} = \frac{V_R}{L} (g_A^R + g_B^R + g_C^R)$$

$$\frac{d(vT)}{d\ell} = \frac{V_R}{C_p L} \Delta q^R + \frac{F_T}{C_p L} \Delta q^T \Rightarrow$$

6)

$$\Rightarrow \frac{dT}{d\ell} = \frac{V_R}{vC_p L} \Delta q^R + \frac{F_T}{vC_p L} \Delta q^T - \frac{T}{v} \cdot \frac{dv}{d\ell}$$

$$7) \quad \Delta q^R = 3(-\Delta H_{B1})r_1 + (-\Delta H_{C1})r_2$$

$$8) \quad \Delta q^T = K^T (T_T - T)$$

$$9) \quad C_p = C_{pA}^{ind} x_A + C_{pB}^{ind} x_B + C_{pC}^{ind} x_C$$

$$10.1) \quad C_{pA}^{ind} = a_A + b_A T + c_A T^2 + d_A T^3$$

$$10.2) \quad C_{pB}^{ind} = a_B + b_B T + c_B T^2 + d_B T^3$$

$$10.3) \quad C_{pC}^{ind} = a_C + b_C T + c_C T^2 + d_C T^3$$

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:

$$(1.1') \quad x_A(0) = x_A^{(0)}$$

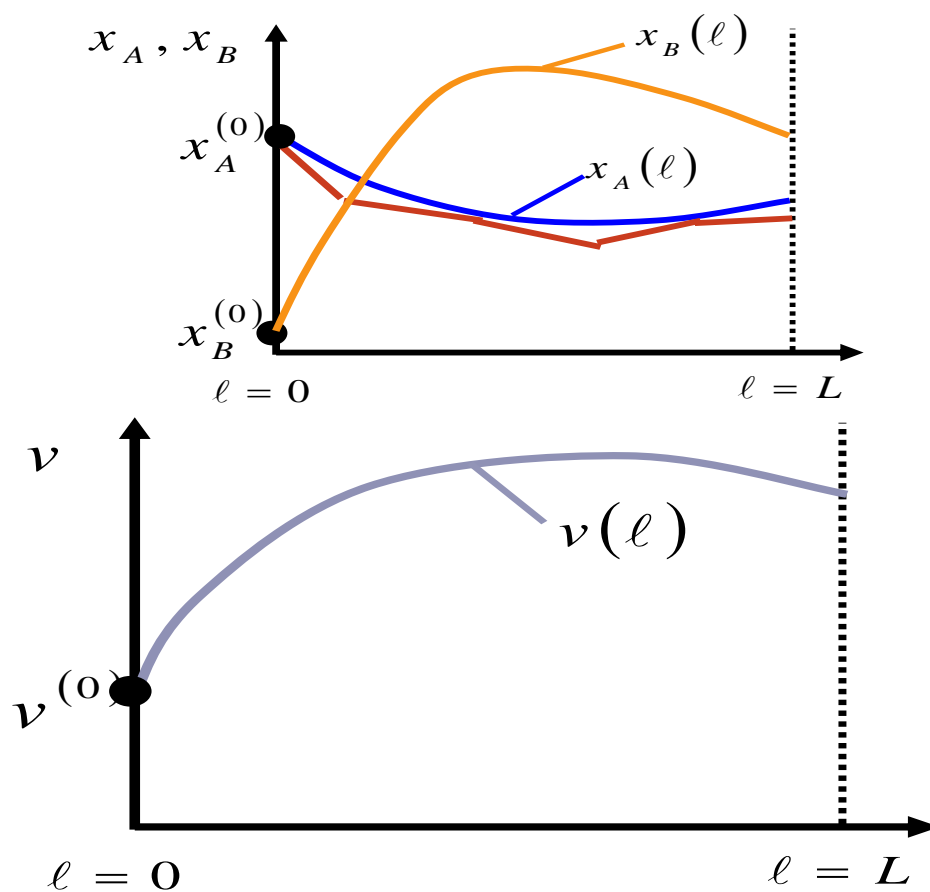
$$(1.2') \quad x_B(0) = x_B^{(0)}$$

$$(5') \quad v(0) = v^{(0)}$$

$$(6') \quad T(0) = T^{(0)}$$

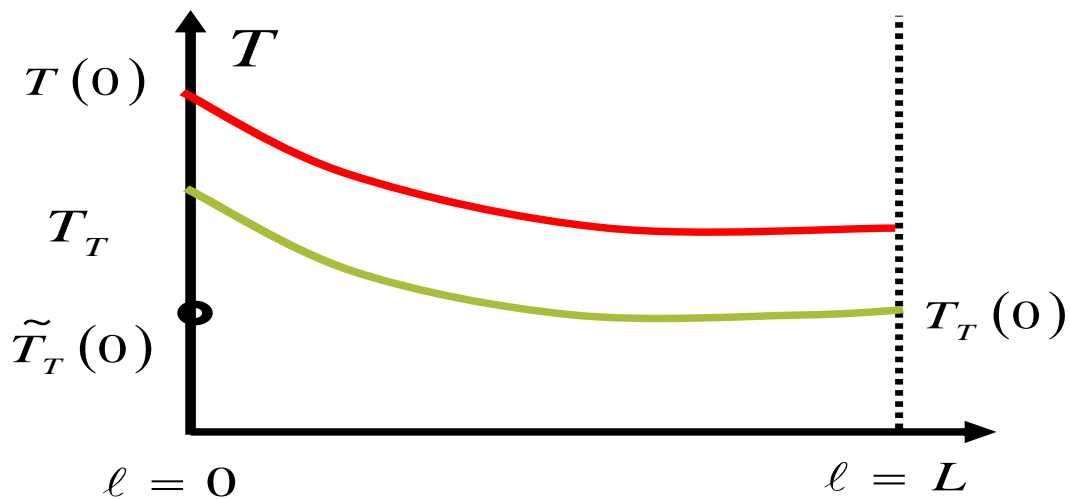
$$(11') \quad T_T(0) = T_T^{(0)}$$

Kompyuterda xususiy yechimni aniqlash uchun chegara shartli chegaraviy masala yechiladi – «o'rin almashish – o'rin almashish» issiqlik apparatiga qarang (teskari oqim).



Boshlang'ich yaqinlashish:

$\tilde{T}_T(0)$

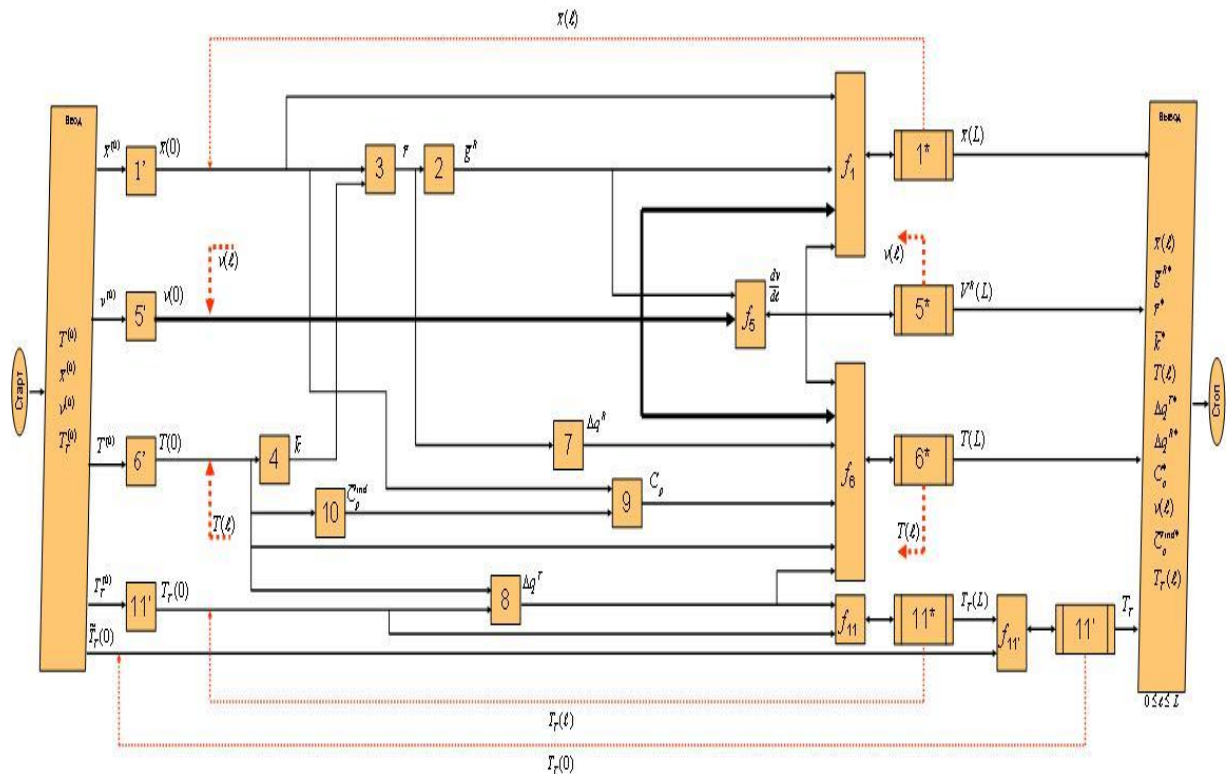


Tenglamada chegaraviy shart quyidagi kattalikka aylantiriladi: $\tilde{T}_T(0)$, ya'ni kirishga issiqlik tashuvchi haroratining kattaliklari.

Axborot matritsasi (teskari oqim)

| n | P | $\bar{x}_{(n)}(0)$ | $\bar{x}_{(n)}(L)$ | $\bar{x}_{(n)}(0)$ | $\bar{x}_{(n)}(L)$ | $\bar{x}_{(n)}(0)$ | $\bar{x}_{(n)}(L)$ | $\bar{g}_{(n)}^R$ | $\bar{r}_{(n)}$ | $\bar{k}_{(n)}$ | $T(0)$ | $T(L)$ | Δq^T | Δq^R | C_p | $v(0)$ | $v(L)$ | f_5 | $\bar{C}_{p(0)}^{ind}$ | $\tau_r(0)$ | $\tau_r(L)$ | N^o |
|-----|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-----------------|--------|--------|--------------|--------------|-------|--------|--------|-------|------------------------|-------------|-------------|-------|
| 1 | $\bar{T}_{(n)}$ Диф. ур. | + | + | + | + | + | + | + | | | | | | | | + | | + | | | | 14 |
| 2 | $\bar{2}_{(n)}$ | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | 8 |
| 3 | $\bar{3}_{(m)}$ | + | | + | | + | | | + | + | | | | | | | | | | | | 7 |
| 4 | $\bar{4}_{(m)}$ | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | 5 |
| 5 | $\bar{5}^*$ Диф. ур. | | | | | | | | | | | | | | | + | + | + | | | | 13 |
| 6 | $\bar{5}^*$ | | | | | | | + | | | | | | | | + | | + | + | | | 12 |
| 7 | $\bar{6}^*$ Диф. ур. | | | | | | | | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | | | | 15 |
| 8 | 7 | | | | | | | | + | | | | | + | | | | | | | | 10 |
| 9 | 8 | | | | | | | | | | + | | + | | | | | | | | + | 9 |
| 10 | $\bar{10}_{(n)}$ | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | + | 6 |
| 11 | $\bar{11}^*$ Диф. ур. | | | | | | | | | | | + | | | + | | | | | | + | 16 |
| 12 | $\bar{11}^*$ | + | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 13 | 5' | | | | | | | | | | | | | | | + | | | | | | 2 |
| 14 | 6' | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | | 3 |
| 15 | 11' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | + | 4 |

Hisoblash algoritmining blok-sxemasini (teskari oqim)



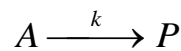
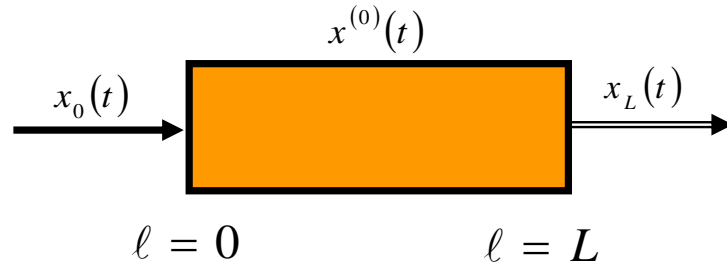
$$T_T(\ell = 0) \Rightarrow T_T(0)$$

11) tenglamaning yechimi:

$$T_T(0)^*$$

$$f_{11'} = T_T(L)\{T_T(0)\} - T_T^{(0)} = 0$$

4.1.5.2. Nostatsionar rejimdagi quvurli reaktorlar



Asosiy qo'yimlar:

Izotermik rejim;

Bir parametrlilik diffuziyali model.

Matematik tavsifning tenglamasi:

$$\frac{V^R}{L} \frac{\partial x}{\partial t} = \frac{DV^R}{L} \frac{\partial^2 x}{\partial \ell^2} - v \frac{\partial x}{\partial \ell} + G_{A(\ell)}^R$$

$$x = [A]; S = \frac{V^R}{L}; G_{A(\ell)}^R = \frac{V^R}{L} g_A = -kx, V = S \cdot W$$

$$1) \frac{\partial x}{\partial t} = D \frac{\partial^2 x}{\partial \ell^2} - W \frac{\partial x}{\partial \ell} - kx$$

1) tenglama ikki mustaqil o'zgaruvchi t va ℓ ga ega parabolik tipdagi ikkinchi tartibli xususiy hosilali differensial tenglama hisoblanadi va agar oqim uchun bir parametrlilik diffuziyali model qabul qilingan bo'lsa, yagona oddiy reaksiya oqib o'tuvchi reaktorning nostatsionar rejimini tavsiflaydi.

Topish lozim:

$$x = x(t, \ell)$$

$$t^{(0)} \leq t \leq t^{(k)}$$

$$0 \leq \ell \leq L$$

Boshlang'ich shart:

$$1') x(t^{(0)}, \ell) = x^{(0)}(\ell), 0 \leq \ell \leq L$$

Chegaraviy shart:

$$1'') \begin{cases} x(t, 0) = x_0(t) \\ x(t, L) = x_L(t) \end{cases} \quad t^{(0)} \leq t \leq t^{(k)}$$

Xususiy hosilalarda differensial tenglamalar tizimi (XHDTT) ni yechish uchun hosilasi ma'lum $[t^{(0)}, t^{(k)}]$ va/yoki $[0, L]$ intervaldagi chekli – farqli shaklda

namoyon bo‘luvchi diskretlashtirish usulidan foydalanish mumkin, natijada 1’) va 1’’) chegara shartli 1) tenglama chekli tenglamalar tizimi (CHTT) dagi va/yoki oddiy differensial tenglamalar tizimi (ODTT) ga aylanib qoladi.

Bu tenglamalar uchun diskretlashtirishning uchta variantdan foydalanish mumkin:

1) ℓ mustaqil o‘zgaruvchi bo‘yicha:

$$\frac{\partial x}{\partial \ell} \cong \frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta \ell}$$

$$i = 1, \dots, n - 1$$

Natijada t mustaqil o‘zgaruvchili 1 – tartibli oddiy differensial tenglamalar tizimi olinadi.

2) Mustaqil t o‘zgaruvchi bo‘yicha:

$$\frac{\partial x}{\partial t} \cong \frac{x_{j+1} - x_j}{\Delta \ell}$$

$$j = 1, \dots, m - 1$$

Natijada ℓ mustaqil o‘zgaruvchili 2 – tartibli oddiy differensial tenglamalar tizimi olinadi.

3) ℓ va t mustaqil o‘zgaruvchilar bo‘yicha:

$$\frac{\partial x}{\partial \ell} \cong \frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta \ell}$$

$$i = 1, \dots, n - 1$$

$$\frac{\partial x}{\partial t} \cong \frac{x_{j+1} - x_j}{\Delta \ell}$$

$$j = 1, \dots, m - 1$$

Natijada chekli tenglamalar tizimi olinadi.

Mustaqil o‘zgaruvchi bo‘yicha diskretlashtirishning 1 - variantini batafsil ko‘rib chiqamiz:



$0 \leq \ell \leq L$ da hosilalarning chekli - ayirmali keltirilishi quyidagi ko‘rinishga ega:

– «Kamchiliklar bo‘yicha» hosila:

$$\left. \frac{\partial x_i}{\partial t} \right|_{\ell - \Delta \ell} \cong \frac{x_i - x_{i-1}}{\Delta \ell}$$

– «Ortiqchalik bo‘yicha» hosila:

$$\left. \frac{\partial x_i}{\partial t} \right|_{\ell + \Delta \ell} \cong \frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta \ell}$$

– Ikkinchi hosila:

$$\frac{\partial^2 x_i}{\partial \ell^2} \cong \frac{\left. \frac{\partial x_i}{\partial \ell} \right|_{\ell+\Delta\ell} - \left. \frac{\partial x_i}{\partial \ell} \right|_{\ell-\Delta\ell}}{\Delta\ell} = \frac{x_{i+1} - 2x_i + x_{i-1}}{\Delta\ell}$$

Ushbu holda 1'') chegaraviy shart quyidagiga teng:

$$x(t, 0) = x_0(t) = x_0$$

$$x(t, L) = x_L(t) = x_n$$

Natijada xususiy hosilalarda tenglamalardan birini diskretlashtirish oqibatida t mustaqil o'zgaruvchili va 1') boshlang'ich shartli, quyidagi diskret ko'rinishga keltirilgan oddiy differensial tenglamalarning $(n-1)$ tizimi olinadi:

$$x_i(t^{(0)}) = x_i^{(0)}$$

$$i = 1, \dots, n-1$$

Agar chekli - ayirmali keltirishlarda «ortiqchalik bo'yicha hosila» hosilasidan foydalanilsa, unda boshlang'ich shartli oddiy differensial tenglamalar tizimi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\bar{1}) \quad \frac{\partial x_i}{\partial t} = D \frac{x_{i+1} - 2x_i + x_{i-1}}{(\Delta\ell)^2} - W \frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta\ell} - kx_i$$

$$i = 1, \dots, n-1$$

$$\bar{1}') \quad x_i(t^{(0)}) = x_i^{(0)}$$

$$i = 1, \dots, n-1$$

$\bar{1})$ tenglamani o'zgartirib va uning parametrlari (D , W va k) ni o'zgarmas hisoblanishini ko'rsatib, quyidagi oddiy differensial tenglamalar tizimini olish mumkin:

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{D}{(\Delta\ell)^2} x_{i-1} + \left[\frac{W}{\Delta\ell} - k - \frac{2D}{(\Delta\ell)^2} \right] x_i + \left[\frac{D}{(\Delta\ell)^2} - \frac{W}{\Delta\ell} \right] x_{i+1}$$

$$i = 1, \dots, n-1$$

yoki

$$\begin{bmatrix} \frac{dx_1}{dt} \\ \frac{dx_2}{dt} \\ \vdots \\ \frac{dx_{n-2}}{dt} \\ \frac{dx_{n-1}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b & c & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ a & b & c & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a & b & c \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & a & b \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{n-2} \\ x_{n-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ax_0 \\ 0 \\ \vdots \\ cx_n \end{bmatrix},$$

bu yerda,

$$a = \frac{D}{(\Delta \ell)^2}; \quad b = \frac{W}{\Delta \ell} - k - \frac{2D}{(\Delta \ell)^2}; \quad c = \frac{D}{(\Delta \ell)^2} - \frac{W}{\Delta \ell}$$

Ifodalanganligidan kelib chiqib $\bar{1}$) tenglama $\bar{1}$) chegaraviy shartni o'z ichiga oladi va matritsa ko'rinishida quyidagicha ko'rsatilishi mumkin:

$$\begin{aligned} \bar{1}) \quad \frac{dx}{dt} &= \bar{A} \bar{x} + \bar{S} \\ \bar{1}) \quad \bar{x}(t^{(0)}) &= \bar{x}^{(0)}, \end{aligned}$$

bu yerda, \bar{S} – chegaraviy shartli vektor, $\bar{1}$) boshlang'ich shart esa quyidagi boshlang'ich shart bilan diskret holga keltirilgan hisoblanadi:

$$\bar{1}) \quad x^{(0)}(\ell) = 0 \quad 0 \leq \ell \leq L$$

Olingan bir jinsli bo'lmagan oddiy differensial tenglamalar tizimi ixtiyoriy ma'lum usullar (masalan, Eyer usuli yoki Runge–Kutt usuli) bilan oson yechilishi mumkin, chunki uning \bar{A} koeffitsiyentlari matritsasi uch diagonallidir.

O'z - o'zini tekshirish uchun topshiriq

To'g'ri oqim rejimida (issiqlik tashuvchining asosiy oqimi va oqimi ideal o'rin almashish modeli bilan ifodalanuvchi) harakatlanuvchi statsionar rejimdagi issiqlik tashuvchilarning murakkab ko'p bosqichli kinetik reaksiyalari sxemalariga ega gomogen uzluksiz suyuq fazali izotermik quvurli reaktorlar uchun to'g'ridan-to'g'ri masalalarni yechishning matematik tavsifi va algoritmining blok - sxemasini tuzish.

Teskari oqim rejimida (issiqlik tashuvchining asosiy oqimi va oqimi ideal o'rin almashish modeli bilan ifodalanuvchi) harakatlanuvchi statsionar rejimdagi issiqlik tashuvchilarning murakkab ko'p bosqichli kinetik reaksiyalari sxemalariga ega gomogen uzluksiz suyuq fazali izotermik quvurli reaktorlar uchun to'g'ridan-to'g'ri masalalarni yechishning matematik tavsifi va algoritmining blok - sxemasini tuzish.

Asosiy oqimning harakati bir parametrlil diffuziyali model bilan ifodalanuvchi nostatsionar rejimdagi oddiy kinetik $A \rightarrow V$ reaksiyalar sxemasiga ega gomogen uzluksiz suyuq fazali izotermik quvurli reaktorlar uchun to'g'ridan-to'g'ri masalalarni yechishning matematik tavsifi va algoritmining blok - sxemasini tuzish.

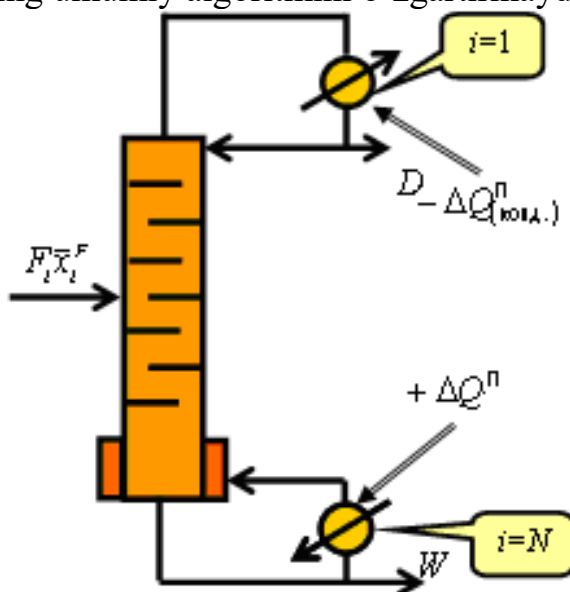
4.1.6. Tarelkali kolonnalardagi ko'p komponentli uzluksiz rektifikatsiya jarayonini kompyuterli modellashtirish, hisoblash va algoritmlashtirish

Rektifikatsiya – o'zaro to'la yoki qisman erigan suyuqlik aralashmalarini teskari oqim bo'yicha harakatlanuvchi suyuqlik bug'lari o'rtasida issiqlik massasining almashish yo'li bilan ajratish jarayoni bo'lib, natijada yengil uchuvchi komponentlar yuqoriga (deflegmatorga) ko'tariladi, og'ir uchuvchi komponentlar esa pastga (kollonna kubiga) tushadi.

Rektifikatsiya qurilmasi kub, N tarelkadan iborat kolonna va deflegmatordan tashkil topadi.

Rektifikatsiya kolonnasining matematik modeli balans munosabatlari, bug‘ - suyuqlik muvozanati, massa uzatish kinetikasi va oqimlarning gidrodinamikasini hisobga olishi kerak.

Modellarning asosini kolonnaning material va issiqlik balanslari tashkil etadi. Bug‘ - suyuqlik muvozanati, massa uzatish kinematikasi va oqimlar gidrodinamikasi o‘zida mustaqil murakkab masalalarni namoyon qiladi. Fazaviy muvozanat, kinetika va gidrodinamikani hisoblashning turli usullaridan foydalanish balans munosabatlaridagi alohida koeffitsiyentlar yoki bog‘liqliklarni o‘zgarishiga olib keladi, biroq yechimning umumiy algoritmini o‘zgartirmaydi.



Belgilash:

tarelkalar yuqoridan pastga tomon raqamlanadi;

1 tarelka kondensator yoki deflegmator;

N tarelka kubning qaynatgichi.

Asosiy qo‘yimlar:

kolonnada faqat ikki fazalar – suyuqlik va bug‘ bor;

oraliq tarelkali oqimlarda, kub va kondensatordan tashqari,

qo‘shimcha tanlab olishlar amalga oshirilmaydi;

tarelkalar orasidagi sohada fazalar o‘rtasida kontakt yo‘q;

tarelkalar orasidan suyuqlikni olib ketib bo‘lmaydi;

kolonnaning tarelkalarga faqat massa uzatish jarayoni oqib keladi.

$$x_{ij} \quad (i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, n);$$

Modellarning afzalliklari:

n -komponentli aralashma nazarda tutiladi, masalan, i tarelkadagi suyuqlikning konsentratsiyasi quyidagicha keltirilishi mumkin:

har bir tarelkaga quyidagi konsentratsiyali suyuqlik manbai F_i ning oqimi kelishi mumkin:

$$x_{ij}^F \quad (i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, n)$$

har bir tarelkaga ΔQ^o issiqlik oqimi kelishi yoki ketishi mumkin (ΔQ^o – issiqlik kelsa, musbat; ΔQ^o – issiqlik ketsa, manfiy); tarelkalardagi massa uzatish samaradorligini ko‘p komponentli aralashmalar uchun Merfning modifikatsiyalangan FIK idan foydalanib baholash mumkin:

$$E_{ij} = \frac{y_{ij} - y_{i+1,j}}{y_{ij}^* - y_{i+1,j}} \quad (1)$$

bu yerda, y_{ij} – i -tarelkadan ketayotgan bug‘ fazalarining ulushlardagi tarkibi; $y_{i+1,j}$ – i - tarelkaga $i+1$ – tarelkadan kelayotgan bug‘ fazalarining ulushlardagi tarkibi; y_{ij}^* – i - tarelkadagi bug‘ fazalarining ulushlardagi muvozanat tarkibi.

$$(i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, n)$$

i – tarelkadagi bug‘ fazalarining muvozanat tarkibi quyidagi formula bo‘yicha aniqlanadi:

$$y_{ij}^* = K_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

$$(i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, n)$$

bu yerda, K_{ij} – dlya j – komponent uchun i – tarelkadagi fazaviy muvozanat konstantasi;

x_{ij} - i – tarelka ulushidagi suyuq fazaning tarkibi.

Shunday qilib, modellarni qurish uchun quyidagilar bo‘lishi lozim:

suyuqlik – bug‘ fazaviy muvozanatining modelini qurish;

tarelkadagi ajralish jarayonining modelini uning samaradorligini hisobga olib

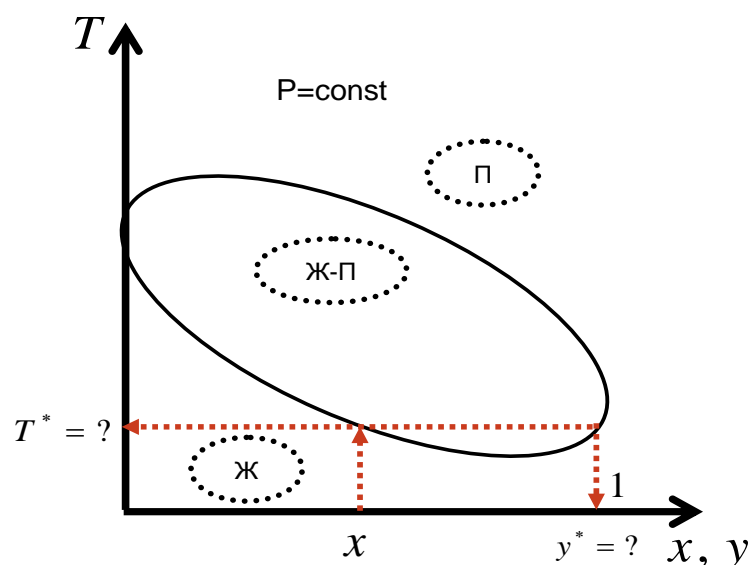
(2), ya’ni ko‘p komponentli massa uzatishni hisobga olib qurish;

tarelkali rektifikatsiya kolonnasining modelini qurish, ya’ni F_i oqim manbai va oqim bilan keluvchi (ketuvchi) issiqlik ΔQ_i^{Π} .

Uzluksiz rektifikatsiya kolonnalarining modellarini qurish bosqichlari

1. Suyuqlik – bug‘ fazaviy muvozanati.

Binar tizimida suyuqlik – bug‘ muvozanati ma’lumotlarining tasvirlanishi:



Masala: bitta tajriba nuqtasi – suyuqlikdagi komponent ulushi (x) va umumiy bosim (R) da muvozanat shartlarini aniqlash.

Berilgan: x, R

Aniqlanadi: y, T - muvozanat shartlarida.

Umumiy hollarda ushbu model binar ($n = 2$) tizimlar uchun emas, ko'p komponentli tizimlar uchun tuziladi va o'zida: jarayonning MT, axborot matritsasi va yechish algoritmining blok - sxemasini mujassamlashtiradi.

Ko'p komponentli tizimlar uchun jarayonning matematik tavsifi

1) Koeffitsiyentlar faolligi γ_j ($j = 1, \dots, n$) yordamida ideal bo'lmagan suyuq fazalarni hisobga olib Dalton - Raulning birlashish qonuni:

$$\bar{1}n) \quad P y_j = P_j^0 x_j \gamma_j$$

$$(j = 1, \dots, n)$$

2) Antuan tenglamasi bo'yicha individual j (P_j^0) modda to'yingan bug'ining (T) harorat bilan bog'liqligi:

$$\bar{2}n) \quad P_j^0 = \exp \left(A_j + \frac{B_j}{C_j + T} \right)$$

$$(j = 1, \dots, n)$$

bu yerda, A_j, B_j, C_j ($j = 1, \dots, n$) – ma'lum konstantalar;

P_j^0 ($j = 1, \dots, n$) – j individual modda to'yingan bug'ining bosimi.

2) Suyuq faza (\bar{x}) tarkibi, harorat (T) va binar o'zaro ta'sir (\bar{a}) larning ma'lum konstantasi tizimi komponentlari faolligi koeffitsiyentlarining ma'lum bog'liqligi:

$$\bar{3}n) \quad \gamma_j = \gamma_j(\bar{x}, T, \bar{a})$$

$$(j = 1, \dots, n)$$

4) Bug' fazalari muvozanatining molli ulushlari uchun stexiometrik nisbat:










$$4) \sum_{j=1}^n y_j = 1$$

Natijada $3n + 1$ tenglamalar tizimi olinadi va aniqlovchilar sifatida quyidagilarni tanlaymiz:

- bug' fazasining molli ulushi;
 - individual moddalar to'yingan bug'larining bosimi;
 - aralashma komponentlarining faollik koeffitsiyentlari;
- T – harorat.

Qolgan o'zgaruvchilar va konstantalar berilgan bo'lishi kerak.

Matematik tavsif tenglamalari tizimining axborot matritsasi.

| $n \backslash p$ | \bar{y}_n | \bar{P}_n^0 | $\bar{\gamma}_n$ | T | N^o |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| $\bar{1}_n$ |  |  |  | | 3 |
| $\bar{2}_n$ | |  | |  | 1 |
| $\bar{3}_n$ | | |  |  | 2 |
| 4 Kop. yp. |  | | |  | 4 |

$$4) \sum_{j=1}^n y_j \{T\} - 1 = 0$$

$$f(T) \equiv \sum_{j=1}^n y_j \{T\} - 1 = 0$$

Tenglamani yechish natijasi: T^* – muvozanat harorati yoki aralashmaning qaynash harorati.

Bu haroratda (1) tenglamadan \bar{y}^* konsentratsiyalar muvozanati aniqlanadi:

$$y_j^* = \frac{P_j^0 x_j \gamma_j}{P}$$

$$(j = 1, \dots, n)$$

Ideal suyuqlik fazasi $\gamma_j = 1$, ($j = 1, \dots, n$), uchun

$$y_j^* = \frac{P_j^0}{P} x_j$$

$$(j = 1, \dots, n)$$

Ideal suyuqlik va bug‘ fazalari uchun fazaviy munosabat doimiysi quyidagicha aniqlanadi:

$$K_j = \frac{P_j^0}{P}$$

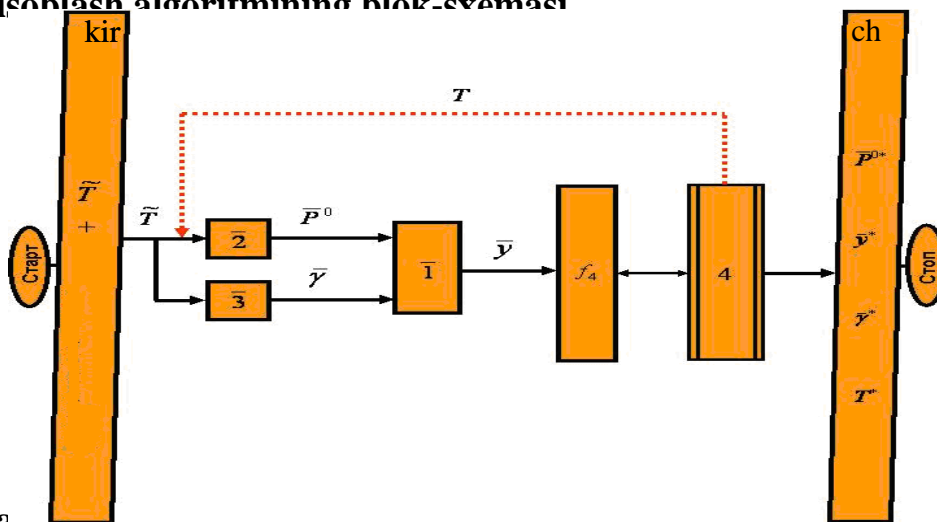
$$(j = 1, \dots, n)$$

va faqatgina haroratga bog‘liq, xuddi shunday Antuan tenglamasi P_j^0 faqat haroratga bog‘liq.

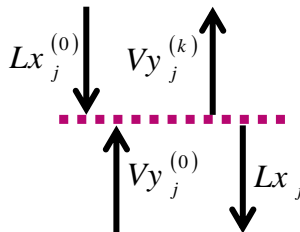
Natijada bug‘ fazasining muvozanat tarkibi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$y_j^* = K_j x_j \quad (j = 1, \dots, n)$$

Hisoblash algoritmining blok-sxemasi



Harakatlanuvchi oqimlar guruhidagi oqimlar va ularning olinadigan tarelkadagi ko‘p komponentli massa uzatish.



2.1. Asosiy qo‘yimlar:

- statsionar rejim;
- suyuqlik oqimining harakati ideal aralashish modeli bilan, bug‘niki esa ideal o‘rin almashish modeli bilan keltirilishi mumkin;
- tarelkada faqat ko‘p komponentli massa uzatish yuz beradi;
- massa uzatish koeffitsiyentlari matritsasining samarali kesishishlarini e‘tiborga olmasa ham bo‘ladi;
- tarelkadagi suyuqlik (L) va bug‘ (V) oqimlari – doimiy.

Tarelkadagi massa uzatish jarayonining matematik tavsifi.

Suyuqlik fazalar uchun tenglamalar:

$$1) \begin{cases} Lx_j^{(0)} - Lx_j + [F^M g_j^{M(L)}]_{o,r} = 0 \\ j = 1, \dots, n \end{cases}$$

$$2) \begin{cases} g_j^{M(L)} = \sum_{s=1}^n K_{js}^{M(L)} (x_x^* - x_s) \\ j = 1, \dots, n \end{cases}$$

Bug' fazalar uchun teglamalar:

$$\bar{3}) \quad V \frac{dy_j}{dh} = \frac{F^M}{H} g_j^{H(V)} \\ j = 1, \dots, n$$

$$4) \quad g_j^{M(V)} = \sum_{s=1}^n$$

$$4) \quad g_j^{M(V)} = \sum_{s=1}^n K_{js}^{M(V)} (y_x^* - y_s) \\ j = 1, \dots, n$$

Rektifikatsiya uchun quyidagi tenglama to'g'ri:

$$\begin{cases} -g_j^{M(L)} = g_j^{M(V)} \\ j = 1, \dots, n \end{cases}$$

(1) tenglamadagi $[F^M g_j^{M(L)}]_{o,r}$ ni aniqlash uchun quyidagi nisbatdan foydalanamiz:

(2)

$$\begin{aligned} [F^M g_j^{M(L)}]_{o,r} &= F^M \frac{\int_0^H g_j^{M(L)} dh}{H} = -F^M \frac{\int_0^H g_j^{M(V)} dh}{H} = \\ &= -\int_0^H V \frac{dy_j}{dh} dh = -V (y_j^{(k)} - y_j^{(0)}) \\ j &= 1, \dots, n \end{aligned}$$

(1) tenglamadagi almashtirish komponentli balans tenglamasiga olib keladi:

$$\bar{1}n) \quad Lx_j^{(0)} - Lx_j + Vy_j^{(0)} Vy_j^{(0)} \\ j = 1, \dots, n$$

Keyin bug' fazalari (4) atamasidagi massa va issiqlik manbalarining jadalligi jadvallaridan ko'p komponentli massa uzatishning lokal tezliklari tenglamalaridan foydalanamiz:

$$g_j^{M(V)} = \bar{\bar{K}}^{M(V)} (\bar{y}^* - \bar{y})$$

bu yerda \bar{y}^* – bug‘li fazaning muvozanat tarkibi, va uni matritsa shaklida keltiramiz:

$$\begin{bmatrix} g_1^{M(v)} \\ \vdots \\ g_n^{M(v)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11}^{M(v)} & K_{12}^{M(v)} & \dots & K_{1n}^{M(v)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ K_{n1}^{M(v)} & K_{n1}^{M(v)} & \dots & K_{nn}^{M(v)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_n^* - y_1 \\ \vdots \\ y_n^* - y_n \end{bmatrix}$$

Massa uzatish koeffitsiyentlari matritsasining diagonal bo‘lmagan elementlari uning kesishish samaralari deb ataladi va ular diagonal elementlaridan 2 – 3 tartibga kichik bo‘ladi.

Shuning uchun ham ular e‘tiborga olinmaydi (tashlab yuborilishi mumkin). Massa uzatish koeffitsiyentlarining matritsasi diagonal bo‘lib qoladi:

$$\bar{K}^{M(v)} = \begin{bmatrix} \bar{K}_{11}^{M(v)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \bar{K}_{22}^{M(v)} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \bar{K}_{nn}^{M(v)} \end{bmatrix}$$

Natijada massa uzatishning lokal tezliklari uchun (4) tenglama quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$4'n) \quad g_j^{M(v)} = K_{jj}^{M(v)}(y_j^* - y_j) \\ j = 1, \dots, n$$

Tarelkadagi ko‘p komponentli massa uzatishni tavsiflovchi tenglamalar tizimi $3n$ tenglamalar ko‘rinishida ko‘rsatilishi mumkin:

$$1'n) \quad Lx_j^{(0)} - Lx_j + Vy_j^{(0)} - Vy_j^{(k)} = 0 \\ j = 1, \dots, n$$

$$3'n) \quad V \frac{dy_j}{dh} = \frac{F^M}{H} g_j^{M(v)} \\ j = 1, \dots, n;$$

$$4'n) \quad g_j^{M(v)} = K_{jj}^{M(v)}(y_j^* - y_j) \\ j = 1, \dots, n$$

Oxirgi ifodani oldingisiga qo‘yib, integro - differensial tenglamalarning $2n$ tizimi olinadi:

$$1'n) \quad Lx_j^{(0)} - Lx_j + Vy_j^{(0)} - Vy_j^{(k)} = 0 \\ j = 1, \dots, n$$

$$3'n) \quad V \frac{dy_j}{dh} = \frac{F^M}{H} K_{jj}^{M(v)}(y_j^* - y_j) \\ j = 1, \dots, n$$

differensial tenglamaning analitik yechimi:

$$\int_{y_j^{(0)}}^{y_j^{(k)}} \frac{dy_j}{y_j^* - y_j} = \frac{F^M K_{jj}^{M(V)} H}{VH} \int_0^H dh$$

$$- \int_{y_j^{(0)}}^{y_j^{(k)}} \frac{dy_j}{y_j^* - y_j} = \frac{F^M K_{jj}^{M(V)}}{VH} H$$

$$\ln(y_j - y_j^*) \Big|_{y_j^{(0)}}^{y_j^{(k)}} = - \frac{F^M K_{jj}^{M(V)}}{V}$$

$$\frac{y_j^{(k)} - y_j^*}{y_j^{(0)} - y_j^*} = \exp\left(- \frac{F^M K_{jj}^{M(V)}}{V}\right)$$

Tarelkalarining samaradorligini aniqlash uchun yozamiz:

$$E_j = 1 - \frac{y_j^{(k)} - y_j^*}{y_j^{(0)} - y_j^*} = \frac{y_j^{(0)} - y_j^* - y_j^{(k)} + y_j^*}{y_j^{(0)} - y_j^*} = \frac{y_j^{(k)} - y_j^{(0)}}{y_j^* - y_j^{(0)}}$$

yoki:

$$E_j = 1 - \exp\left(- \frac{F^M K_{jj}^{M(V)}}{V}\right)$$

Tarelkaga kelib tushuvchi, massa uzatishda qatnashuvchi bug‘ fazasining tarkibini esa oxirigidan oldingi munosabatni hisobga olib quyidagi formula bo‘yicha hisoblash mumkin:

$$y_j^{(k)} = y_j^{(0)} + E_j (y_j^* - y_j^{(0)}),$$

$$E_j = 1 - \exp\left(- \frac{F^M K_{jj}^{M(V)}}{V}\right)$$

$$j = 1, \dots, n$$

bu yerda,

Nazariy tarelkalar uchun $E_j = 1$ va $y_j^{(k)} = y_j^*$.

Natijada tarelkadagi massa uzatish jarayonining matematik tavsifi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

Suyuq fazalar uchun tenglama:

$$\bar{1} n) \quad Lx_j^{(0)} - Lx_j + Vy_j^{(0)} - Vy_j^{(k)} = 0$$

Bug‘ fazalar uchun tenglama:

$$\bar{2}n) \quad y_j^{(k)} = y_j^{(0)} + E_j (y_j^* - y_j^{(0)})$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$\bar{3}n) \quad E_j = 1 - \exp \left(- \frac{F^M K_{jj}^{M(v)}}{V} \right)$$

$$\bar{4}n) \quad y_j^* = K_j x_j$$

$$j = 1, \dots, n$$

Bug' va suyuq fazalarning ideallik shartlarida:

$$\bar{5}n) \quad K_j = \frac{P_j^{(0)}}{P}$$

$$j = 1, \dots, n$$

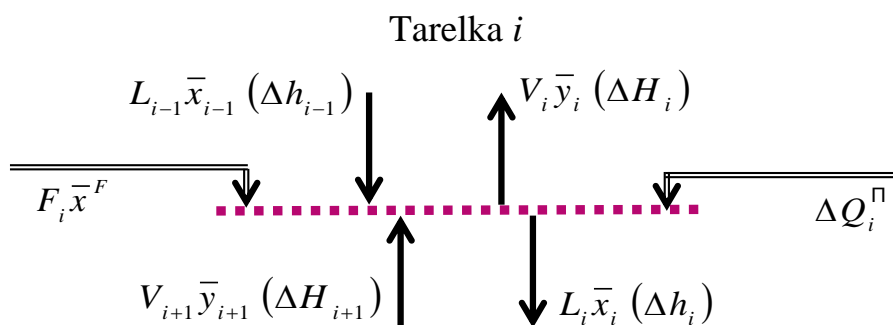
Ushbu holda individual modda to'yingan bug'ining bosimi Antuan tenglamasi bo'yicha aniqlanadi:

$$\bar{6}n) \quad P_j^{(0)} = \exp \left(A_j + \frac{B_j}{C_j + T} \right)$$

$$j = 1, \dots, n$$

bu yerda A_j, B_j, C_j – ma'lum doimiylar.

4.1.6.1. Tarelkali kolonnada ko'p komponentli uzluksiz rektifikatsiyalash jarayonini statsionar rejimining kompyuterli modeli



– tashqi issiqlik oqimi (kondensatorda «minus», qaynatgichda «plyus»);

– $\Delta H_i (\Delta h_i)$ – bug' (suyuq) fazaning entalpiyasi;

F_i – suyuqlik manbaining tashqi oqimi;

N – tarelkalar soni;

i – tarelkalar raqami ($i = 1, \dots, n$);

j – komponent raqami ($j = 1, \dots, n$).

Tarelkalar uchun jarayonning MT ni ($\bar{1}_n, \bar{2}_n, \bar{3}_n, \bar{4}_n, \bar{5}_n, \bar{6}_n$) tenglamasini tuzishda N marta takrorlash (birinchi indeks i 1 dan N gacha almashadi) zarur va barcha tarelkalar uchun issiqlik balans tenglamasi hamda bug‘ va suyuq fazalar tarkibi uchun stexiometrik munosabatlarni qushish lozim.

Natijada uzluksiz rektifikatsiya jarayonini statsionar rejimining MT si olinadi.

Jarayonning matematik tavsifi

$$\bar{1}_{N \times n} \left. \begin{aligned} F_i x_{ij}^F + L_{i-1} x_{i-1,j} - L_i x_{ij} + V_{i+1} y_{i+1,j} - V_i y_{ij} = 0 \\ i = 1, \dots, N \\ j = 1, \dots, n \end{aligned} \right)$$

$$\bar{2}_{N \times n} \left. \begin{aligned} y_{ij} = y_{i+1,j} + E_{ij} (y_{ij}^* - y_{i+1,j}) \\ i = 1, \dots, N \\ j = 1, \dots, n \end{aligned} \right)$$

$$\bar{3}_{N \times n} \left. \begin{aligned} E_{ij} = 1 - \exp \left(- \frac{F^M K_{i,j}^{M(V)}}{V_i} \right) \\ i = 1, \dots, N \\ j = 1, \dots, n \end{aligned} \right)$$

$$\bar{4}_{N \times n} \left. \begin{aligned} y_{ij}^* = K_{ij} x_{ij} \\ i = 1, \dots, N \\ j = 1, \dots, n \end{aligned} \right)$$

$$\bar{5}_{N \times n} \left. \begin{aligned} K_{ij} = \frac{P_j^{(0)} \{T_i\}}{P_i} \\ i = 1, \dots, N \\ j = 1, \dots, n \end{aligned} \right)$$

$$\bar{6}_{N \times n} \left. \begin{aligned} P_j^{(0)} = \exp \left(A_j + \frac{B_j}{C_j + T_i} \right) \\ i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \right)$$

Stexiometrik nisbat:

$$\left. \begin{array}{l} \overline{7}_N) \sum_{j=1}^n y_{ij} = 1 \\ i = 1, \dots, N \\ \overline{8}_N) \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \\ i = 1, \dots, N \end{array} \right\}$$

$$\overline{9}_N) F_i \Delta h_i^F + L_{i-1} \Delta h_{i-1} - L_i \Delta h_i + V_{i+1} \Delta H_{i+1} - V_i \Delta H_i + \Delta Q_i^{\text{II}} \\ i = 1, \dots, N$$

$$\overline{10}_N) \Delta h_i = \sum_{j=1}^n \Delta h_{ij}^{\text{ind}} x_{ij} \\ i = 1, \dots, N$$

$$\overline{11}_N) \Delta H_i = \sum_{j=1}^n \Delta H_{ij}^{\text{ind}} x_{ij} \\ i = 1, \dots, N$$

$$\overline{12}_{N*n}) \Delta h_{ij}^{\text{ind}} = a_j^L + b_j^L T_i + c_j^L T_i^2 + d_j^L T_i^3 \\ i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, n$$

$$\overline{12}_{N*n}) \Delta H_{ij}^{\text{ind}} = a_j^V + b_j^V T_i + c_j^V T_i^2 + d_j^V T_i^3 \\ i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, n$$

$\overline{a}^L, \overline{b}^L, \overline{c}^L, \overline{d}^L, \overline{a}^V, \overline{b}^V, \overline{c}^V, \overline{d}^V$ – suyuq va bug‘ fazalar uchun ma’lum doimiylar.

Hisoblashlarda qulay bo‘lishi uchun $\overline{1}$) tenglamalarni $\overline{7}$) va $\overline{8}$) stexiometrik munosabatlarni hisobga olib qo‘shish lozim, natijada har bir tarelkadagi oqimlar balansining tenglamasini olamiz, $\overline{8}'$) munosabatni esa quyidagi tizimdan topamiz:

$$\overline{8}') F_i + L_{i-1} - L_i + V_{i+1} - V_i = 0 \\ i = 1, \dots, N$$

Natijada $8 N*n + 5 N$ mustaqil tenglamalar tizimi olinadi:

- $8 N*n$ tenglama: $\overline{1}$); $\overline{2}$); $\overline{3}$); $\overline{4}$); $\overline{5}$); $\overline{6}$); $\overline{12}$); $\overline{13}$);

- $5 N$ tenglama: $\overline{7}$); $\overline{8}$); $\overline{9}$); $\overline{10}$); $\overline{11}$);

va aniqlanadigan o‘zgaruvchilar sifatida ham $8 N*n + 5 N$ o‘zgaruvchilar tanlanadi:

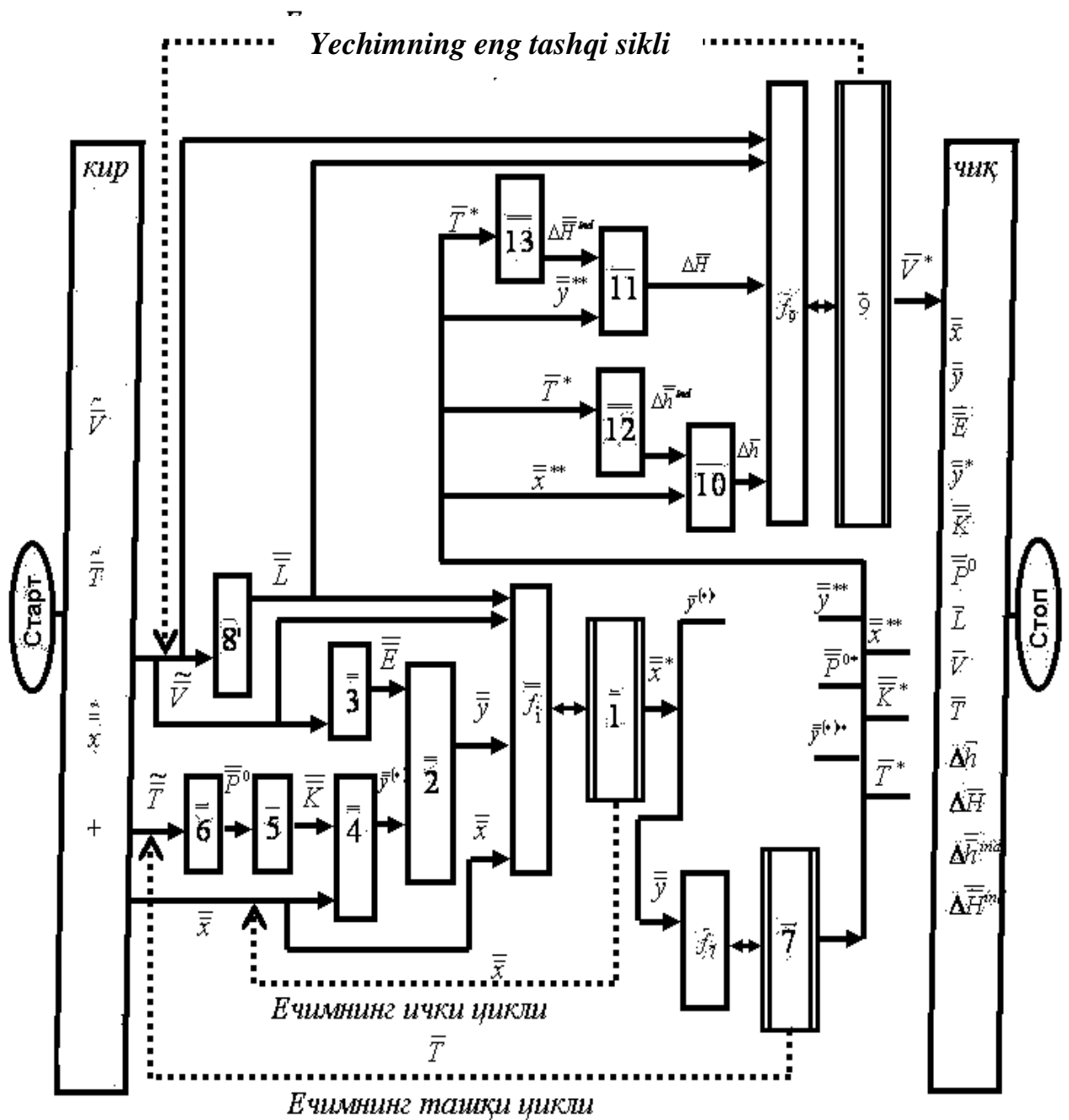
$\overline{x}_{N*n}; \overline{y}_{N*n}; \overline{E}_{N*n}; \overline{y}_{N*n}^*; \overline{K}_{N*n}; \overline{P}^{(0)}; \overline{T}_N; \overline{L}_N; \overline{V}_N; \overline{\Delta h}_N; \overline{\Delta H}_N; \overline{\Delta h}_{N*n}^{\text{ind}}; \overline{\Delta H}_{N*n}^{\text{ind}}$

ya’ni yechish uchun quyida keltirilgan axborot matritsasidan foydalanib matematik dekompozitsiya usuli bilan yechiladigan nochiziqli tenglamalar tizimi (NTT) olinadi.

Axborot matritsasi

| $n \backslash p$ | \bar{x} | \bar{y} | \bar{E} | \bar{y}^* | \bar{K} | \bar{P}^0 | \bar{L} | \bar{V} | \bar{T} | $\Delta\bar{h}$ | $\Delta\bar{H}$ | $\Delta\bar{h}^{ind}$ | $\Delta\bar{H}^{ind}$ | N^o |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| $\bar{1}$ <small>Kop. yp.</small> | ◆ | ⊕ | | | | | ⊕ | ⊕ | | | | | | 7 |
| $\bar{2}$ | | ◆ | ⊕ | ⊕ | | | | | | | | | | 6 |
| $\bar{3}$ | | | ◆ | | | | | ⊕ | | | | | | 5 |
| $\bar{4}$ | ⊕ | | | ◆ | | | | | | | | | | 4 |
| $\bar{5}$ | | | | | ◆ | | | | | | | | | 3 |
| $\bar{6}$ | | | | | | ◆ | | | | ⊕ | | | | 2 |
| $\bar{7}$ <small>Kop. yp.</small> | | ⊕ | | | | | | | | ◆ | | | | 8 |
| $\bar{8}$ | | | | | | | ◆ | ⊕ | | | | | | 1 |
| $\bar{9}$ <small>Kop. yp.</small> | | | | | | | ⊕ | ◆ | | ⊕ | ⊕ | | | 13 |
| $\bar{10}$ | ⊕ | | | | | | | | | ◆ | | ⊕ | | 11 |
| $\bar{11}$ | | ⊕ | | | | | | | | | ◆ | | ⊕ | 12 |
| $\bar{12}$ | | | | | | | | | ⊕ | | | ◆ | | 9 |
| $\bar{13}$ | | | | | | | | | ⊕ | | | | ◆ | 10 |

Tarelkali rektifikatsiya kolonnasining statsionar rejimini VR (bubble point) usuli bilan hisoblash algoritmining blok – sxemasi



Ichki iteratsiya siklida NTT $(\bar{1}) \bar{x}$ ga nisbatan yechiladi.:

$$L_{i-1}x_{i-1,j} - L_i x_{ij} + V_{i+1}y_{i+1,j} \{\bar{x}\} - V_i y_{ij} \{\bar{x}\} = -F_i x_{ij}^F$$

$$i = 1, \dots, N$$

$$j = 1, \dots, n$$

$E_{ij} = 1$ bo'lganda nazariy tarelkalar uchun keltirilgan tenglama quyidagicha yozilishi mumkin:

$$L_{i-1}x_{i-1,j} - L_i x_{ij} + V_{i+1}K_{i+1,j}x_{i+1,j} - V_i K_{ij}y_{ij} = -F_i x_{ij}^F$$

$$i = 1, \dots, N$$

$$j = 1, \dots, n$$

yoki

$$\begin{aligned}L_{i-1}x_{i-1,j} - L_i x_{ij} + V_{i+1}K_{i+1,j}x_{i+1,j} - V_i K_{ij}y_{ij} + F_i x_{ij}^F &= 0 \\i &= 1, \dots, N \\j &= 1, \dots, n\end{aligned}$$

Bu tenglamani har komponentning konsentratsiyasiga nisbatan n marta yozish mumkin (masalan, j komponentning):

$$\begin{aligned}f(x_{i-1,j}; x_{ij}; x_{i+1,j}) &= 0 \\i &= 1, \dots, N \\j &= 1, \dots, n\end{aligned}$$

yoki (j komponent uchun):

$$\begin{aligned}f_1(x_{1,j}; x_{2,j}) &= 0 \\f_2(x_{1,j}; x_{2,j}; x_{3,j}) &= 0 \\f_{n-1}(x_{N-2,j}; x_{N-1,j}; x_{N,j}) &= 0 \\f_n(x_{N-1,j}; x_{N,j}) &= 0\end{aligned}$$

Oxirgi tenglamalar tizimi uch diagonalli tenglamalar tizimini yechish usulidan foydalanilib, har bir komponent uchun n marta yechiladi.

$$\begin{aligned}f_1(x_{1,j}; x_{2,j}) &= 0 \\f_2(x_{1,j}; x_{2,j}; x_{3,j}) &= 0 \\f_{n-1}(x_{N-2,j}; x_{N-1,j}; x_{N,j}) &= 0 \\f_n(x_{N-1,j}; x_{N,j}) &= 0\end{aligned}$$

Tenglamalar tizimining axborot matritsasi

| $n \backslash p$ | x_1 | x_2 | x_3 | \dots | x_{N-2} | x_{N-1} | x_N | N^o |
|------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|---------|----------|
| 1 Kop. yp. | | | | | | | | $N-1$ |
| 2 | | | | | | | | N |
| \vdots | \dots | \dots | \dots | \dots | \dots | \dots | \dots | \vdots |
| $N-1$ | | | | | | | | 2 |
| N | | | | | | | | 1 |

To'g'rilovchi tenglamani x_N ga nisbatan yechib:

$$f_1(x_1\{x_N\}; x_2\{x_N\}) = 0$$

Kolonnaning balandligi bo'yicha ixtiyoriy (masalan, j) komponentning taqsimlanishi aniqlanadi:

$$x_1, x_2, \dots, x_N$$

Barcha komponentlar uchun n - karrali yechimda izlanayotgan matritsa olinadi:

$$\bar{x}_{N*n} = \begin{bmatrix} \text{Yech .1} & \text{Yech .2} & \dots & \text{Yech .n} \\ \text{Komp .1} & \text{Komp .2} & \dots & \text{Komp .n} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{Nn} \end{bmatrix}$$

Shundan so'ng har bir tarelkadagi suyuq faza tarkibini raqamlash amalga oshiriladi:

$$x_{1,j}^{norm.} = \frac{x_{1j}}{\sum_{j=1}^n x_{1j}} \quad j = 1, \dots, n$$

$$x_{Nj}^{norm.} = \frac{x_{Nj}}{\sum_{j=1}^n x_{Nj}} \quad j = 1, \dots, n$$

Olingan raqamlangan qiymatlardan keyingi hisoblarda foydalaniladi (hisoblash algoritmining blok - sxemasiga qarang).

Agar suyuq - bug' muvozanatida suyuqlik fazasi ideal bo'lsa va muvozanat doimiysi suyuq fazaning tarkibiga bog'liq bo'lsa, unda $(\bar{1})$ tenglamalar tizimining yechimi qaralayotgan usul yordamida raqamlangan qiymatning ikkita ketma-ket iteratsiyasi bir biriga mos kelmaguncha takroran yechiladi.

Tashqi iteratsiya siklida $(\bar{1})$ nohiziqli tenglamalar tizimi \bar{T} ga nisbatan yechiladi:

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} \{ \bar{T} \} = 1$$

$$i = 1, \dots, N$$

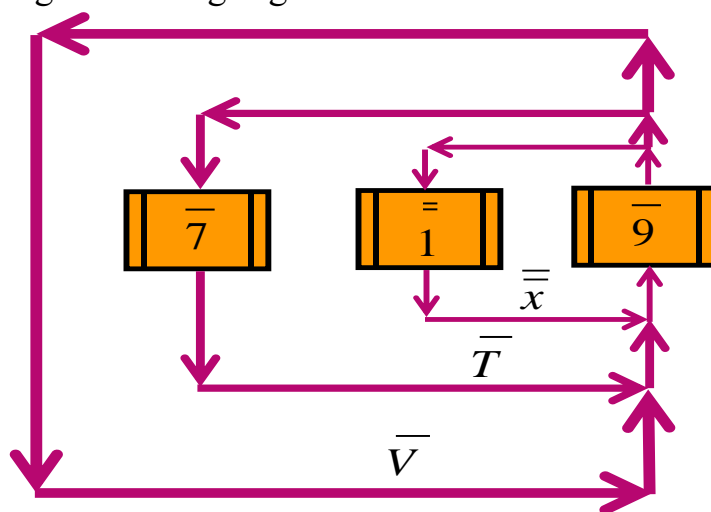
$$x_{ij}^{norm} \cdot (i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, n)$$

Eng tashqi iteratsion siklida $(\bar{9})$ nohiziqli tenglamalar tizimi \bar{V} ga nisbatan yechiladi:

$$F_i \Delta h_i^F + L_{i-1} \{ \bar{V} \} \Delta h_{i-1} \{ \bar{V} \} - L_i \{ \bar{V} \} \Delta h_i \{ \bar{V} \} + V_{i+1} \{ \bar{V} \} \Delta H_{i+1} \{ \bar{V} \} - V_i \{ \bar{V} \} \Delta H_i \{ \bar{V} \} + \Delta Q_i^H = 0$$

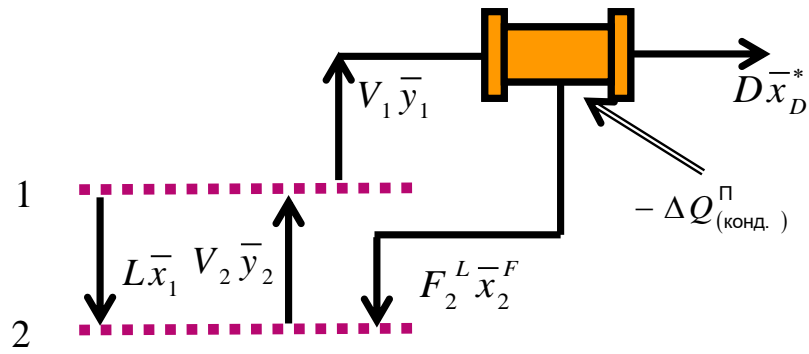
$$i = 1, \dots, N .$$

Natijada VR (bubble point) usuli bilan yechiladigan yechimlarning iteratsion sikllar sxemasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:



4.1.6.2. Bittadan kondensator (deflegmator) va qaynatgichli oddiy rektifikatsiya kolonnalari uchun distillat va kub mahsulotining tarkiblarini aniqlash

Kondensator – deflegmator ($i = 1$) uchun berilgan distillat D va suyuqlik va bug' o'rtasidagi fazaviy munosabatda (\bar{K}_1 – suyuqlik- bug' fazaviy muvozanatining doimiysi) quyidagi balans tenglamasi to'g'ri bo'ladi:



$$\bar{1}n) \quad F_2^L x_{2j}^F = V_1 y_{1j} - Dx_{Dj}^*$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$\bar{2}n) \quad x_{Dj}^* = \frac{y_{1j}}{K_{1j}}$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$x_{2j}^F = \frac{V_1 y_{1j} - Dx_{Dj}^*}{V_1 - D}$$

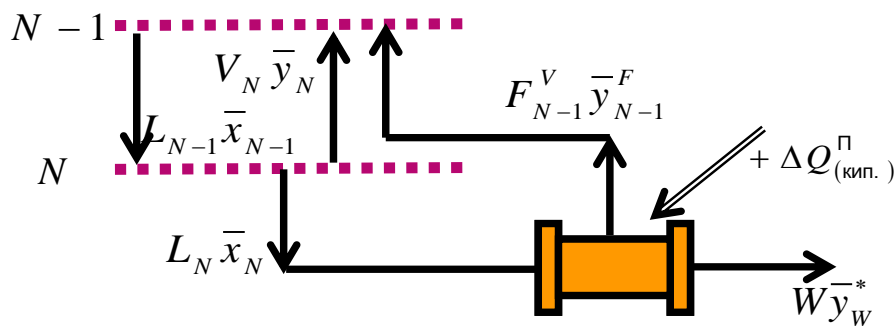
$$3) \quad F_2^L = V_1 - D,$$

bu yerda, F_2^L – qaytib keluvchi flegmalarning oqimi.

Aniqlanadigan kattaliklar:

$$F_2^L, \bar{x}_2^F, \bar{x}_D^*$$

Qaynatgich uchun ($i = N$) berilgan kub mahsuloti W va suyuqlik va bug‘ o‘rtasidagi fazaviy muvozanatda (\bar{K}_N – suyuqlik - bug‘ fazaviy muvozanatining doimiysi) quyidagi balans tenglamasi to‘g‘ri bo‘ladi:



$$\bar{1}n) \quad F_{N-1}^V y_{N-1,j}^F = L_N x_{N,j} - W y_{w,j}^*$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$\bar{2}n) \quad y_{w,j}^* = K_{N,j} x_{N,j}$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$y_{N-1,j}^F = \frac{L_N x_{N,j} - W y_{w,j}^*}{L_N - W}$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$3) \quad F_{N-1}^V = L_N - W ,$$

bu yerda F_{N-1}^V – qaytib keladigan bug‘ oqimi.

Aniqlanadigan kattalik:

$$F_{N-1}^V, y_{N-1,j}^F, \bar{y}_W^*$$

O‘z- o‘zini tekshirish uchun topshiriq

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. Modellarining 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

IV. AMALIY MASHG'ULOT MATERIALLARI

1-amaliy mashg'ulot: Kimyoviy-texnologik jarayonlarni kopyuterli model-lashtirish prinsiplari. Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash

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 ³ | 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:

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

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

qiymatlarini 2.2-jadval shakliga keltiramiz.

C (t) me'yorlangan funksiyaning qiymatlari

2.2-jadval

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

$C(\theta)$ funksiyani olish uchun, vaqtni θ 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

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

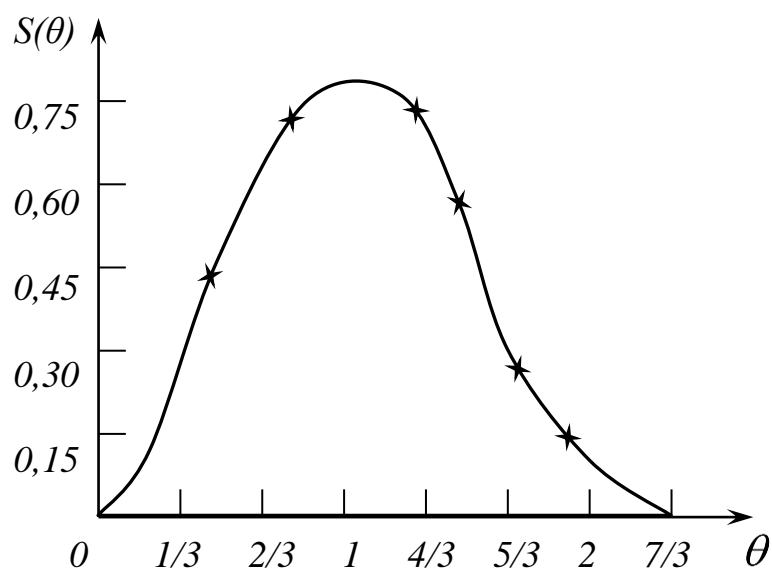
va t_i , C_i^E qiymatlarni qo‘ygandan keyin, $S(\theta)$ muvofiq qiymatlarini olamiz (2.3-jad.).

2.3-jadval

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

| | | | | | | | | |
|-------------|---|------|------|------|------|------|------|-----|
| θ | 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 |
| θ | 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 σ^2 quyidagiga teng:

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{M_2^t}{\bar{t}^2} - 1 = 1,22 - 1 = 0,22. \quad (2.348)$$

N yacheykalar soni bilan o'lchamsiz dispersiya σ^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 mezonini 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 $\alpha = 1\%$ ahamiyatlilik darajasi uchun Fisher mezonining mos jadval qiymati quyidagiga teng:

$$F_{\alpha=0,0,1}^{jad}(6,6) = 8,47. \quad (2.355)$$

Bu yerdan $F > F_{\alpha=0,0,1}^{jad}(6,6)$ va nisbiy o'rtacha dispersiya monandlik dispersiyadan belgili farqlanadi. Shunday ekan, yacheykali modelni qo'llash maqsadga muvofiqdir.

2-amaliy mashg'ulot: **Optimallashtirish masalasining qo'yilishi.**
Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari

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 funktsiyani matritsa shaklida yozing
 $F(X) = 2 \cdot x_1^2 - 2 \cdot x_1 \cdot 2x_2 + 3 \cdot x_1 \cdot x_3 + x_2^2 - 5 \cdot x_2 \cdot x_3 + 4 \cdot x_3^2 + 7 \cdot x_1 - 8 \cdot x_2 + 9 \cdot x_3 + 10.$

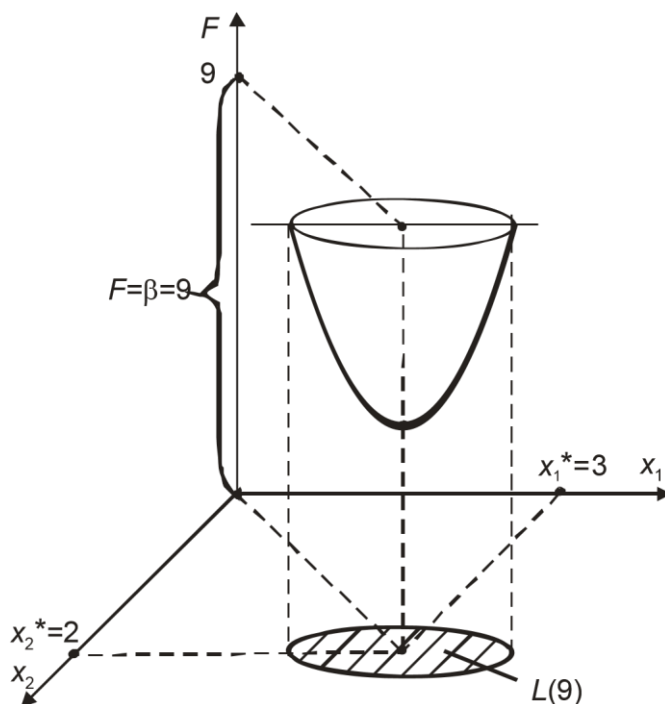
Echim

$$A = \begin{pmatrix} 2 \cdot 2 & -2 & 3 \\ -2 & 1 \cdot 2 & -5 \\ 3 & -5 & 4 \cdot 2 \end{pmatrix}; \quad B = (7 \ -8 \ 9); \quad C = 10;$$

unda

$$F(X) = \frac{1}{2} \cdot \left(\begin{pmatrix} 4 & -2 & 3 \\ -2 & 2 & -5 \\ 3 & -5 & 8 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \right) + (7 \ -8 \ 9) \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + 10.$$

Misol. Maqsadli funktsiya $F = (x_1 - 3)^2 + (x_2 - 2)^2$ uchun sath ko'pligi $L(9)$ ni aniqlang.



4.14- rasm. Funktsiya $F = (x_1 - 3)^2 + (x_2 - 2)^2$ ning sath yig'indisi $L(9)$

Echim

$\beta = 9$ uchun berilgan funktsiyaning 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 . Funktsiya $F = (x_1 - 2)^2 + 3 \cdot (x_2 - 1)^2$ 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 tuqta 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

$$X^1 = (0,8387; 1,2582);$$

$$F(X^1) = 1,5486;$$

$$\nabla F(X^1) = (-2,323; 1,549);$$

$$x_1^2 = 0,8387 \cdot h;$$

$$x_2^2 = 1,258 - 1,549 \cdot h.$$

$$\varphi(h) = F(x_1^2; x_2^2) = (0,8387 + 2,323 \cdot h - 2)^2 + 3 \cdot (1,258 - 1,549 \cdot h - 1)^2 = 12,59 \cdot h^2 - 7,792 \cdot h + 1,548;$$

$$\varphi'(x) = 25,19 \cdot h - 7,792 = 0; \quad h^* = 0,3094.$$

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: **Kimyoviy texnologiya tipik apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish**

MISOLLAR

1-misol. Mahsulotning chiqishi u ga uch faktor: $100\text{--}200^\circ\text{C}$ diapazondagi harorat T , $2\text{MPa} = (20\text{--}60\text{kgs/sm}^2)$ 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:

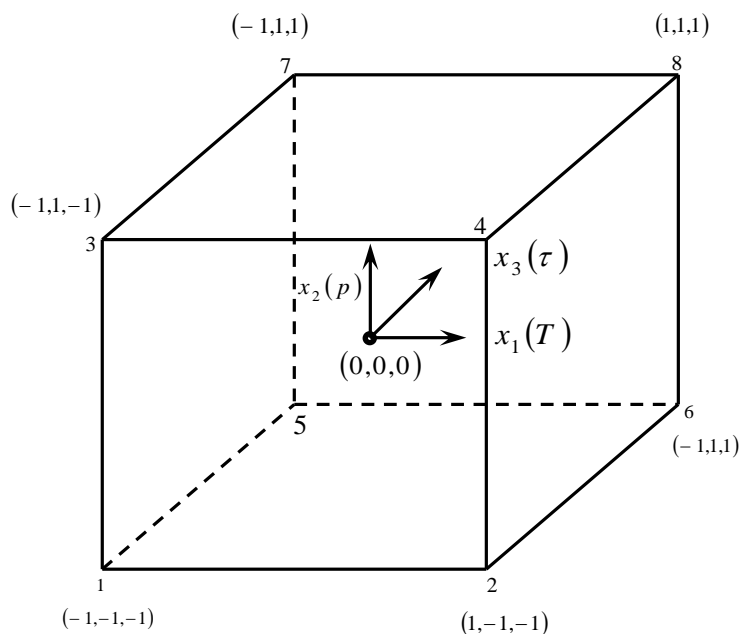
$$z_j^0 = \frac{z_j^{\max} + z_j^{\min}}{2}, \quad j = 1, 2, 3, 4, \dots, \kappa$$

$$\Delta z_j = \frac{z_j^{\max} - z_j^{\min}}{2}$$

$(z_1^0, z_2^0, z_3^0, \dots, z_k^0)$ koordinatali nuqta *reja markazi* deb ataladi, ba'zida uni *asosiy sath* ham deb atash mumkin, Δz_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'lcamsiz 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 kombinatsiyalarining 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 qirradi 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:

$$\sum_{i=1}^N x_{ui} x_{ji} = 0 \quad u \neq j \quad e, j = 0, 1, 2, \dots$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ji} = 0 \quad j = 1, 2, 3, 4, \dots, k$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ji}^2 = N \quad = 1, 2, 3, \dots, k$$

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.

1-jadval

| Natural masshtabdagi faktorlar qiymati | | | | Rejalashtirish matritsasi 2^3 | | | |
|----------------------------------------|-------|-------|-------|------------------------------------------------------|-------|-------|---------|
| | | | | Ulchamsiz koordinatalar tizimidagi faktorlar qiymati | | | Chiqish |
| Sinov № | Z_1 | Z_2 | Z_3 | x_1 | x_2 | x_3 | 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 matritsasiidagi sinovlar soniga teng. $(X * X)^{-1}$ teskari matritsaning diagonal elementlari:

$$C_{ii} = \frac{1}{N}$$

2- jadval

| Fiktiv | o‘zgaruv- chili | rejalashti | rish | matritsasi | |
|--------|--------------------|------------|------|------------|----------------|
| N | X0 | X1 | X2 | X3 | y |
| 1 | +1 | - 1 | - 1 | - I | y ₁ |
| o | +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:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$$

Masalan, b_1 koeffitsiyent uchun x_1 da ko'paytmalar yig'indisini olish lozim.

$$\begin{array}{c} x_1 \\ \begin{bmatrix} -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \end{bmatrix} \end{array} \times \begin{array}{c} y \\ \begin{bmatrix} 2 \\ 6 \\ 4 \\ 8 \\ 10 \\ 18 \\ 8 \\ 12 \end{bmatrix} \end{array} = \begin{array}{c} \\ \begin{bmatrix} -2 \\ +6 \\ -4 \\ +8 \\ -10 \\ +18 \\ -8 \\ +12 \end{bmatrix} \end{array}$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^8 x_{1i} y_i}{N} = \frac{20}{8} = +2.5$$

$$\sum_{i=1}^8 x_{1i} y_i = 20$$

O'xshash tarzda quyidagini olamiz:

$$b_0 = 18.5 \quad b_2 = -18.5 \quad b_3 = +3.5$$

Agar o'zaro ta'sirlashuvchi koeffitsiyentli regresiya tenglamasini to'liqroq ko'rinishga keltiradigan bo'lsak quyidagi hosil bo'ladi:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{123} x_1 x_2 x_3$$

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

| N | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | $x_1 x_2$ | $x_1 x_3$ | $x_2 x_3$ | $x_1 x_2 x_3$ | U |
|----------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----|
| 1 | +1 | - 1 | - 1 | - 1 | +1 | +1 | +1 | - 1 | 2 |
| 2 | +1 | +1 | - 1 | - 1 | - 1 | - 1 | +1 | +1 | 6 |
| 3 | +1 | - 1 | +1 | - 1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 4 |
| 4 | +1 | +1 | +1 | - 1 | +1 | - 1 | - 1 | - 1 | 8 |
| 5 | +1 | - 1 | - 1 | +1 | +1 | - 1 | - 1 | +1 | 10 |
| 6 | +1 | +1 | - 1 | +1 | - 1 | +1 | +1 | - 1 | 18 |
| 7 | +1 | - 1 | +1 | +1 | - 1 | - 1 | +1 | - 1 | 8 |
| 8 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 12 |

O'zaro ta'sir effektlari chiziqli effektlariga o'xshash tarzda aniqlanadi, masalan, b_{12} koeffitsiyent quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{array}{ccc}
 x_1 x_2 & y & \\
 \left[\begin{array}{c} +1 \\ -1 \\ -1 \\ +1 \\ +1 \\ -1 \\ -1 \\ +1 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{c} 2 \\ 6 \\ 4 \\ 8 \\ 10 \\ 18 \\ 8 \\ 12 \end{array} \right] & = \left[\begin{array}{c} +2 \\ -6 \\ -4 \\ +8 \\ +10 \\ -18 \\ -8 \\ +12 \end{array} \right]
 \end{array}$$

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_1 x_2)_i y_i}{N} = -\frac{4}{8} = -0.5$$

$$\sum_{i=1}^8 (x_1 x_2)_i y_i = -4$$

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 β_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:

$$\bar{y}^0 = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i^0}{3} = 8.6 \quad s_{muk}^2 = \frac{\sum_{i=1}^3 (y_i^0 - \bar{y}^0)^2}{2} = 0.28$$

$$s_{muk} = 0,55 \quad S_{b_j} = \frac{0.55}{\sqrt{8}} = 0.2$$

Styudent mezonini bo'yicha koeffitsiyentlarning ahamiyatligini baholaymiz:

$$t_0 = \frac{|b_0|}{s_{b_0}} = \frac{8.5}{0.2} = 42.5$$

$$t_1 = \frac{|b_1|}{s_{b_1}} = \frac{2.5}{0.2} = 12.5$$

$$t_3 = \frac{|b_3|}{s_{b_3}} = 17.5$$

$$t_2 = \frac{|b_2|}{s_{b_2}} = 2.5$$

$$t_{13} = \frac{|b_{13}|}{s_{b_{13}}} = 2.5$$

$$t_{12} = \frac{|b_{12}|}{s_{b_{12}}} = 2.5$$

$$t_{123} = \frac{|b_{123}|}{s_{b_{123}}} = 1.25$$

$$t_{23} = \frac{|b_{23}|}{s_{b_{23}}} = 7.5$$

Ahamiyatlilik 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.

| | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $x(^0S)$ | 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:

$$b_1 = \frac{9 \cdot 20723 - 360 \cdot 451.7}{9 \cdot 20400 - 360^2} = 0.44$$

$$b_0 = \frac{451.7 - 0.44 \cdot 360}{9} = \frac{293.3}{9} = 32.6$$

1P-1T

| N | x | y | x ² | xy | y ² | x + y | (x + y) ² |
|---|-----|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------------|
| 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 regresiya tenglamasi ko'rinishida yozamiz:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$$

$$y_i^0 = \frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \quad x_{ji}^0 = \frac{x_{ji} - \bar{x}_j}{s_{xj}} \quad \text{formularlar bo'yicha tajribaning barcha}$$

$$\left. \begin{aligned} r_{y^0 x_j^0}^* &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N y_i^0 x_{ji}^0 \\ r_{x_l^0 x_m^0}^* &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N x_{li}^0 x_{mi}^0 \end{aligned} \right\}$$

natijalarini standart masshtabga o'tkazamiz. Keyin,

$$l > m$$

formula bo'yicha regressiyaning tanlangan koeffitsiyentlarini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} r_{yx_1}^* &= 0.212 & r_{x_1 x_2}^* &= -0.417 \\ r_{yx_2}^* &= 0.043 & r_{x_1 x_3}^* &= -0.128 \\ r_{yx_3}^* &= 0.903 & r_{x_2 x_3}^* &= 0.046 \end{aligned}$$

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:

$$s_{koni}^2 = \frac{m \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{N - l} : s_{koni}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{105} (y_i - \hat{y}_i)^2}{105 - 4} = 36.03$$

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 obyektidan 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

$$\left. \begin{aligned} b_0N + b_1 \sum x_i + b_{11} \sum x_i^2 &= \sum y_i \\ \text{so'ng } b_0 \sum x_i + b_1 \sum x_i^2 + b_{11} \sum x_i^3 &= \sum x_i y_i \end{aligned} \right\} \text{ quyidagini}$$

$$\text{olamiz: } f_1(x_1) = -211 + 0.33x_1 - 1.16 \cdot 10^{-4}x_1^2$$

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 chizikli 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:

$$\hat{y} = 1.02(-211 + 0.33x_1 - 1.16 \cdot 10^{-4}x_1^2) \times \\ \times (0.013x_2 - 1.46)(0.0077x_3 + 0.42)(0.00127x_4 + 0.747)$$

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'yor, %; z_4 – fosfor kislotaning konsentratsiyasi, % R_2O_5 .

Faktorlarni variatsiyalashning asosiy sathlari va oraliqlari 1-jadvalda keltirilgan.

Yechim. Dastlabki sinovlardan ma'lumki, jarayon amalga oshishining maksimallik sharti parametrlar o'zgarishining ko'rilayotgan 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 $a = 1,41$.

1-jadval

| | 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:

$$y_1^0 = 61.8\%, y_2^0 = 59.3\%, y_3^0 = 58.7\%, y_4^0 = 69\%$$

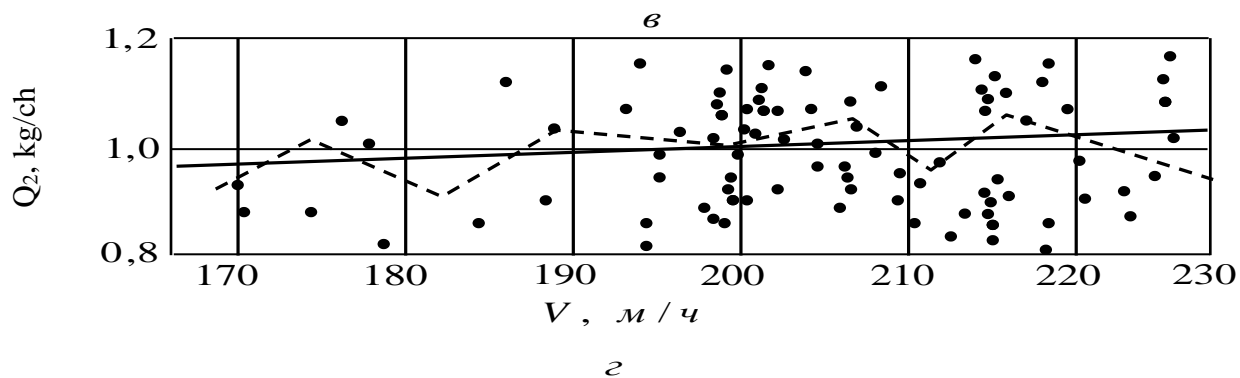
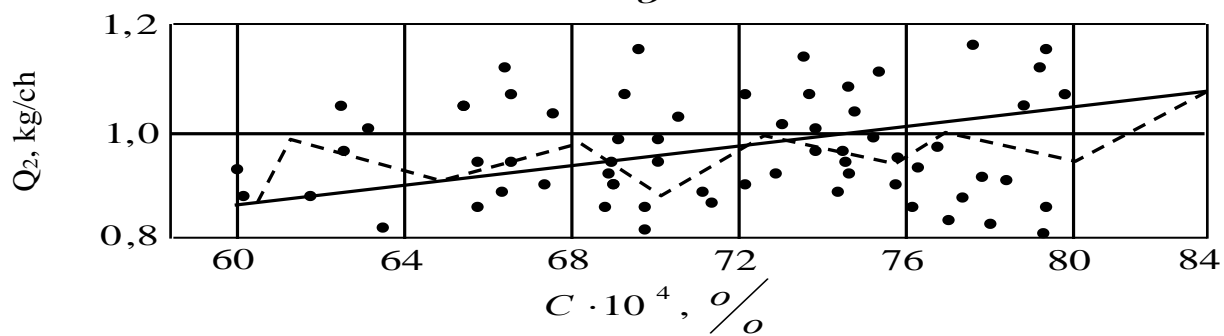
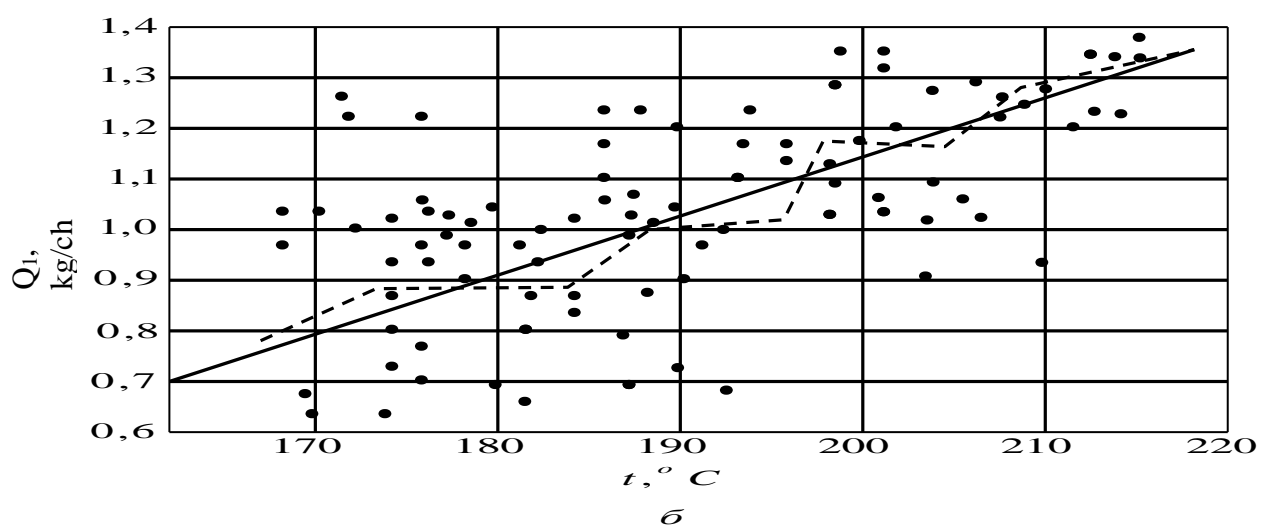
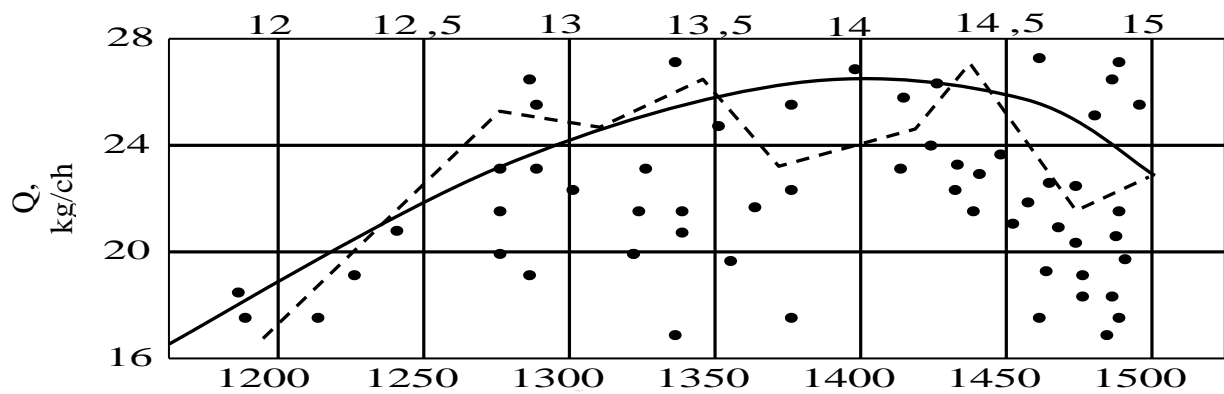
$$\bar{y}^0 = \frac{\sum_{i=1}^4 y_i^0}{4} = 60.95 \qquad s_{\text{muk}}^2 = \frac{\sum (y_i^0 - \bar{y}^0)^2}{3} = 5.95$$

Qayta tiklanish dispersiyasining erkinlik darajalari soni $f = 4 - 1 = 3$.

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2} \quad \text{va} \quad s_{b_j}^2 = \frac{s_{\text{muk}}^2}{\sum_{i=1}^N x_{ij}^2} \quad \text{formulalar bo'yicha regressiya}$$

tenglamasining ikkinchi tartibli koeffitsiyentlari va koeffitsiyentlarning xatoliklarini hisoblaymiz

$P, \Gamma\Pi a$



$$\begin{aligned}
b_{44} &= -5.34 \\
b_{12} &= 2.18 & s_{b_j} &= \sqrt{s_{b_j}^2} = 0.545 \\
b_{13} &= 0.2 & s_{b_{uj}} &= \sqrt{s_{b_{uj}}^2} = 0.61 \\
b_{14} &= 1.2 \\
b_0 &= 61.54 & b_{23} &= 0.56 \\
& & b_{24} &= 0.79 & s_{b_{jj}} &= \sqrt{s_{b_{jj}}^2} = 0.864 \\
& & b_{11} &= 4.5 \\
& & b_{22} &= 1.3 \\
& & b_{33} &= 4.09 & b_{34} &= 1.9 \\
b_1 &= 17.37 \\
b_2 &= 6.4 \\
b_3 &= 4.7 \\
b_4 &= -4.37
\end{aligned}$$

Styudent mezoni bo'yicha koeffitsiyentlarning ahamiyatliligini

$$\begin{aligned}
t_{12} &= \frac{2.18}{0.61} = 3.57 \\
t_{34} &= \frac{1.9}{0.61} = 0.318 \\
t_{13} &= \frac{0.2}{0.61} = 3.18 \\
t_{14} &= \frac{1.2}{0.61} = 1.97 \\
t_{23} &= \frac{0.56}{0.61} = 0.91 \\
t_{24} &= \frac{0.76}{0.61} = 1.25
\end{aligned}$$

$$t_1 = \frac{17.37}{0.545} = 31.9$$

$$t_2 = \frac{6.4}{0.545} = 11.7$$

$$t_3 = \frac{4.70}{0.545} = 8.64$$

$$t_4 = \frac{4.37}{0.545} = 8.64$$

$$t_{11} = \frac{4.5}{0.864} = 5.2$$

$$t_{22} = \frac{1.3}{0.864} = 1.5$$

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:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 61.54 + 17.37x_1 + 6.4x_2 + 4.7x_3 - 4.37x_4 + \\ & + 2.18x_1x_2 + 1.9x_2x_3 + 4.5(x_1^2 - 0.8) + 4.09(x_3^2 - 0.8) - \\ & - 5.34(x_4^2 - 0.8) = 58.9 + 17.37x_1 + 6.4x_2 + 4.7x_3 - \\ & - 4.37x_4 + 2.18x_1x_2 + 1.9x_2x_3 + 4.5x_1^2 + 4.09x_3^2 - 5.34x_4^2 \end{aligned}$$

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:

$$z_1 = 90^{\circ} C, z_2 = 50 \text{ мул}, z_3 = 90\%, z_4 = 32.5.$$

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.

5-misol. Ekstraksiyali fosfor kislota tarkibidagi aralashmalarning fosforit flotokonsentratining parchalanishi (u) ga ta’sirini o‘rnatish va parchalanishni maksimal darajasini olish shartini aniqlash talab qilinadi. Parchalanish darajasiga ta’sir qiluvchi faktorlar sifatida quyidagilarni tanlaymiz: z_1 – jarayonning harorati, $^{\circ} C$; $z_2 - z_5 - MgO, SO_3, Al_2O_3$ va G larga mos keluvchi fosforli kislotaning konsentratsiyasi,% (massa).

Variatsiyalashning asosiy sathi, oralig‘i va tadqiqot sohasining chegaralari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

| | z_1 | z_2 | z_3 | z_4 | z_5 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $z_j^0 \dots \dots$ | 50 | 2.1 | 2.0 | 1.33 | 0.75 |
| $\Delta z_j \dots \dots$ | 20 | 0.9 | 1.0 | 0.37 | 0.25 |
| + 2..... | 90 | 3.9 | 4.0 | 2.07 | 1.25 |
| - 2..... | 10 | 0.9 | 0.0 | 0.59 | 0.25 |

Mustaqil faktorlarning o‘zgarish sohasi sanoat ekstraksiyali kislotasi aralashmalari konsentratsiyalarining o‘zgarish diapazoniga mos keladi. Shuning

uchun ham u_{\max} ni aniqlashda 1-jadvalda ko'rsatilgan chegaralar uchun ekstrapolatsiyalash mazmunga ega emas.

Yechim. Regressiya tenglamasini aniqlash uchun ikkinchi tartibli rotatabelli rejadan foydalanamiz (1-jadval).

$f = 5$ uchun rejalashtirish matritsasining sinovlar soni 32 ga teng. Reja yadrosi o'zida $x_5 = x_1 x_2 x_3 x_4$ bosh munosabatli $2^5 - 1$ yarim replikani nomoyon qiladi. Yulduzli yelka kattaligi $\alpha = 2$ va $n_0 = 6$ ni aniqlaymiz.

2-jadval

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | U | | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | U |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 34,7 | 17 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 |
| 2 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | 40,0 | 18 | +2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33,3 |
| 3 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | 39,0 | 19 | 0 | -2 | 0 | 0 | 0 | 49,2 |
| 4 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | 39,2 | 20 | 0 | +2 | 0 | 0 | 0 | 42,0 |
| 5 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | 26,6 | 21 | 0 | 0 | -2 | 0 | 0 | 17,5 |
| 6 | -1 | +1 | -1 | +1 | +1 | 29,5 | 22 | 0 | 0 | +2 | 0 | 0 | 41,0 |
| 7 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | 30,0 | 23 | 0 | 0 | 0 | -2 | 0 | 35,6 |
| 8 | -1 | -1 | -1 | +1 | -1 | 34,5 | 24 | 0 | 0 | 0 | +2 | 0 | 27,2 |
| 9 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | 32,2 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2 | 39,0 |
| 10 | -1 | +1 | +1 | -1 | +1 | 41,4 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | +2 | 33,0 |
| 11 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | 33,7 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35,4 |
| 12 | -1 | -1 | +1 | -1 | -1 | 40,9 | 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35,4 |
| 13 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | 23,9 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33,2 |
| 14 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | 33,3 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32,4 |
| 15 | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 27,7 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37,7 |
| 16 | -1 | -1 | -1 | -1 | +1 | 35,9 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36,9 |

Reja markazidagi tajriba bo'yicha qayta tiklanish dispersiyasini $f = n_0 - 1 = 5$ erkinlik darajasi soni bilan aniqlaymiz:

$$s_{\max}^2 = 4.466$$

2-jadval ma'lumotlari bo'yicha regressiya tenglamasining ikkinchi tartibli koeffitsiyentlarini va ularning xatoliklarini hisoblaymiz:

$$b_0 = 34.4 \quad 1$$

$$b_1 = 1.07794$$

$$b_2 = -0.146$$

$$b_3 = 4.5098$$

$$b_4 = -0.542$$

$$b_5 = -1.3$$

$$b_6 = -1.5$$

$$b_{22} = 2.66$$

$$b_{33} = -1.47$$

$$b_{44} = -0.93$$

$$b_{55} = -0.15$$

$$b_{12} = 0.147$$

$$b_{13} = 0.256$$

$$b_{14} = 1.61$$

$$b_{15} = 0.0534$$

$$b_{23} = 0.736$$

$$b_{24} = -0.198$$

$$b_{25} = 0.403$$

$$b_{34} = 0.401$$

$$b_{35} = 0.256$$

$$b_{45} = 0.93$$

$$s_{b_j} = \sqrt{s_{b_j}^2} = 0.43$$

$$s_{b_j} = \sqrt{s_{b_{u_j}}^2} = 0.53$$

$$s_{b_{jj}} = \sqrt{s_{b_{jj}}^2} = 0.394$$

Koeffitsiyentlarning ahamiyatliligini Styudent mezoni bo'yicha tekshiramiz

$(t_j = \frac{|b_j|}{s_{b_j}}$ formulaga qarang):

$$\begin{array}{ll}
t_1 = \frac{1.07}{0.43} = 2.48 & t_{12} = \frac{0.147}{0.53} = 0.278 \\
t_2 = \frac{0.146}{0.43} = 0.44 & t_{13} = \frac{0.256}{0.53} = 0.483 \\
t_3 = \frac{4.51}{0.43} = 10.4 & t_{14} = \frac{1.61}{0.53} = 3.04 \\
t_5 = \frac{1.3}{0.43} = 3.02 & t_{15} = \frac{0.0534}{0.53} = 0.1 \\
t_{11} = \frac{1.5}{0.394} = 3.82 & t_{23} = \frac{0.736}{0.53} = 0.1375 \\
t_{22} = \frac{2.66}{0.394} = 6.75 & t_{24} = \frac{0.198}{0.53} = 0.374 \\
t_{33} = \frac{1.47}{0.394} = 3.73 & t_{25} = \frac{0.403}{0.53} = 0.762 \\
t_{44} = \frac{0.93}{0.394} = 2.36 & t_{34} = \frac{0.401}{0.53} = 0.758 \\
t_{55} = \frac{0.15}{0.394} = 0.38 & t_{45} = \frac{0.93}{0.53} = 1.75
\end{array}$$

Ahamiyatlilik sathi $r = 0.05$ va erkinlik darajalari soni $f = 5$ uchun Student mezonining jadval qiymati $t_p(j) = 2.57$ ga teng. Ahamiyatsiz koeffitsiyentlarni tashlab yuborgandan so'ng, jadval qiymatdan kichik bo'lgan t nisbat uchun o'lchamsiz ko'rinishdagi quyidagi regressiya tenglamasini olamiz:

$$\hat{y} = 35.4 + 4.51x_3 - 1.3x_5 - 1.5x_1^2 + 2.66x_2^2 - 1.47x_3^2 + 1.61x_1x_4$$

Fisher mezoni bo'yicha tenglamani teshirish, uning tajribaga monandligini ko'rsatadi:

$$s_{muk}^2 = 4,466 \quad S_{kol}^2 = 15.35 \quad F = 3.43 \quad F_{P=0.05}(25.5) = 4.5.$$

Natural mashtabdagi tenglama quyidagi ko'rinishga ega:

$$\begin{aligned}
\hat{y} = & 44.04 + 0.086z_1 - 13.8z_2 + 10.39z_3 - 10.9z_4 - 5.2z_5 - \\
& - 0.00375z_1^2 + 3.28z_2^2 - 1.4z_3^2 + 0.217z_1z_4
\end{aligned}$$

Olingan tenglama turli haroratlarda berilgan xomashyoning parchalanish darajasining kislotadagi aralashmalar tarkibining o'zgarishiga bog'liqligini aniqlash imkonini beradi. Parchalanishning maksimal darajasi u_{max} ga erishish shartini

aniqlash uchun o'zgaruvchilarning qiymatlarini o'zgarimas $x_2 = +2$ va $x_5 = -2$ deb qabul qilamiz.

Fosfor kislotadagi SO_3 aralashma konsentratsiyasiga bo'lgan ta'sir, bu aralashmalarning optimal tashkil etuvchilarining musbat chiziqli va manfiy kvadratik tenglamalarida keltirilgan bo'lib, 1,533% ga teng va uni x_3 bo'yicha u ekstremum qiymat shartidan aniqlaymiz. x_2 , x_3 va x_5 faktorlarning ushbu qiymatlarida regressiya tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\hat{y} = 52.12 - 1.5x_1^2 + 1.61x_1x_4.$$

Harorat x_1 ning optimal qiymatlari va $Al_2O_3x_4$ aralashmaning konsentratsiyasini aniqlash uchun oxirgi tenglama kanonik ko'rinishga keltiriladi:

$$\hat{y} = 52.12 = 0.35 X_1^2 - 1.85 X_4^2$$

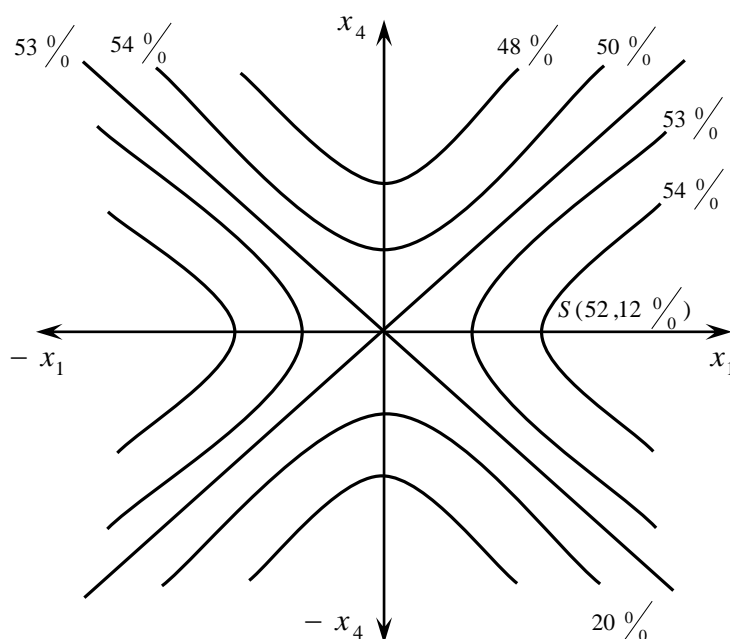
bu yerda 52,12 — S yuza markazidagi parchalanish darajasi.

Javob yuzasi — giperbolik paraboloid. Javob tekisligi yuzasining kesimlarida $y = const$ — giperbola (3-rasm); markazda — minimaks. X dan x_{4S} ga o'tish formulasi:

$$x_1 = (X + x_{1s}) \cos \varphi - (X_4 + x_{4s}) \sin \varphi$$

$$x_2 = (X_1 + x_{1s}) \sin \varphi + (X_4 + x_{4s}) \cos \varphi$$

$$tg 2\varphi = \frac{b_{14}}{b_{11} - b_{44}}$$



3-rasm.

Maksimal parchalanish darajasini aniqlash uchun X_4 ni nol deb qabul qilib, X_1 (kanonik shakli musbat koeffitsiyent) o‘q bo‘yicha minimaksdan chiqamiz:

$$X_1 = \pm \sqrt{\frac{\hat{y} - 52.12}{0.35}} \quad X_4 = 0$$

u ni oshirib, bunda, $x_1 = x_4 \leq 2$ shart bajarilishini tekshiramiz. 53,5% ($x_1 = \pm 1,82$; $x_4 = \pm 0,795$) ga teng parchalanish darajasining maksimal kattaligi olindi. u kattalik 54% gacha oshirilganda qiymat $x_1 > 2$ bo‘ladi. Olingan ($x_1 = +1,82$; $x_2 = +2$; $x_3 = +1,533$; $x_4 = +0,795$; $x_5 = -2$) va ($x_1 = -1,82$; $x_2 = +2$; $x_3 = 1,533$; $x_4 = -0,795$; $x_5 = -2$) ptimal shartlarda nazorat sinovlari o‘tkazilgan. Bunda, parchalanish darajasi mos ravishda 55,8% va 53,7% larni tashkil qiladi. Demak, hisobiy ($\hat{y} = 53,5\%$) va sinov ma’lumoti ($\bar{y} = 54,7\%$) lar orasidagi ayirma (farq) tajriba xatoligi $s_y = \sqrt{4.466} = 2.1$ chegarasida yotadi.

6-misol. Suv – spirt eritmasida $A + V + S \rightarrow$ sxema bo‘yicha amalga oshuvchi reaksiya o‘rganilgan. Mahsulot $D(y)$ ning sifati va miqdoriga torlar ta’sir ko‘rsatadi: z_1 –reaksiya vaqti,soat; z_2 - eritmada spirtning miqdori, mol.ulush; z_3 – S moddaning konsentratsiyasi, mol.ulush; z_4 – D moddaning konsentratsiyasi, mol.ulush; z_5 – [B/A]. Faktorlarning asosiy sathi va variatsiyalash interallari 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

| | z_1 | z_2 | z_3 | z_4 | z_5 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $z_i^0 \dots\dots$ | 2.0 | 0.65 | 0.10 | 0.25 | 1.20 |
| $\Delta z_i \dots\dots$ | 0.20 | 0.15 | 0.025 | 0.05 | 0.20 |

Mahsulotning maksimal miqdori $D(y_{\max})$ ni olish shartini aniqlash talab qilinadi.

Yechim. Rejalashtirishning simpleks usulidan foydalanamiz. $k = 5$ uchun X

$$\text{matritsadan } X = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.289 & 0.204 & 0.158 & 0.129 & 0.109 \\ -0.5 & 0.289 & 0.204 & 0.158 & 0.129 & 0.109 \\ 0 & -0.578 & 0.204 & 0.158 & 0.129 & 0.109 \\ 0 & 0 & -0.612 & 0.158 & 0.129 & 0.109 \\ 0 & 0 & 0 & -0.632 & 0.129 & 0.109 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.645 & 0.109 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.655 \end{bmatrix}$$

matritsaga

qarang) beshta ustun va olti qator ($N = k + 1$) dan tuzilgan nimmatritsani ajratamiz. Kodlashning $x_j = \frac{z_j - z_j^0}{\Delta z_j}$ formulasidan foydalanib quyidagilarni olamiz:

$$x_1 = \frac{z_1 - 2.0}{0.20} \quad x_3 = \frac{z_3 - 0.10}{0.10}$$

$$x_2 = \frac{z_2 - 0.65}{0.15} \quad x_4 = \frac{z_4 - 0.25}{0.05} \quad x_5 = \frac{z_5 - 1.20}{0.20}$$

Unda boshlang'ich simpleks matritsasi natural masshtabda quyidagi 4- jadval ko'rinishiga ega:

4-jadval

| .N | z_1 | z_2 | z_3 | z_4 | z_5 | U |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2,10 | 0,693 | 0,105 | 0,258 | 1,225 | 0,760 |
| 2 | 1,90 | 0,693 | 0,105 | 0,258 | 1,225 | 0,491 |
| 3 | 2,00 | 0,564 | 0,105 | 0,258 | 1,225 | 0,513 |
| 4 | 2,00 | 0,650 | 0,085 | 0,258 | 1,225 | 0,675 |
| 5 | 2,00 | 0,650 | 0,100 | 0,218 | 1,225 | 0,693 |
| 6 | 2,00 | 0,650 | 0,100 | 0,250 | 1,075 | 0,666 |

Jadvaldan 2- sinovning eng yomonligi kelib chiqadi. 2-nuqtani uning kuzguli aksi bo'lgan 7-nuqtaga almashtiramiz. Yangi nuqtalarning koordinatalarini aniqlash zarur. Avval 1,3,4,5,6 nuqtalar bilan ifodalanuvchi S nuqtalar - qizdirish markazining koordinatasini topamiz:

$$z_1^{(c)} = \frac{4 \cdot 2.00 + 2.1}{5} = 2.02 \quad z_2^{(c)} = \frac{3 \cdot 0.65 + 0.504 + 0.693}{5} = 0.641$$

$$z_3^{(c)} = \frac{2 \cdot 0.105 + 0.0805 + 20.100}{5} = 0.099 \quad z_4^{(c)} = \frac{3 \cdot 0.258 + 0.218 + 0.250}{5} = 0.298$$

$$z_5^{(c)} = \frac{4 \cdot 1.225 + 1.075}{5} = 1.195$$

Unda yettinchi nuqtaning koordinitalari quyidagicha ifodalanadi:

$$z_1^{(7)} = 2 \cdot 2.02 - 1.90 = 2.14 \quad z_2^{(7)} = 2 \cdot 0.641 - 0.693 = 0.589$$

$$z_3^{(7)} = 2 \cdot 0.099 - 0.105 = 0.093 \quad z_4^{(7)} = 2 \cdot 0.248 - 0.258 = 0.238$$

$$z_5^{(7)} = 2 \cdot 1.195 - 1.225 = 1.165$$

Yangi, yettinchi nuqta qolganlari bilan 134567 simpleksni hosil qiladi 5-jadval).

5-jadval

| .N | z_1 | z_2 | z_3 | z_4 | z_5 | y |
|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2,10 | 0,693 | 0,105 | 0,278 | 1,225 | 0,760 |
| 3 | 2,00 | 0,569 | 0,105 | 0,258 | 1,225 | 0,513 |
| 4 | 2,00 " | 0,650 | 0,085 | 0,258 | 1,225 | 0,675 |
| 5 | 2,00 | 0,650 | 0,100 | 0,218 | 1,225 | 0,693 |
| 6 | 2,00 | 0,650 | 0,100 | 0,250 | 1,075 | 0,666 |
| 7 | 2,14 | 0,589 | 0,093 | 0,238 | 1,165 | 0,810 |

7-nuqtada sinov o'tkazilgandan so'ng 134567 simpleksning eng yomon nuqtasi 3-nuqta bo'lib qoldi. Uning 14567 qirralarga nisbatan akslanishi keyingi sinov shartini beradi va h.k. Yettinchi sinov o'tkazilgandan so'ng yana bitta z_6 faktor – aralashtirgichlarning aylanishlar soni ham qo'shiladi. Haligacha z_6 faktor doimiy sath $z_6^0 = 800 \text{ min}^{-1}$ da ushlab turiladi. Unda sakkizinchi nuqtaning koordinatasi o'lchamsiz ko'rinishda quyidagicha bo'ladi:

$$x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_{k+1}^{(0)} + h_{k+1}$$

Variatsiyalash birligi uchun $\Delta z_6 = 100 \text{ min}^{-1}$, asosiy sath uchun $z_6^0 = 800 \text{ min}^{-1}$ qabul qilinadi. Unda z_6 uchun kodlash formulasi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$x_6 = \frac{z_6 - 800}{100} \quad x_6^{(0)} = 0.$$

Olti o‘lchamli simpleksning balandligini $h_i = \frac{j+1}{\sqrt{2j(j+1)}}$ formula bo‘yicha olamiz:

$$h_6 = 0.764 .$$

№ 8 sinov uchun parametrlarning qiymatlarini aniqlaymiz.

$$z_1^{(0)} = z_1^{(8)} = \frac{2 \cdot 10 + 4 \cdot 2 \cdot 0 + 2 \cdot 14}{6} = 2.04 \quad z_2^{(0)} = 0.633 \quad z_3^{(0)} = z_2^{(8)} = 0.098$$

$$z_4^{(0)} = z_4^{(8)} = 0.247 \quad z_5^{(0)} = z_5^{(8)} = 1.19 \quad z_6^{(8)} = 800 + 100 x_6^{(8)} = 800 + 100 (x_6^0 + h_3) = 877 \text{ мин}^{-1}$$

Birinchi beshta parametrning qiymatlari besh o‘lchamli 134567 simpleks og‘irlik markazining koordinatalarini aks ettiradi (5-jadvalga qarang):

№8 sinov 1, 3, 4, 5, 6, 7 nuqtalar bilan birgalikda olti o‘lchamli 134567 simpleksni hosil qiladi(6-jadval).

6-jadval

SH-25

| N | z_1 | z_2 | z_3 | z_4 | z_5 | z_6 | U |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2,10 | 0,693 | 0,105 | 0,258 | 1,225 | 800 | 0,760 |
| 3 | 2,00 | 0,564 | 0,105 | 0,258 | 1,225 | 800 | 0,513 |
| 4 | 2,00 | 0,650 | 0,085 | 0,258 | 1,225 | 800 | 0,675 |
| 5 | 2,00 | 0,650 | 0,100 | 0,2)8 | 1,225 | 800 | 0,693 |
| 6 | 2,00 | 0,650 | 0,100 | 0,250 | 1,225 | 800 | 0,666 |
| 7 | 2,14 | 0,589 | 0,083 | 0,238 | 1,165 | 800 | 0,810 |
| 3 | 2,04 | 0,633 | 0,098 | 0,247 | 1,190 | 877 | |

Sakkizinchi sinov amalga oshirilgandan so‘ng, natijalar tahlili va oltita faktorlarni inobatga olib aks ettirish jarayonini qaytadan o‘tkazish lozim.

4-amaliy mashg‘ulot: **O‘lchash va o‘lchov asboblarning xatoliklari haqida asosiy TUSHUNCHALAR**

1.1. Termostatdagi harorat 0-500⁰S shkalali, yo‘l qo‘yilishi mumkin bo‘lgan asosiy xatoligi $\pm 4^{\circ}$ S chegarasida bo‘lgan texnik termometr bilan o‘lchanar edi. Termometr ko‘rsatmasi 346⁰S ni tashkil etdi. Texnik termometr bilan bir vaqtda termostatga tekshiruvdan o‘tganligi haqida guvohnomaga ega bo‘lgan laboratoriya termometri tushirildi. Laboratoriya termometrining ko‘rsatmasi 352⁰S ni tashkil etdi. Guvohnoma bo‘yicha tuzatish -1° S ni. Chiqib turgan ustun uchun tuzatish $+0,5^{\circ}$ S ni tashkil qiladi. Texnik termometr ko‘rsatmasidagi xatolikning amaldagi qiymati yo‘l qo‘yilishi mumkin bo‘lgan asosiy xatolikning chegarasidan oshadimi, shuni aniqlang.

1.2. Millivoltmetr 50 intervalga ajratilgan bir hil tenglikdagi shkalalarga bo‘lingan o‘lchovning quyi chegarasi $U_k = -10$ mV, yuqori chegarasi $U_k = +10$ mV ni tashkil qiladi. Millivoltmetrning sezuvchanligi va shkalalari bo‘linishining bahosini aniqlang.

1.3. Mis yoki platina termometrining o‘zgarish koeffitsiyentlari haroratga bog‘liqmi, agarda uning qarshiligi quyidagi ifodalarning harorati bilan bog‘liqligi ma’lum bo‘lsa:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) - \text{mis termometri uchun,}$$
$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) - \text{platina termometri uchun.}$$

1.4. 0-500⁰S shkalali graduirovka XK avtomatik potensiometri tekshirilganda shu narsa aniqlandiki, asbob strelkasi va perosi nol belgiga nisbatan yuqorilash tomonga 10⁰S siljigan. Qog‘oz diagrammasi qayta ishlanganda harorat o‘lchashdagi bu sistematik xatolik qanday hisobga olinishi zarur? Masalan, 430⁰S belgisida.

1.6. Barometrik bosimi 760dan 723,3 gacha mm.simob.ust.ni tashkil etgan o‘zgarish tufayli sodir bo‘lgan gazli manometrik termometr ko‘rsatkichidagi absolyut va nisbiy o‘zgarishlarni aniqlang. Asbob shkalasi 0—100⁰S, bu bosimning 6,825 dan 9,325 gacha kgs/sm² ga teng. Asbob 80⁰S ni ko‘rsatmoqda. Asbob shkalasi bir me’yorda.

1.7. 1,5 sinfdagi texnik manometr uchun atrof-muhitning normal harorati $20 \pm 5^{\circ}$ S, ishchi harorat esa $+5$ dan $+50^{\circ}$ S gacha.

Agarda atrof-muxit harorati $t = 24^{\circ}$ S, $t = 10^{\circ}$ S va $t = 55^{\circ}$ S ni tashkil etgan holda qolgan ta’sir etuvchi kattaliklar normal qiymatga ega bo‘lsa, bunday sharoitda asbobning ko‘rsatkichlari xatoliklari bir hilda bo‘ladimi?

1.8. Avtomatik potensiometr shkalasining barcha nuqtalaridagi o‘lchovlarning yo‘l qo‘yilishi mumkin bo‘lgan nisbiy xatoliklari chegarasi bir hildami?

1.9. 200-600⁰S shkalali 0,5 graduirovka sinfli XK avtomatik potensiometri bilan termo e.yu.kning bir marotabalik o‘lchovi o‘tkazildi. Ko‘rsatkich 550⁰S belgisida turibdi. 550⁰S belgida turgan potensiometr bilan termo e.yu.k. o‘lchangandagi maksimal nisbiy xatolikni baholang. Ishlash sharoiti normal xolatda nisbiy xatolik asbobning ko‘rsatkichi bilan bog‘liqmi?

YECHIMLAR VA JAVOBLAR

01.1. Texnik termometr uchun faqatgina temperaturaning haqiqiy qiymati $(346 \pm 4)^{\circ}$ S yoki $34 \div 350^{\circ}$ S bo‘lgan intervalni aniqlash mumkin. Laboratoriya termometri uchun tuzatishlar qiymati ma’lum, shuning uchun uning ko‘rsatmalari bo‘yicha temperaturaning haqiqiy qiymatini aniqlash mumkin

$$t_{\text{н}} = 352 + (-1) + (+0,5) = 351,5^{\circ}\text{C}.$$

Bundan osonlikcha payqash mumkinki, texnik termometrning amaldagi xatoligi yo‘l qo‘yilgan chegaralardan oshadi

O1.2. Ko‘rib chiqilayotgan xolatda strelka shkalaning bir belgisidan boshqasiga kirish kuchlanishi ΔU :

$$\Delta U = \frac{U_{\text{к}} - U_{\text{н}}}{N} = \frac{10 - (-10)}{50} = 0,4 \text{ мВ},$$

O‘zgarganda siljiydi, bundan kelib chiqadiki, bo‘linish bahosi $k=0,4 \text{ мВ}$

Agar asbobning chiqish kattaligi o‘zgarishi deb strelkaning bir intervalga siljishini qabul qilsak, osonlikcha bilish mumkinki sezgirlik S va bo‘linishi bahosi K teskari kattaliklar ekan:

$$S = 1/K = 1/0,4 = 2,5 \text{ 1/мВ}.$$

O1.3. O‘zgarish koeffitsiyenti S sezgirlikka o‘xshash, ammo sezuvchanlik – o‘lchov asbobining xarakteristikasidir, o‘zgarish koeffitsiyenti esa – o‘lchov o‘zgartirgichining xarakteristikasidir.

Termometrning kirish signali temperaturadir, chiqish signali esa termometrning elektrik qarshiligidir. Mis termometri uchun o‘zgarish koeffitsiyenti

$$S_{\text{н}} = \frac{\Delta R}{\Delta t} = R_0' \alpha.$$

Platinali termometr uchun

$$S_{\text{п}} = \frac{\Delta R}{\Delta t} = R_0 (A + Bt).$$

Bundan kelib chiqadiki, mis termometrning o‘zgarish koeffitsiyenti temperaturaga bog‘liq emas, platinali termometr esa – temperaturaga qarab o‘zgaradi.

O1.4. Sistematik xatolikni hisoblash uchun diagrammali qog‘ozda graduslarda hisoblangan barcha natijalarni graduirovka jadvallari bo‘yicha millivoltlarga o‘tkazish, millivoltlarda tuzatish kiritish, so‘ngra natijalarni yana graduslarga o‘tkazish zarur.

Strelka va peroning 0 dan 10°S gacha siljishi XK graduirovkasi uchun termo e.yu.k. ini 0,65 mv ga o‘zgarishiga mos keladi. Diagrammali qog‘ozda 430°S hisoblangan XK graduirovka uchun 430°S termo e.yu.k. ining 34,12mv ga teng, tuzatishni qo‘shib hisoblasak

$$34,12 + (-0,65) = 33,47 \text{ мВ}.$$

Temperatura qiymatini aniqlaymiz

$$t = 422,75^{\circ}\text{S}.$$

O1.6. Barometrik bosim o‘zgarishi 36,7mm sim.ust yoki $0,05 \text{ kgs/sm}^2$ ni tashkil qiladi. Manometrik termometrlar oshiqcha bosimni o‘lchaganligi sababli asbobning ko‘rsatishi $0,05 \text{ kgs/sm}^2$ oshadi. Gazni manometrik termometr shkalasi bir tekisda va bosim bo‘yicha shkala diapazoni $2,5 \text{ kgs/sm}^2$ ni tashkil qiladi. Shunday qilib, termometr ko‘rsatishlari $100 \cdot \frac{0,05}{2,5} = 2^{\circ}\text{S}$ ga oshadi. Absolyut xatolik $+2^{\circ}\text{S}$ ni tashkil qiladi, nisbiy xatolik esa 80°S belgida:

$$\delta = \frac{+2}{80} \cdot 100 = +2,5\%.$$

ni tashkil etadi.

O1.7. Asbobning normal ishlash sharoiti $20 \pm 5^\circ \text{ S}$ bo'lsa, temperatura $+24^\circ \text{ S}$ da asosiy xatolik bo'ladi. $+10^\circ \text{ S}$ da asosiy xatolikdan tashqari asbobning ko'rsatishi unga ta'sir etuvchi kattaliklar sababli ham o'zgarishi mumkin.

O1.8. Yo'q. Shkalaning barcha nuqtalari uchun o'lchov diapazoni va o'lchov vositasining aniqlik sinfi bilan aniqlanadigan absolyut xatolik Δ_0 ning yo'l qo'yiladigan chegarasi bir hildir. Yo'l qo'yiladigan nisbiy xatolik $\delta_0 = \Delta_0 / \chi_i$ shkalaning χ_i belgisiga bog'liq. Asbobning shkala bo'yicha ko'rsatishi qanchalik kam bo'lsa, nisbiy xatolik shunchalik ko'p bo'ladi. Shu sababli asbobning o'lchov diapazonini shunday tanlash kerakki, o'lchanayotgan kattalik shkalaning oxirida bo'lsin.

O1.9. Agarda, potensimetrlarning sinfidan boshqa hech qanday metrologik xarakteristikasi bo'lmasa, unda faqatgina yo'l qo'yiladigan xatolikning chegarasini baxolash mumkin. Bizning xolatda yo'l qo'yiladigan xatolik K sinfi va potensimetrlarning o'lchov diapazoni $(\chi_k - \chi_n)$ orqali aniqlanadi:

$$\Delta_0 = \frac{x_k - x_n}{100} K.$$

Potensimetrlar uchun xatolik millivoltmetrlarda ifodalanadi [12]:

$$x_k = E(600^\circ \text{ C}, 0^\circ \text{ C}) = 49,11 \text{ mB};$$

$$x_n = E(200^\circ \text{ C}, 0^\circ \text{ C}) = 14,59 \text{ mB};$$

$$\Delta_0 = \frac{49,11 - 14,59}{100} \cdot 0,5 = 0,1726 \text{ mB}.$$

550° S belgida nisbiy xatolik chegarasi quyidagiga teng:

$$\delta_0 = \frac{\Delta_0}{E(550^\circ \text{ C}, 0^\circ \text{ C})} \cdot 100 = \frac{0,1726}{44,71} \cdot 100 = 0,386\%.$$

Yo'l qo'yiladigan absolyut xatolik chegarasi shkalaning barcha belgilari uchun bir xil. Masalan, 300° S belgisida u teng bo'ladi:

$$\delta_0 = \frac{0,1726}{22,88} \cdot 100 = 0,754\%.$$

5-amaliy mashg'ulot: **M** Yuqorigi o'lchash chegarasi 300° S bo'lgan potensimetrlarning ko'rsatishi $X_p = 240^\circ \text{ S}$ va o'lchanayotgan temperaturaning haqiqiy qiymati $X_{ph} = 241,2^\circ \text{ S}$ bo'lganidagi absolyut, nisbiy, keltirilgan xatoliklari topilsin.

Absolyut xatolik (2.2) formula bo'yicha: $\Delta X = -1,2^\circ \text{ S}$, nisbiy xatolik (2.4) formula bo'yicha $b = -0,5\%$, keltirilgan xato (2.6) formula bo'yicha $j = -0,4\%$.

1.13. Oqim sarfini kalorimetrik sarf o'lchagich bilan o'lchashda isitgich quvvati ampermetr va voltmetrlarning ko'rsatishiga muvofiq ishlab chiqilgan. Ushbu ikkala qurilma ham $K=0,5$ aniqlik sinfiga mansub hamda ular normal sharoitda mos ravishda $0-5 \text{ A}$ va $0-30 \text{ V}$ oralig'ida bo'lgan shkala bo'yicha ishlaydilar. Elektr tarmoqdagi tok kuchi va kuchlanishning nominal qiymatlari $3,5 \text{ A}$ va 24 V ga teng. Qurilma ishlab chiqarayotgan quvvatni o'lchashdagi xatoni aniqlang va u qanday nomlanadi?

J 1.13: Bu yerda bilvosita o'lchov xatoligi yuzaga keladi, chunki qurilma xatoligi 2 ta parametrga: ampermetr va voltmeter ko'rsatishiga bog'liqdir. Bu xatolik ΔW ni quyidagi formula bilan aniqlaymiz:

$$\Delta W = \sqrt{\left(\frac{\partial W}{\partial U} \Delta U\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial I} \Delta I\right)^2}$$

O'lchov asboblari haqida aniqlik sinfidan boshqa metrologik tavsiflarning yo'qligi sababli, qo'shimcha ravishda, biz faqat ruxsat etilgan xato qiymatlari chegaralarini asboblarning sinfi va shkalasiga asoslangan holda baholay olamiz.

$$\Delta U_0 = \frac{U_y - U_q}{100} * K = \frac{30 - 0}{100} * 0.5 = \pm 0.15 \text{ V}$$

$$\Delta I_0 = \frac{I_y - I_q}{100} * K = \frac{5 - 0}{100} * 0.5 = \pm 0.025 \text{ A}$$

Quvvatni o'lchashning ruxsat etilgan mutlaq xatosi chegarasi:

$$\Delta W = \sqrt{(3.5 * 0.15)^2 + (24 * 0.025)^2} = \pm 0.795 \text{ Vt}$$

Quvvatni o'lchashning ruxsat etilgan nisbiy xatosi chegarasi:

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta W}{I * U} = \frac{\pm 0.795}{3.5 * 24} = \pm 0.95\%$$

1.12. Agar mis qarshilik termometrda $R_0^* = 49,95 \Omega$ va $\alpha^* = 4.25 \cdot 10^{-3}$

K^{-1} ekanligi ma'lum bo'lsa, haroratni o'lchash xatosini qanday aniqlash mumkin?

Kalibrlash jadvallari $R_0 = 50 \Omega$ va $\alpha = 4.28 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ uchun tuzilgan.

J 1.12. $R_0^* = 49,95 \Omega$ va $\alpha^* = 4.25 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ ning sistematik bo'lishidan kelib chiqadigan xatolik hosil bo'ladi. Xatolik muntazam bo'ladi va shuning uchun biz o'lchangan harorat qiymatiga tuzatish kiritish orqali haqiqiy haroratni hisoblaymiz.

Kalibrlash jadvallari bo'yicha aniqlanadigan harorat: $t^* = \frac{R_t^* - R_0}{R_0 \alpha}$

Haqiqiy harorat: $t = \frac{R_t^* - R_0^*}{R_0^* \alpha^*}$

Bu yerda: $R_t^* = 71.4 \Omega$ va $t^* = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, kalibrlash jadvallaridan olinadi.

$$\Delta t = t - t^* = \frac{71.4 - 49.95}{49.95 * 4.25 \cdot 10^{-3}} - \frac{71.4 - 50}{50 * 4.28 \cdot 10^{-3}} = 1.04 \text{ }^\circ\text{C}$$

1.14 Mis termometr qarshiligining harorat bilan bog'liqligi $R_t = R_0 (1 + \alpha^* \Delta t)$ ifoda orqali aniqlanadi. 100 va 150 $^\circ\text{C}$ haroratda ΔR_0 va $\Delta \alpha$ ning chetga chiqishi sababli

haroratni o'lchashdagi mumkin bo'lgan xatolarni III darajali 50 M kalibrlash klassiga ega bo'lgan termoo'zgartgich orqali baholang?

J 1.14. Termoo'zgartgichning o'zgartirish koeffitsientini aniqlaymiz :

$$S = \frac{\Delta R_t}{\Delta t} = R_0 \alpha = 50 * 4.28 \cdot 10^{-3} = 0.214 \frac{\Omega}{K}$$

Bu yerda $R_0 = 50 \Omega$ - $0^\circ C$ dagi mis termometr qarshiligi, 21-ilovadan olinadi.

Mumkin bo'lgan haroratni o'lchash xatoligi quyidagi formula bo'yicha bilvosita o'lchash xatosi sifatida baholanadi:

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} * \delta x_i \right)^2}$$

$$\Delta R_t = \sqrt{\left(\frac{\partial R_t}{\partial R_0} \Delta R_0 \right)^2 + \left(\frac{\partial R_t}{\partial \alpha} \Delta \alpha \right)^2} = \sqrt{(1 + \alpha * t)^2 * \Delta R_0^2 + (R_0 * t * \Delta \alpha)^2}$$

$\Delta R_0 = \pm 0.2 \Omega$, $\Delta \alpha = 0.03 * 10^{-3} K^{-1}$ 16-ilovadan olinadi va ruxsat etilgan chetlanish kattaliklari hisoblanadi.

100 °C uchun:

$$\Delta R_t = \sqrt{(1 + 4.28 \cdot 10^{-3} * 100)^2 * 0.2^2 + (50 * 100 * 0.03 * 10^{-3})^2} = \pm 0.316 \Omega$$

$$\Delta t = \frac{\Delta R_t}{S} = \frac{\pm 0.316}{0.214} = \pm 1.48^\circ C$$

150 °C uchun:

$$\Delta R_t = \sqrt{(1 + 4.28 \cdot 10^{-3} * 150)^2 * 0.2^2 + (50 * 150 * 0.03 * 10^{-3})^2} = \pm 0.4 \Omega$$

$$\Delta t = \frac{\Delta R_t}{S} = \frac{\pm 0.4}{0.214} = \pm 1.86^\circ C$$

1.5 O'lchov tizimini sinovdan o'tkazishda differensial bosim o'lchagich – difmanometrdan ikkilamchi o'lchash asbobi sifatida foydalanilgan, normal ishlash sharoitida o'lchov asbobining o'lchash qismida quyidagi ΔP_i differentsial bosim qiymatlari olindi:

| | | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|
| i , ta | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| ΔP_i , kPa: | 84,15 | 84,06 | 83,8 | 83,9 | 83,94 | 84,1 | 84,02 | 84,03 |

Keyin, o'lchash tizimining ta'minot manbaida kuchlanish darajasi + 10% U_{nom} ga o'zgartirildi, bu holda o'lchov asbobining oxirgi nuqtasida quyidagi ΔP_i^* differentsial bosim qiymatlari hosil bo'ldi:

| i , ta | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ΔP_i^* , kPa: | 83,85 | 83,75 | 83,82 | 83,76 | 83,84 | 83,82 | 83,83 | 83,75 |

Ta'minot kuchlanishining o'zgarishidan kelib chiqqan o'lchov tizimidagi ko'rsatishlar xatosini aniqlang va bu xatolikning nomi nima?

J 1.5. Normal sharoitda asbob o'lchovining oxirgi nuqtasiga to'g'ri keladigan bosimning o'rtacha qiymatini $\Delta \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ formulaga asosan aniqlaymiz:

$$\Delta \bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i = \frac{84,15+84,06+83,8+83,9+83,94+84,1+84,02+84,03}{8} = 84 \text{ kPa}$$

O'lchash tizimining ta'minot manbaida kuchlanish darajasi + 10% U_{nom} ga o'zgargandagi asbob o'lchovining oxirgi nuqtasiga to'g'ri keladigan bosimning o'rtacha qiymatini topamiz:

$$\Delta \bar{P}_i^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta P_i^* = \frac{83,85+83,75+83,82+83,76+83,84+83,82+83,83+83,75}{8} = 83,8 \text{ kPa}$$

Shunday qilib, o'lchov tizimining ta'minot kuchlanishining o'zgarishi natijasida kelib chiqqan o'lchovning oxirgi nuqtasidagi xato qiymatini topish mumkin:

$$\Delta P = \Delta \bar{P}_i^* - \Delta \bar{P} = 83,8 - 84 = -0.2 \text{ kPa}$$

Ushbu xato qo'shimcha xatolik deb ataladi, chunki u ta'sir qiluvchi miqdorlardan birining (ta'minot kuchlanishida) normal qiymatdan og'ishi natijasida yuzaga keladi.

2.4 Pentan bilan to'ldirilgan laboratoriya shisha termometri shkala bo'yicha $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ ni ko'rsatmoqda. Termometr o'lchanadigan muhitga $-100 \text{ }^\circ\text{C}$ li belgigacha tushirildi. Chiqib turgan ustunning harorati $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ga teng. Shisha ichidagi pentanning ko'rinadigan issiqlikdan hajmiy kengayish koeffitsienti $\gamma=0.0012 \text{ K}^{-1}$ ga teng. Haroratning haqiqiy qiymatini aniqlang?

J 2.4. Termometr ko'rsatkichlari chiqib turgan ustun tufayli haqiqiy haroratdan farq qiladi. Chiqib turgan ustun uchun tuzatma quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\Delta t = (t_{\text{yilq}} - t_{\text{yct}}) * \gamma * n$$

Bu yerda: t_{yilq} – o'lchangan (termometr ko'rsatayotgan) harorat, °C; t_{yct} – chiqib turgan ustun (atrof-muhit) harorati, °C; γ – ishchi muhitning shisha ichida ko'rinadigan issiqlikdan hajmiy kengayish koeffitsienti, K^{-1} ; n – termometrning o'lchanayotgan muhitdan chiqib turgan hamda ishchi suyuqligi bor qismining balandligi, ya'ni darajalar soni.

$$\Delta t = (-40 - 20) * 0.0012 * (-40 - (-100)) = -4.32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_x = t_{\text{yilq}} + \Delta t = -40 - 4.32 = -44.32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.5. Termometrik moddalarning issiqlikdan hajmiy kengayish koeffitsienti bilan ko'rinadigan issiqlikdan hajmiy kengayish koeffitsienti qiymatlari bir-biriga mos keladimi?

J 2.5. Yo'q. Ko'rinadigan kengayish koeffitsienti kamroq. Ushbu farqni quyidagi misolda tushuntirish mumkin. Aytaylik, ma'lum miqdordagi simob qizdirilganda diametri o'zgarmaydigan kapillyarni va shuncha miqdordagi simob avvalgisi bilan bir xil o'lchamdagi. ammo isitish bilan uning diametri oshadigan shisha kapillyarni to'ldiradi,. Agar ikkala kapillyar ham bir xil haroratga qizdirilsa, ikkala kapillyar ichidagi simob miqdori bir xil qiymatga ko'payadi, ammo ikkinchi shisha kapillyardagi simob ustunining uzunligi birinchi kapillyarnikiga qaraganda kamroq bo'ladi, chunki simob hajmi ko'paygan sari shisha kapillyar hajmi ham oshadi.

Bir vaqtning o'zida simob hajmining ko'payishi va shisha kapillyarining diametrining ko'payishini hisobga oladigan kengaytirish koeffitsienti shisha ichidagi simobning ko'rinadigan issiqlikdan hajmiy kengayish koeffitsienti deb ataladi.

2.7 Gazli manometrik termometr ko'rsatishini kapillyar haroratining 40 °C ga va prujina harorati 10 °C ga ko'tarilganligi sababli kalibrlash qiymatiga nisbatan o'zgarishini 20 °C da quyidagi shartlarda aniqlang: kapillyar hajmi $V_K = 1,9 \text{ } sm^3$, manometrik prujinaning hajmi $V_{\text{II}} = 1,5 \text{ } sm^3$, termoballon hajmi $V_6 = 140 \text{ } sm^3$.

J 2.7 Termometr ko'rsatishining o'zgarishi kapillyar va prujinada gazning kengayishi natijasida hosil bo'lgan tizimdagi bosimning nisbiy o'zgarishi bilan belgilanadi.

Sharl qonunini hisobga olgan holda $p_t = p_0 (1 + \beta \Delta t)$ ko'rsatishining o'zgarishini quyidagi formula bo'yicha hisoblash mumkin:

$$\Delta t = \frac{V_k \Delta t_k + V_n \Delta t_n}{V_k + V_n + V_g}$$

bu erda Δt_k va Δt_n mos ravishda kapillyar va prujina haroratining kalibrlashdan og'ishi hisoblanadi.

Shunday qilib,

$$\Delta t = \frac{1.9 \cdot 40 + 1.5 \cdot 10}{140 + 1.9 + 1.5} = 0.63 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ushbu taxminiy hisoblash kapillyar va prujinaning kengayishini hisobga olmaydi. O'qishdagi haqiqiy o'zgarish biroz kamroq bo'ladi.

2.8 Atrof muhit harorati $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ ga o'zgarishi sababli manometrik gaz termometrining ko'rsatkichlarini o'zgarishini baholang, agarda kapillyarlar V_k , prujina V_n va termoballon hajmlari V_g ning nisbati $\frac{V_k + V_n}{V_g} = 0.01$ ma'lum bo'lsa.

J 2.8 Oldingi 2.7 misolni javobida bo'lgani kabi ko'rsatish o'zgarishi o'sha formulaga muvofiq hisoblanadi:

$$\Delta t = \frac{(V_k + V_n) \Delta t_n}{V_k + V_n + V_g}$$

bu erda Δt_n - kapillyar va prujina haroratining o'zgarishi.

Shuning uchun,

$$\Delta t = \frac{0.01 \cdot 30}{1.01} = 0.297 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.10 2.9-topshiriqning shartlariga muvofiq, ko'rsatishdagi qanday nisbiy o'zgarish 0 va $500 \text{ } ^\circ\text{C}$ shkalalardagi barometrik bosim p_g ning $0,005 \text{ MPa}$ ga o'zgarishiga olib kelishini aniqlang?

J 2.10 Masalani yechish uchun $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ dagi nisbiy o'zgarishlarni aniqlaymiz:

$$\delta = \frac{0.005}{5.46} * 100\% = 0.092\%$$

Xuddi shunday, $500 \text{ } ^\circ\text{C}$ da ham:

$$\delta = \frac{0.005}{15.46} * 100\% = 0.032\%$$

6-amaliy mashg'ulot: **Xaroratni o'lchash**

2.1. Qaysi harorat diapazoni uchun xalqaro amaliy harorat shkalasi 1968 (MPTSH-68) joriy etiladi?

2.2. MPTSH-68 ning amaliy ishga kiritish qanday amalga oshiriladi?

2.3. Simobning qaynash darajasi $+356,6^{\circ}\text{S}$ bo'lgan holda $+500^{\circ}\text{S}$ haroratni simobli shisha termometr bilan o'lchash mumkinmi? Qanday qilib simobli termometrlarning o'lchovini yuqori chegarasini ko'tarish mumkin?

2.6. Manometrik simobli termometrning ko'rsatmalari o'zgarishini aniqlang, agarda graduirovka paytida termoballon va ko'rsatuvchi asbob bir sathda turgan bo'lib, real sharoitda esa – ko'rsatuvchi asbob termoballondan 7,37 m baland joylashgan bo'lsa, termometr shkalasi $0-500^{\circ}\text{S}$. Xarorat 0 dan 500°S gacha o'zgarganda sistemadagi bosim 4,47 dan 14,28 mPa gacha o'zgaradi. Simobning zichligi $\rho=13595\text{ kg/m}^3$.

2.9. Harorat 0 dan 500°S ga o'zgarganda sistemadagi bosim 100 kgs/sm^2 ga o'zgarishi uchun 0°S dagi manometrik gaz termometri sistemasida qanday boshlang'ich bosim xosil qilinishi zarurligini aniqlang. Gaz kengayishining termik koeffitsiyenti $\beta = 0,00366\text{ K}^{-1}$

2.11. TXK tipdagi termoelektrik termometrning termo e.yu.ki ishchi uchidagi harorat o'zgargan, ammo ishchi uchi va erkin uchlarining haroratini farqi saqlanib qolganda o'zgaradimi? Masalan, $Ye(300, 50^{\circ}\text{S})$ va $Ye(600, 350^{\circ}\text{S})$?

2.16. Termoelektrik termometr ko'rsatmalariga tuzatishlar kiriting va ishchi uchining haroratini aniqlang, agarda TPP tipdagi termometrning termo e.yu.ki $3,75\text{mV}$ ni, erkin uchlar harorati 32°S ni tashkil qilsa.

2.18. TPP tipdagi termoelektrik termometr o'lchov asbobiga mis simlar yordamida ulandi. Termometrning ishchi uchi harorati 700°S , erkin uchlariniki esa 20°S .

Mis simning platinarodiyli elektrodga ulangan joyidagi harorat 100°S gacha oshsa, mis simning platinali elektrodga ulangan joyining harorati esa 20°S ga teng bo'lsa termo e.yu.k o'zgaradimi?

TPP tipdagi termoelektrik termometr uchun boshlang'ich qiymatlar $Ye(700, 0^{\circ}\text{S})=6,256\text{ mV}$, $Ye(20, 0^{\circ}<\text{S})=0,112\text{ mV}$ platinorodiy – mis termoelektrik termometrining termo e.yu.ki ishchi va erkin uchlarining harorati 100°S va 20°S bo'lganda quyidagiga teng: $Ye'(100, 20^{\circ}\text{S}) = 0,077\text{ mV}$.

2.24. 2-23 masalasidagi shart uchun quyidagilarni tahmin qilamiz, ishchi uchi temperaturasi $t=400^{\circ}\text{S}$, 1 va 2 nuqtalari temperaturasi $t' = 40^{\circ}\text{S}$ va 3 va 4 nuqtalari temperaturasi $t'' = 20^{\circ}\text{C}$ (2-7rasm).

Millifoltmetrning ko'rsatmalari qay tarzda o'zgaradi, agarda termoelektrodli uzaytiruvchi simlarni xuddi shunday summar qarshilikli mis simlar bilan almashtirilsa? Termoelektrik termometr xarakteristikasini liniyali deb hisoblaymiz. O'lchov asbobining kirish qarshiligini cheksiz katta deb tahmin qilamiz.

2.25. 2-23 masalasidagi shart uchun tahmin qilamiz: 1,2,3,4 nuqtalari doimo bir hil, faqatgina vaqt bo'yicha o'zgarishi mumkin. Agarda termoelektrodli uzaytiruvchi simlarni mis simlar bilan almashtirilsa bu holatda asbobning ko'rsatmalari o'zgaradimi?

2.26. 2-23 masalasi sharti uchun KT-54 kompensatoridan (2-7rasm) dagi millivoltmetrga keluvchi mis simlarni xuddi shunday qarshilikka ega alyuminiy simlarga almashtirilsa millivoltmetrning ko'rsatmalari o'zgaradimi?

2.27. 2-23 masalasi sharti uchun termoelektrik termometrning yo‘l qo‘yiladigan o‘zgarishlari diapazonida erkin uchlarining barcha temperaturalarida termo e.yu.k. ning o‘zgarish to‘liq kompensatsiyalanadimi?

2.28. Millivoltmetrning sezuvchanligi o‘zgaradimi, agar prujinaning o‘zgarish qattiqligida uning o‘ramlari soni oshirilsa?

2.39. Ichki qarshiligi juda katta bo‘lgan manbaning e.yu.kni o‘lchash lozim. Masalan rN – metr elektrod sistemasining e.yu.kni.

Qanday potensiometr, kichiklimi yoki yuqoriomli va nima uchun bu maqsadda foydalanish kerak?

2.40. KSP-4 tipidagi 0-400⁰S shkalali XK graduirovkali avtomatik potensiometrning o‘lchov sxemasi quyidagi qarshiliklar va tok qiymati bilan xarakterlanadi. $R_k = 509,5 \text{ Om}$; $R_b = 330 \text{ Om}$; $R_p = 12 \text{ Om}$; $R_e = 90 \text{ Om}$; $I_1 = 3 \text{ mA}$; $I_2 = 2 \text{ mA}$.

Reoxordning s yoki d nuqtasidan qaysi biri o‘lchovning yuqori chegarasiga mos kelishini aniqlang?

2.53. Mis qarshilik termometrlari 20⁰S da quyidagi qarshilikka ega:

$R_{20} = 1,75 \text{ Om}$.

Uning 100 va 150⁰ S dagi qarshiligini aniqlang. Temperatura koeffitsiyenti $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

2.57. 23-24 graduirovkali mis qarshilik termometrlari 0-150⁰S intervaldagi o‘zgarishlar koeffitsiyenti qiymati bir hilmi?

YECHIMLAR VA JAVOBLAR

O2.1. Gost 8.157-75 ga ko‘ra [8] MPTSH-68 temperaturani 13,81 dan 6300 K gacha oraliqda o‘lchashni ta‘minlaydi. Boshqa temperatura diapazonlari uchun boshqa temperatura shkalalari o‘rnatilib, ular 0,01 dan 100000 K chegarada bir xil o‘lchashni amalga oshirish uchun mo‘ljallangan. Turli amoliy temperatura shkalalari turli metodlar bilan realizatsiya qilindi.

O2.2. MPTSH-68 o‘zgarish, aniq tiklanadigan turg‘unlik temperaturalarini sistemasiga asoslangan bo‘ladi. Ularning son qiymatlari berilgan bo‘ladi. MPTSH-68 reper tochkalari temperaturasi orasidagi intervallarda interpolyatsiya etalon asboblari va temperatura ko‘rsatishlari o‘rtasida bog‘liqlikni o‘rnatadigan formulalar bo‘yicha amalga oshiriladi. Asosiy reper nuqtalari ba‘zi bir sof moddalarning ma‘lum bir fazaviy muvozanat holatlari sifatida realizatsiyalanadi.

13,81 dan 903,89 K gacha temperatura uchun etalon asbob sifatida platinali qarshilik termometri ishlatiladi. 630,74 dan 1064,43⁰S gacha bo‘lgan temperaturalar uchun etalon asbob sifatida platinali va platinarodiyli (10% rodiyli) elektrodi bo‘lgan termoelektrik termometr ishlatiladi. 1064,43⁰S dan yuqori bo‘lgan temperaturalarda temperaturani Plank nurlanishi qonuniga muvofiq aniqlaydilar.

O2.3. Simobli shisha termometrlarining ishlatilish chegaralari simobning suyuq holatidagi temperaturaviy chegarasi va shishaning yo‘l qo‘yiladigan isishi chegarasi bilan aniqlanadi. Simobning qotish temperaturasi -38,9⁰S, qaynash temperaturasi esa 356,6⁰S. Shu sababli simobli termometr qo‘llanilishining quyi chegarasi -35⁰S ni tashkil qiladi. Simobning qaynash chegarasi termometr kapillyaridagi bosim uning inert gaz bilan to‘lishi tufayli oshishi hisobiga oshishi mumkin. Shu sababli simobli

termometrlarning yuqori o'lchash chegarasi simobning qaynash chegarasidan yuqori bo'lishi mumkin va shisha kapilyar ishlatilganida 600⁰s ni tashkil etadi. Bunda kapilyardagi inert gazning bosimi 2,0 MPa (~20 kg/sm²) dan oshadi.

Kvars kapilyarlardan foydalanilganda simobli termometrlarning yuqori o'lchash chegarasi birmuncha baland bo'lishi mumkin.

O2.6. Ko'rsatadigan asbobga olib boradigan bosim termoballondagi bosimdan suyuqlik ustuni bosimi ayirmasi sifatida aniqlanadi. Suyuqlik ustuni bosimi ko'rsatuvchi asbob va termoballon joylashishi sathining farqi bilan aniqlanadi:

$$\Delta p = \Delta H \rho g = 7,37 \cdot 13\,595 \cdot 9,81 = 0,98 \text{ MPa.}$$

Shunday qilib, asbobning ko'rsatishi termoballondagi bosimning haqiqiy qiymatiga nisbatan 0,98 MPa ga kamayadi. Manometrik termometrning sezuvchanligini aniqlaymiz

$$S = \frac{p_K - p_H}{t_K - t_H} = \frac{14,28 - 4,47}{500 - 0} = 0,0196 \text{ MPa/}^\circ\text{C.}$$

Termometr ko'rsatishining termoballon va o'lchov apparatining o'zaro joylashuvidagi farqi tufayli o'zgarishini aniqlaymiz:

$$\Delta t = \frac{\Delta p}{S} = \frac{0,98}{0,0196} = 50^\circ\text{C.}$$

Demak, manometrik termometrning ko'rsatiishlari 50⁰S ga kam bo'ladi.

O2.9. Sistemada bosim o'zgarishi quyidagi qonun bo'yicha bo'lib o'tadi:

$$p_t = p_0 [1 + \beta (t - t_0)],$$

bu yerda β – gaz kengayishining termik koeffitsiyenti; t_0 va t – temperaturaning boshlang'ich va hozirgi paytdagi temperaturalar; p_0 – ishchi moddaning t_0 temperaturadagi bosim.

Shunday qilib, bosimning o'zgarishi

$$\Delta p = p_0 \beta \Delta t.$$

Bundan boshlang'ich bosimni aniqlaymiz.

$$p_0 = \frac{\Delta p}{\beta \Delta t_i} = \frac{100}{0,00366 \cdot 500} = 54,6 \text{ кгс/см}^2.$$

O2.11. Termoelektrik termometrning ishchi va erkin uchlarining temperaturalar farqi bir hilda bo'lsa, termoelektrik termometr rivojlantirayotgan termo e.yu.k. bir xil bo'lishi mumkin, agarda termometrning xarakteristikasi liniyal bo'lsa

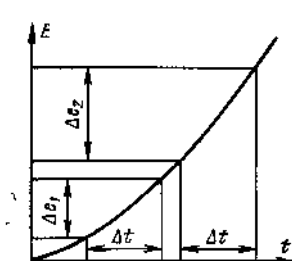


Рис. O2-1.

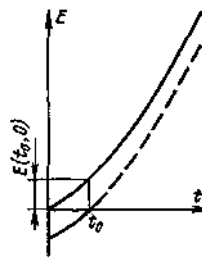


Рис. O2-2.

TXK tipidagi termoelektrik termometr xarakteristikasi noliniyal termo e.yu.k. ham turlicha bo'ladi buni [2, 11] jadvallari yoki O2-1 rasm orqali osonlikcha tushuntirish mumkin.

$$\begin{aligned} E(300^\circ\text{C}, 50^\circ\text{C}) &= E(300^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}) - E(50^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}) = \\ &= 22,88 - 3,35 = 19,53 \text{ мВ}; \\ E(600^\circ\text{C}, 350^\circ\text{C}) &= 21,97 \text{ мВ}. \end{aligned}$$

O2.12. Termoelektrik termometrning termo e.yu.ki $Y_e(t_0, 0)$ ga kamayadi. Bu uning barcha xarakteristikasini Y_e o'qidan pastga $Y_e(t_0, 0)$ ga ekvidistant aralishuviga mos keladi.

O2.15. Har ikkala termometr hosil qiladigan e.yu.ki bir hil bo'ladi. Termoelektrik termometrlarining teoriyasining asosiy xolatlaridan ma'lumki, termometr zanjiriga uchinchi o'tkazgichning ulanishi termo e.yu.ki ni o'zgartirmaydi, agarda bu o'tkazgich ulanadigan joyning temperaturasi bir hil bo'lsa.

O2.16. [2, 11] $E(32^\circ\text{S}, 0^\circ\text{S}) = 0,186\text{mV}$ tablitsa bo'yicha aniqlaymiz. Termoelektrik termometrning termo e.yu.kini, tuzatishni hisobga olib aniqlaymiz.

$$E(t, 0) = E(t^\circ, \text{C}, 32^\circ\text{C}) + E(32^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}) = 3,75 + 0,186 = 3,936 \text{ mB.}$$

Jadvaldan $E(t, 0) = 3,936 \text{ mV}$ ga mos keladigan t ni aniqlaymiz: $t = 471,3^\circ\text{S}$.

O2.17. Uchinchi o'tkazgich haqidagi teoremaga muvofiq, termoelektrik termometrning termo e.yu.ki erkin uchlariga ulangan o'tkazgichning materialiga bog'liq bo'lmaydi, agarda erkin uchlarining temperaturasi bir xilda bo'lsa.

O2.18. Zanjirda xarakatlanuvchi Y_e'' termo e.yu.k. Y_e' ga o'zgaradi:

$$\begin{aligned} E'' &= E(700^\circ\text{C}, 20^\circ\text{C}) - E'(100^\circ\text{C}, 20^\circ\text{C}) = \\ &= 6,256 - 0,112 + 0,077 = 6,221 \text{ mB.} \end{aligned}$$

O2.24. O'lchov asbobi IP ning kirish kuchlanishi shunchalik kattaki, tashqi liniyasidagi kuchlanishni yo'qotilishini e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Bunda o'lchov asbobining kirishidagi kuchlanish U_n quyidagiga teng bo'ladi:

$$U_n = E(t, t_0) + U_{cd}(t'),$$

bu yerda $E(t, t_0)$ – termoelektrik termometrning ishchi va erkin uchlaridagi temperatura t va t_0 larda xosil bo'ladigan termo e.yu.k; U_{cd} – kompensatorning cd diaganalidagi kuchlanishi rezistorning qarshiligi R_b (2-7r.ga qarang) shunday tanlanadiki, $t_0 = t''$ bo'lsin (ko'priq 0°S da muvozanatlashgan hisoblanadi)

$$E(t_0, 0) = U_{cd}(t_0).$$

Bundan kelib chiqadigan to'g'ri tuzatish kiritish uchun termometr erkin uchlarining va ko'priknig mis rezistori temperaturalari teng bo'lishiga rioya qilish kerak. Bunga erishish uchun erkin uchlar termoelektrodli uzaytiruvchi simlar yordamida ko'priknig mis rezistori yonida joylashtiriladi.

Bunda o'lchov asbobining kirishidagi kuchlanish quyidagicha teng bo'ladi:

$$U_n = E(t, t_0) + U_{cd}(t_0) = E(t, 0)$$

qiymatiga bog'liq bo'lmaydi.

Termoelektrodli simlarni mis simlarga almashtirilsa termometrning erkin uchlari 1 va 2 nuqtalarda bo'ladilar, ya'ni $t_0 = t' = 40^\circ$ $t'' = 20^\circ$ Sda.

Bundan kelib chiqadiki, bu xolatda

$$U_n' = E(t, t_0') + U_{cd}(t''),$$

shu bilan birga $U_n' < U_p$ chunki $E(t_0', 0) > U_{cd}(t'')$. Boshqacha aytganda, ko'priq erkin uchlar temperaturasini 4°S ga oshirishga tuzatish kiritish lozim, u esa faqatgina 20°S ga tuzatish kiritadi. Termoelektrik termometrning liniyasi xarakteristikasida bu asbob ko'rsatishini 20°S ga kamayishiga tengdir

O2.25. O2.24. asosida osonlikga shunday xulosaga kelish mumkinki, bu xolatda simlarni almashtirish asbobning ko'rsatishiga ta'sir ko'rsatmaydi.

O2.26. Millivoltmetrning ko'rsatishi o'zgarmaydi, chunki termoelektrik termometr zanjiriga istalgan o'tkazgichning ulanishi termo-e.yu.k. ini o'zgartirmaydi, agarda bu o'tkazgich ulanadigan joyning temperaturasi bir hil bo'lsa.

O2.27. Termo-e.yu.k. ini o'zgartirish kompensatori muvozanatlangan ko'prik bo'lib, u cd o'lchov diagonalida R_M qarshilik yelkasidan U kuchlanishining noxizqli bog'liqlikka ega.

Barcha standart termoelektrik termometrlar u yoki bu darajada noxizqli. Ammo, ko'prikning va termometrning noxizqligi turlichadir. Shu sababli termo-e.yu.k. ning to'liq kompensatsiyasiga faqat erkin uchlarning ikkidan ortiq bo'lmagan temperaturasida erishishi mumkin.

O2.28. Millivoltmetr ramkasining aylantiruvchi momenti

$$M_1 = 2rlnBI,$$

bu yerda r – ramka radiusi; l – ramkaning faol uzunligi; p – ramkaning cho'lg'amlari soni; V – tirqishdagi magnit induksiyasi; I – ramkadagi tok kuchi.

Prujinalar xosil qiladigan teskari ta'sir etuvchi moment,

$$M_2 = c\varphi,$$

bu yerda s – teskari ta'sir etuvchi prujinaning tarangligini hisobga oluvchi koeffitsiyent; φ – ramka aylanishi burchagi (prujinaning buralishi).

$M_1 = M_2$ bo'lgan xolatda ramkaning aylanishi burchagi Hamdamov Anvar Maxmudovich teng bo'ladi:

$$\varphi = \frac{2rlnBI}{c}.$$

Sezgirlik S (1) ifoda bilan aniqlanadi

$$S = \frac{\Delta\varphi}{\Delta I}.$$

$\varphi = f(I)$ bog'liqligi millivoltmetr uchun chiziqli bo'lganligi bois quyidagicha ifodani yozish mumkin:

$$S = \frac{2rlnB}{c}.$$

Shunday qilib, cho'lg'amlar p soni oshishi bilan sezgirlik S ham oshishi mumkin, bir shart bilan, koeffitsiyent o'zgarmagan holda

O2.39. Yuqori omma. Birinchi daqiqada rasm ommadan foydalanish mumkinday ko'rinadi, chunki bu narsa sxema muvozanati buzilganda pul-indikator orqali o'tadigan tokni oshirishi mumkin. Ammo shuni yodda tutmoq zarurki, ichki qarshiligi katta bo'lgan manbaning e.yu.k ni o'lchayotganda undan minimal darajada tok o'tishi kerak, chunki uning chiqishidagi kuchlanish e.yu.k dan farq qilmasligi uchun.

O2.40. Potensiometrlarda kompensatsiyalovchi kuchlanish o'lchanadigan kuchlanishga teng bo'lishi lozim. s va a , hamda d va a nuqtalar orasidagi potentsiallar farqi qiymatini xisoblab chiqamiz (2-9r). s va a , o'rtasidagi potentsiallari farqi

$$U_{ca} = -I_1(R_0 + R_{np}) + I_2R_k = -3(330 + 10,59) + 2 \cdot 509,5 = -2,77 \text{ MB},$$

bu yerda $R_{np} = \frac{R_n R_3}{R_n + R_3}$.

d va a nuqtalari o'rtasidagi potentsiallar farqi.

$$U_{da} = -I_1 R_0 + I_2 R_k = 3 \cdot 330 + 2 \cdot 509,5 = 29 \text{ mB.}$$

KSPI potentsiometrining o'lchov sxemasi hisobi termoelektrik termometr erkin uchlarining qabul qilingan temperaturasidan kelib chiqib qilinadi, ya'ni shkalaning boshlang'ich belgisi kirish kuchlanishiga mos keladi $E(0^\circ\text{S}, 30^\circ\text{S}) = -1,98 \text{ mV}$, oxirgisiga esa $Ye(400^\circ\text{S}, 30^\circ\text{S}) = 29,51 \text{ mV}$.

Kuchlanishlarni taqqoslab shuni aniqlash mumkinki, d nuqtasi shkalaning oxirgi belgisiga mos keladi.

Real sharoitlarda tenglikka rioya qilish mumkin, $U_{ca} = E(0^\circ\text{C}, 30^\circ\text{C})$ va $U_{da} = E(400^\circ\text{C}, 30^\circ\text{S})$. Olingan farq reoxordning ishlamaydigan uchastkalarini xisobga olmaslikdan kelib chiqadi.

O2.57. Mis termometrlar uchun qarshilikning temperaturaga bog'liqligi

$$R_t = R_0(1 + \alpha t).$$

Intervaldagi o'zgartirish koeffitsiyenti quyidagi ifodaga muvofiq aniqlanadi.

$$S = \Delta R_t / \Delta t.$$

Shu bois, barcha temperatura intervallarida o'zgartirish koeffitsiyenti

$$S = R_0 \alpha.$$

23 va 24 graduirovkalar temperaturasi R_0 qiymati bilan farqlanadi, α qiymati har ikkala graduirovkalar uchun bir hildir. Shu sababli 23 graduirovka uchun $S = 0,2258 \text{ Om/K}$, 24 graduirovkasi uchun $S = 0,426 \text{ Om/K}$.

VI. GLOSSARIY

Model - obyekt yoki sistemaning real mavjudligidan farqli ravishda boshka bir qancha ko‘rinishdagi tasvirlanishidir

Matematik model - tadqiq etilayotgan obyektida bo‘layotgan jarayonni qo‘yilgan aniqlik bo‘yicha ko‘rsatib beruvchi matematik ifoda ko‘rinishida bo‘ladi

grafik model - Obyekt va sistemalarning xususiyatlarini ifodalash uchun sonli tablitsa va grafiklardan xam foydalaniladi

analitik model - Bir muncha murakkabroq xollarda matematik model obyekt kirish va chiqish o‘zgaruvchilari orasidagi bog‘lanishni ifodalaydi va aniq tenglama ko‘rinishida beriladi

Fizik model –real obyektning xususiyatlarining yoki xarakterini o‘zida mujassam etgan fizik qurilma yoki maketga aytiladi

Fizik birlik-fizik kattalikning

bir xil tabiatli fizik kattaliklarni miqdoriy baxolash uchun asos sifatida qabul qilingan o‘lchami.

Areometr –qattiq jismlar va suyuqlikning zichligini o‘lchashda ishlatiladi.

Qurilma Arximed qonuniga asoslangan

O‘lchovchi asbob-o‘lchash asbobi, fizik kattalikni qiymatini belgilangan diapazonni o‘lchash uchun mo‘ljallangan

O‘lchanayotgan fizik kattalik –o‘lchashga mo‘ljallangan, asosiy o‘lchash maqsadi, o‘lchanayotgan yoki o‘lchangan bilan solishtirish

O‘lchovchi asbob-o‘lchash asbobi, fizik kattalikni qiymatini belgilangan diapazonni o‘lchash uchun mo‘ljallangan.

Metrologik elementlar-xavo va atmosfera xolatlarini ifodalovchi proses. -xarorat, bosim, namlik,

shamol, tuman, yog‘ingarchilik va boshqalar.

O‘lchov-maxsus texnik vositalar yordamida fizik miqdorning qiymathii tajriba yo‘li bilan aniqlashdir. O‘lchash – o‘lchanayotgan miqdorni birlik sifatida qabul qilingan miqdor bilan taqqoslashdan iboratdir

Metrologiya- o'lchashlar to'g'risidagi fan demakdir, metr so'zi fransuzcha bo'lib metre, grekcha metron o'lchashni anglatadi.

To'g'ri o'lchash-to'g'ridan – to'g'ri o'lchash usuli

O'lchov asbobi-texnik asbob, o'lchashda ishlatiladigan va metrologik xususiyatga ega.

Shkala bo'limining qiymati deb, o'lchanadigan miqdorning shkaladagi bir bo'limiga mos qiymatga aytiladi. Masalan, soat tipidagi indikator shkalasidagi bir bo'limning qiymati 0,01 mm ga teng.

O'lchanayotgan fizik kattalik –o'lchashga mo'ljallangan, asosiy o'lchash maqsadi, o'lchanayotgan yoki o'lchangan bilan solishtirish

Fizik kattaliklarning birligi- fizik kattalikning bir xil

tabiatli fizik kattaliklarni miqdoriy baxolash uchun asos

sifatida qabul qilingan o'lchami.

Aniqlik, qurilmaning ekspluatatsiya davrida son yoki miqdorga asoslangan holda chegaralarni aniqlash.

Tasodifiy xatolik-faqat bitta kattalikni qayta o'lchash mobaynida tasodifiy o'zgaruvchi o'lchash xatoligi tushuniladi.

O'lchash xatoligi-o'lchash natijasi bilan o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatidan orasidagi farq

VII. FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

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. Gartman T.N., Klushin D.V. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: Учеб. пособие для вузов. – М.: ИКС “Академикна”, 2006. 416с.
6. Kafarov V.V. Математическое моделирование основных процессов химической технологии. - М.: Высшая школа. 1999.
7. Kafarov V.V., Glebov M.B. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: Высшая школа, 1991.– 400
8. Dvovreskiy S.I., Yegorov A.F., Dvovreskiy D.S. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 224 с
9. Komissarov M.A., Glebov M.B., Gordeev L.S. Химико-технологические процессы. Теория и эксперименты. – М.: Химия, 1999. – 358 с.
10. Yusupbekov N.R. Математическое моделирование технологических процессов. О'quv qo'llanma. - ToshDU.: 1989.
11. 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.
12. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P., Gulyamov Sh.M. Основы процессов разделения многокомпонентных смесей. – Т: “Университет”, 2017.
13. Yusupbekov N.R., Gulyamov Sh.M., Muxitdinov D.P., Avazov Yu.Sh. Математическое моделирование процессов ректификации многокомпонентных смесей. –Т.: TashGTU, 2014.
14. Yusupbekov N.R., Gulyamov Sh.M., Mannanov U.V. Моделирование совмещенных реакционно-разделительных процессов. –Т.: TashGTU, 1999.
15. Alan S. Moris, Reza Langari. Measurement and Instrumentation.-UK:Academic Press, 2016-697p.
16. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. -Toshkent: O'qituvchi, 2011. -576 b.
17. Yusupbekov H.P., Muxamedov B.E., Gulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni boshqarish sistemalari. -Toshkent: Ukituvchi. 1997. -704 b.

18. Zaysev C.A., Griбанov D.D., Tolstov A.H., Merkulov R.V. Kontrolno izmeritelnye pribory i instrumenty. -M.: Akademiya, 2002. -464s.
19. Ivanova G.M., Kuznetsov N.D., Chistyakov B.C. Teplotexnicheskiye izmereniya i pribory. -M.:MEI, 2005.-460s.
20. Gulyayev A.K. Vizualnoye modelirovaniye v srede MATLAB. Uchebnyy kurs. -SPb.: Piter.2000. -432s.
21. SIMULINK-modelirovaniye v srede MATLAB.Uchebnoye posobiye. -M.: MGUIE. 2002. -128s.
22. KalinichenkoA.V. Spravochnik injenera po KIPiA. -M.: Infra Injeneriya, 2008. -564s.
23. P.Kuznetsov N.D., Chistyakov B.C. Sbornik zadach i voprosov po «Teplotexnicheskiye izmereniya i pribory». -M.: MEI, 2005.
24. Beldeyeva JI.H. Texnologicheskiye izmereniya na predpriyatiyax ximicheskoy promyshlennosti. Chast 1. -Altay: AltGTU, 2002. -70s.
25. Beldeyeva L.N. Texnologicheskiye izmereniya na predpriyatiyax ximicheskoy promyshlennosti. Chast 2. -Altay: AltGTU, 2002. -100s.