

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**OLIV TA'LIM TIZIMI PEDAGOG VA RAHBAR KADRLARINI QAYTA
TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI OSHIRISHNI TASHKIL
ETISH BOSH ILMIV – METODIK MARKAZI**

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

**“TEXNOLOGIK JARAYONLAR VA ISHLAB
CHIQRISHNI AVTOMATLASHTIRISH VA
BOSHQARISH”
yo'nalishi bo'yicha**

**“AVTOMATLASHTIRISHNING DOLZARB
MUAMMOLARI VA ZAMONAVIV YUTUQLARI”
o'quv modullari**

O' Q U V – U S L U B I Y M A J M U A

Toshkent-2024

Mazkur o‘quv-uslubiy majmua Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2023 yil 25-avgustdagi 391-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv dastur asosida tayyorlandi.

Tuzuvchi: TDTU, “Ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish” kafedrasida dotsentlari, PhD. **Iskandarov Z.E.**, va PhD. **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 2024 yil 31-yanvardagi 5-sonli yig‘ilishida ko‘rib chiqilib, foydalanishga tavsiya etildi.

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	74

I. ISHCHI DASTUR

KIRISH

O‘zbekiston Respublikasining 2020 yil 23 sentabrda 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 oktabr “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5847-sonli Farmonlari hamda O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 23 sentabr “Oliy ta’lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi 797-sonli Qarorida belgilangan ustuvor vazifalar mazmunidan kelib chiqqan holda tuzilgan bo‘lib, u oliy ta’lim muassasalari pedagog kadrlarining kasb mahorati hamda innovatsion kompetentligini rivojlantirish hamda oliy ta’lim muassasalari pedagog kadrlarining kasbiy kompetentligini muntazam oshirib borishni maqsad qiladi.

Ushbu ishchi o‘quv dasturda energetika taraqqiyotining zamonaviy holati, energetik ishlab chiqarishning ekologik muammolari va ularni hal etish yo‘llari, intellektual elektr tizimlari, energiyani akkumulyatsiyalash muammolari, birlashgan energetika tizimlari, elektr energiyasini uzatish, taqsimlash va iste‘mol qilish jarayonida energetik samaradorlikni oshirish usullarini o‘rganish bo‘yicha muammolar bayon etilgan.

Modulning maqsadi va vazifalari

“Avtomatlashtirishning dolzarb muammolari va zamonaviy yutuqlari” modulining maqsadi - pedagog kadrlarning innovatsion yondoshuvlar asosida o‘quv-tarbiyaviy jarayonlarni yuksak ilmiy-metodik darajada loyihalashtirish, texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish sohasidagi ilg‘or tajribalar, zamonaviy bilim va malakalarni o‘zlashtirish va amaliyotga joriy etishlari uchun zarur bo‘ladigan kasbiy bilim, ko‘nikma va malakalarini takomillashtirish, shuningdek ularning ijodiy faolligini rivojlantirishdan iborat.

Modulning vazifalari - tinglovchilarda texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning amaliy ahamiyati, avtomatlashtirishning ishlab chiqarishdagi o‘rni, texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning usullarini, modellashtirish va optimallashtirish, avtomatlashtirish tizimlarida modellarni baholashda zamonaviy yondashuv usullarini hamda bu ishlarda foydalaniladigan elektron manba, adabiyotlar va fond materiallardan to‘g‘ri foydalanishni o‘rgatishdir.

Modul bo‘yicha tinglovchilarning bilimi, ko‘nikmasi, malakasi va kompetensiyalariga qo‘yiladigan talablar

“Avtomatlashtirishning 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 **bilishi** kerak;

Tinglovchi:

- 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'nikmalariga** ega bo'lishi lozim.

Tinglovchi:

- o'lchash usullarini tahlil qilish;
- texnologik jarayonlarni boshqarish obyekti sifatida tahlil qilish;
- texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning funksional sxemalarini tuzish;

- rostdlash 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 zarur.

Tinglovchi:

- 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 **kompetensiyalariga** ega bo‘lishi kerak;

Modulni tashkil etish va o‘tkazish bo‘yicha tavsiyalar

“**Avtomatlashtirishning dolzarb muammolari va zamonaviy yutuqlari**” moduli ma’ruza, amaliy mashg‘ulot va ko‘chma mashg‘ulotlar shaklida olib boriladi.

Modulni o‘qitish jarayonida ta’limning zamonaviy usullari (metod), pedagogik texnologiyalar va axborot-kommunikatsiya texnologiyalari qo‘llanilishi nazarda tutilgan:

- ma’ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida taqdimot (prezentatsiya) va elektron-didaktik texnologiyalardan;

- Amaliy mashg‘ulotlarda tinglovchilar o‘quv modullari doirasidagi ijodiy topshiriqlar, keyslar, o‘quv loyihalari, texnologik jarayonlar bilan bog‘liq vaziyatli masalalar asosida amaliy ishlarni bajaradilar.

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

“**Avtomatlashtirishning dolzarb muammolari va zamonaviy yutuqlari**” moduli mazmuni o‘quv rejadagi “Sohaning texnologik o‘lchashlari va asboblari”, “Avtomatik boshqarish nazariyasi”, “Boshqarish sistemalarining elementlari va qurilmalari”, “Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari”, “Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish” o‘quv modullari bilan uzviy bog‘langan holda pedagoglarning geologiya sohasini chuqurroq egallashga, xamda kasbiy pedagogik tayyorgarlik darajasini oshirishga xizmat qiladi.

Modulning oliy ta'limdagi o'rni

Modulni o'zlashtirish orqali tinglovchilar FQ konlarni o'rganishning turli bosqichlari, qidirish va razvedka qilishning zamonaviy usullari, turli bosqichlarda geologiya-qidiruv ishlarini loyihalash va loyihani ishga tushirishda bajariladigan jamoaviy ishlar, echimini kutayotgan masalalarni mustaqil ravishda hal etish, ma'lumotnomalarni shakllantirish, ilmiy va ishlab-chiqarishdagi fond materiallaridan to'g'ri foydalanishni o'rganish hamda kelajakda ilmiy tekshirish va tarmoq ishlab chiqarish sohalari ishlarini olib borish qobiliyatini shakllantirish bo'yicha kompetentligiga ega bo'ladilar.

Modul bo'yicha soatlar taqsimoti

№	Modul mavzulari	Tinglovchining o'quv yuklamasi, soat			
		Jami	Nazariy	Amaliy mashg'ulot	Ko'chma mashg'ulot
1.	Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslarining tarixi va rivojlanish tendensiyalari. Sanoat korxonalarida ishlatiladigan kompyuterli modellashtirish va optimallashtirish asoslari to'g'risida umumiy ma'lumot.	2	2		
2.	Kimyoviy-texnologik jarayonlarni kopyuterli model-lashtirish prinsiplari. Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash	4	2	4	4
3.	Optimallashtirish masalasining qo'yilishi. Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari	4	2	2	
4.	Kimyoviy texnologiya tipik apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish	6	2	2	2
5.	O'lchash to'g'risidagi umumiy ma'lumotlar. Sanoat korxonalarida qo'llaniladigan texnologik o'lchashlar va asboblarning to'g'risidagi umumiy ma'lumot. Nazoratning texnologik asboblarning faning tarixi va rivojlanish tendensiyalari	6	4		2
6	O'lchash xatoliklari. O'lchash vositalarining strukturaviy sxemasi to'g'risida umumiy tushunchalar	6	2	4	2
7	Harorat, satx, bosim va modda miqdorini o'lchash vositalarining tasnifi	6	2	6	2
	Jami:	46	16	18	12

NAZARIY MASHG‘ULOTLAR MAZMUNI

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

Kirish. Fanning maqsad va vazifalari, ob'yektlari, boshqa fanlar bilan aloqalari. Sanoat korxonalarida ishlatiladigan kompyuterli modellashtirish va optimallashtirish asoslari to'g'risida umumiy ma'lumot. Texnologik jarayonlarni modellashtirishning dolzarb muammolari; baholashning zamonaviy yutuqlari.

2-mavzu. Kimyoviy-texnologik jarayonlarni kopyuterli model-lashtirish prinsiplari.

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

3-mavzu. Optimallashtirish masalasining qo'yilishi.

Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari.

4-mavzu. Kimyoviy texnologiya tipik apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish

5-mavzu. O'lchash to'g'risidagi umumiy ma'lumotlar.

Sanoat korxonalarida qo'llaniladigan texnologik o'lchashlar va asboblarning to'g'risidagi umumiy ma'lumot. Texnologik o'lchashlar va asboblarning faning tarixi va rivojlanish tendensiyalari.

6-mavzu. O'lchash xatoliklari.

O'lchash vositalarining strukturaviy sxemasi to'g'risida umumiy tushunchalar.

7-mavzu. Harorat, satx, bosim va modda miqdorini o'lchash vositalarining tasnifi

Texnologik parametrlar, harorat sath, satx, bosim va modda miqdorini o'lchash usullari. Termometrlar. Manometrlar. Sath o'lchash asboblari. Hisoblagichlar sarf o'lchash asboblari.

AMALIY MASHG‘ULOTLAR MAZMUNI

1-amaliy mashg‘ulot: Kimyoviy-texnologik jarayonlarning matematik ifodalarini fizik-kimyoviy modellar yordamida ifodalash.

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

2-amaliy mashg‘ulot: Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari.

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

3-amaliy mashg‘ulot: Kimyoviy texnologiya tipik apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish.

Texnologik jarayonlarni empirik statik modellarini qurish buyicha masalalar yechish.

4-amaliy mashg‘ulot: O'lchash xatoliklari.

O'lchash xatoliklarini hisoblash. Muntazam xatoliklar. O'lchash natijasiga tuzatmalar kiritish.

5-amaliy mashg‘ulot: Haroratni nazorat qilish. Harorat o'lchash vositalari

Haroratni o'lchash va nazorat qilish. Harorat o'lchash vositalarini hisoblashga oid masalalar yechish

6-amaliy mashg'ulot: Bosimni o'lchash. Bosim o'lchash vositalari
Bosimni o'lchashga doir masalalar yechish.

7-amaliy mashg'ulot: Satxni o'lchash. Satx o'lchash vositalari
Satxni o'lchashga doir masalalar yechish.

8-amaliy mashg'ulot: Modda miqdori va sarfni o'lchash. Sarf o'lchash vositalari

Modda miqdori va sarfni o'lchashga doir masalalar yechish.

KO'CHMA MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-mavzu: "Unisim design" dasturida texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish.

2-mavzu: Avtomatik boshqarish sistemalarining optimallik mezonlari

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

TA'LIMNI TASHKIL ETISHNING SHAKLLARI

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

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

- ma'ruza;
- amaliy mashg'ulot.

O'quv ishini tashkil etish usuliga ko'ra:

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

Jamoaviy ishlash – bunda o'qituvchi guruhlarning bilish faoliyatiga rahbarlik qilib, o'quv maqsadiga erishish uchun o'zi belgilaydigan didaktik va tarbiyaviy vazifalarga erishish uchun xilma-xil usullardan (metod) foydalanadi.

Guruhlarda ishlash – bu o'quv topshirig'ini hamkorlikda bajarish uchun tashkil etilgan, o'quv jarayonida kichik guruhlarda ishlashda (3 tadan – 7 tagacha ishtirokchi) faol rol o'ynaydigan ishtirokchilarga qaratilgan ta'limni tashkil etish shaklidir. O'qitish usuliga (metod) ko'ra guruhni kichik guruhlarga, juftliklarga va guruhlarga shaklga bo'lish mumkin.

Bir turdagi guruhli ish o'quv guruhlari uchun bir turdagi topshiriq bajarishni nazarda tutadi.

Tabaqalashgan guruhli ish guruhlarda turli topshiriqlarni bajarishni nazarda tutadi.

Yakka tartibdagi shaklda - har bir ta'lim oluvchiga alohida – alohida mustaqil vazifalar beriladi hamda vazifaning bajarilishi nazorat qilinadi.

Adabiyotlar

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining asarlari

1. Mirziyoev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. – T.: “O‘zbekiston”, 2017. – 488 b.
2. Mirziyoev Sh.M. Milliy taraqqiyot yo‘limizni qat’iyat bilan davom ettirib, yangi bosqichga ko‘taramiz. 1-jild. – T.: “O‘zbekiston”, 2017. – 592 b.
3. Mirziyoev Sh.M. Xalqimizning roziligi bizning faoliyatimizga berilgan eng oliy bahodir. 2-jild. T.: “O‘zbekiston”, 2018. – 507 b.
4. Mirziyoev Sh.M. Niyati ulug‘ xalqning ishi ham ulug‘, hayoti yorug‘ va kelajagi farovon bo‘ladi. 3-jild.– T.: “O‘zbekiston”, 2019. – 400 b.
5. Mirziyoev Sh.M. Milliy tiklanishdan – milliy yuksalish sari. 4-jild.– T.: “O‘zbekiston”, 2021. – 400 b.
6. Sharipov Q.A. va b. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining BMT Bosh assambleyasida so‘zlagan nutqini o‘rganish bo‘yicha o‘quv qo‘llanma (Matn); - T.:”Ma’naviyat”, 2021. – 280 bet.

Normativ-huquqiy hujjatlar

6. O‘zbekiston Respublikasining Konstitutsiyasi. – T.: O‘zbekiston, 2023.
7. O‘zbekiston Respublikasining 2021 yil 23 sentabrda qabul qilingan “Ta’lim to‘g‘risida”gi O‘RQ-637-sonli Qonuni.
8. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015 yil 12 iyun “Oliy ta’lim muassasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi PF-4732-sonli Farmoni.
9. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevral “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida”gi 4947-sonli Farmoni.
10. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 20 aprel "Oliy ta’lim tizimini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-2909-sonli Qarori.
11. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 27 may “O‘zbekiston Respublikasida korrupsiyaga qarshi kurashish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PF-5729-son Farmoni.
12. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 27 avgust “Oliy ta’lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to‘g‘risida”gi PF-5789-sonli Farmoni.
13. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 8 oktabr “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5847-sonli Farmoni.
14. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021 yil 29 oktabr “Ilm-fanni 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-6097-sonli Farmoni.
15. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoevning 2021 yil 25 yanvardagi Oliy Majlisga Murojaatnomasi.
16. [O‘zbekiston Respublikasi Sanoat xavfsizligi davlat qo‘mitasining 2019 yil](#)

[20 fevral “Kon-ruda, noruda va ko‘mir sanoati konlari va shaxtalarida yer osti lift qurilmalaridan xavfsiz foydalanish bo‘yicha yo‘riqnomani tasdiqlash haqida” gi 09/YuB-14-son Qarori.](#)

17. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 1 iyul [“Noruda foydali qazilmalarni o‘z ichiga olgan yer qa‘ri uchastkalaridan foydalanish huquqini berish jarayonini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”](#)gi 546-sonli Qarori.

18. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 23 sentabr “Oliy ta‘lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi 797-sonli Qarori

19. Постановление Президента Республики Узбекистан от 7 июля 2019 года в области интеллектуальной собственности «Государственный» О мерах по совершенствованию управления Постановлением ПП-4380.

20. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021 yil 28 yanvardagi “Intellectual mulk ob‘ektlarini muhofaza qilish tizimini takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi PQ-4965-sonli qarori.

Maxsus adabiyotlar

21. Асекретов О.К., Борисов Б.А., Бугакова Н.Ю. и др. Современные образовательные технологии: педагогика и психология: монография. – Новосибирск: Издательство СРНС, 2015. – 318 с.

22. Белогуров А.Ю. Модернизация процесса подготовки педагога в контексте инновационного развития общества: Монография. — М.: МАКС Пресс, 2016. — 116 с. ИСБН 978-5-317-05412-0.

23. David Spencer “Gateway”, Students book, Macmillan 2012g.

24. Gulobod Qudratulloh qizi, R.Ishmuhamedov, M.Normuhammedova. An‘anaviy va noan‘anaviy ta‘lim. – Samarqand: “Imom Buxoriy xalqaro ilmiy-tadqiqot markazi” nashriyoti, 2019. 312 b.

25. English for Specific Purposes. All Oxford editions. 2010, 204.

26. Inogamov I.I. Marksheyderlik ishi. – T.: Fan va texnologiyalar. 2017.

27. Ibraymov A.E. Masofaviy o‘qitishning didaktik tizimi. metodik qo‘llanma/tuzuvchi. A.E. Ibraymov. – Toshkent: “Lesson press”, 2021. 112 bet.

28. Ishmuhamedov R.J., M.Mirsolieva. O‘quv jarayonida innovatsion ta‘lim texnologiyalari. – T.: «Fan va texnologiya», 2014. 60 b.

29. Игнатова Н. Ю. Образование в цифровую эпоху: монография. М-во образования и науки РФ.– Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2017. –128 с.

30. Lindsay Clandfield and Kate Pickering “Global”, B2, Macmillan. 2013. 175

31. Muslimov N.A va boshqalar. Innovatsion ta‘lim texnologiyalari. O‘quv-metodik qo‘llanma. – T.: “Sano-standart”, 2015. – 208 b.

32. Oliy ta‘lim tizimini raqamli avlodga moslashtirish konsepsiyasi. Yevropa Ittifoqi Erasmus+ dasturining ko‘magida. https://hiedtec.ecs.uniruse.bg/pimages/34/3_UZBEKISTAN-CONCEPT-UZ.pdf

33. 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.

34. 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.

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

36. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: Учеб. пособие для вузов. – М.:ИКС “Академкнига”, 2006. 416с.

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

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

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

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

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

42. 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.

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

44. Usmonov B.Sh., Habibullaev R.A. Oliy o'quv yurtlarida o'quv jarayonini kredit-modul tizimida tashkil qilish. O'quv qo'llanma. T.: “Tafakkur” nashriyoti, 2021 y. 120 bet.

45. Алексев Г.В., Боровков М.И., Дмитриченко И.М. Основы защиты интеллектуальной собственности: учебное пособие для ВУЗов.-СПб.: ИС «Интермедия», 2016. - 264с.

46. O'zR ning «Ixtiro, foydali model va sanoat namunalari haqida»gi 6.05.94,N 1063-XII dagi amalga kiritilgan qonunlari (Keyingi tuzatishlar bilan).

47. O'zR IMA ning rasmiy nashri «Rasmiy axborotnoma», bir yilda 12 ta son. Toshkent. 2021 yu.

Internet saytlar

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

49. <http://lex.uz> – O'zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi

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

51. <http://ziyonet.uz> – Ta'lim portali Ziyonet

52. <http://natlib.uz> – Alisher Navoiy nomidagi O‘zbekiston Milliy kutubxonasi
53. <http://www.ima.uz>.
54. <http://www.fips.ru>
55. <http://ipdl.wipo.int>

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.

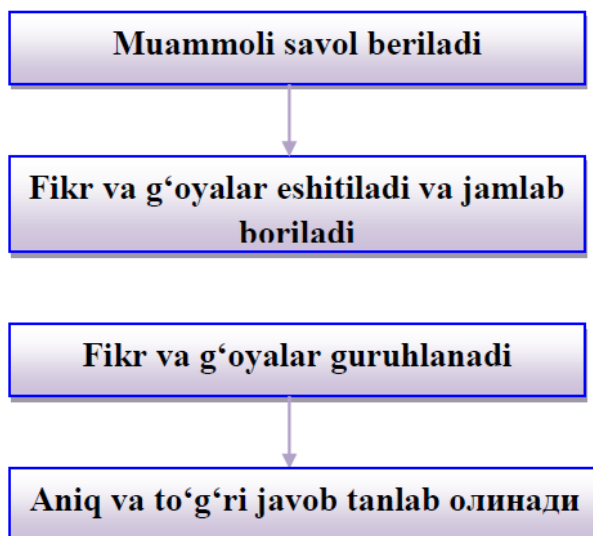
2. Mavzuni takrorlash yoki bir mavzuni keyingi mavzu bilan bog‘lash maqsad qilib qo‘yilganda -yangi mavzuga o‘tish qismida amalga oshiriladi.

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.

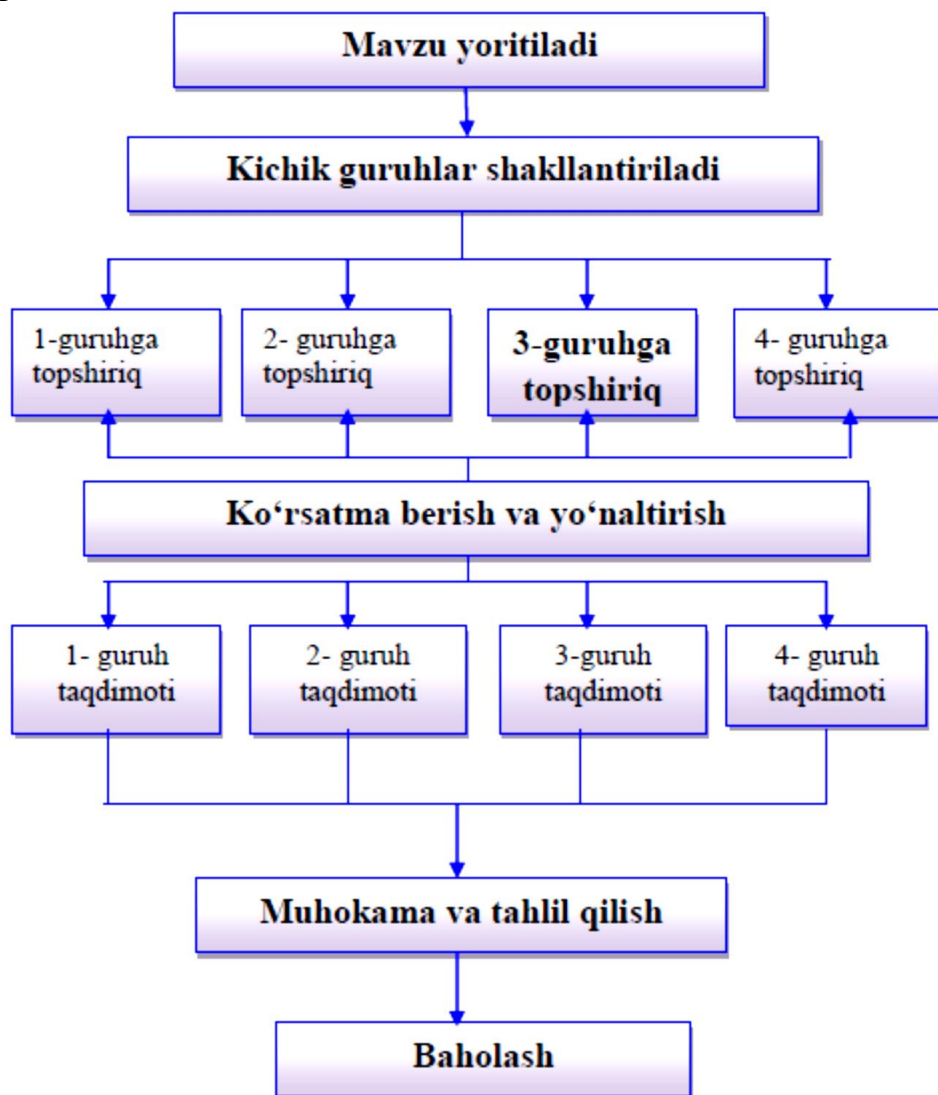
“Aqliy hujum” metodining kamchiliklari:

- 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. Bajarilgan 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 suhbat” 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 suhbat” 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.

Бундан ташқари

- Инсерт усули
- Кластерли таҳлил
- SWOT-таҳлил
- Т-жадвал
- Венн диаграммаси

- БББ жадвали
- ФСМУ жадвали
- Синквейн усули
- Интерфаол тестлар
- Ақлий ҳужум
- Кичик гуруҳда ишлаш
- Ролли ўйин
- ва ҳ.к. фаолият турларидан фойдаланилади.

III. NAZARIY MATERIALLAR

1- Mavzy: Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslarining tarixi va rivojlanish tendensiyalari. Sanoat korxonalarida ishlatiladigan kompyuterli modellashtirish va optimallashtirish asoslari to'g'risida umumiy ma'lumot.

Режа:

1.1. Matematik modellashtirish

1.2. Modellashtirish tizimlari turlarining tasnifi

1.3. Shaxsiy kompyuterlarda tizimlarni modellashtirish imkoniyatlari va samaradorligi

1.3.1. Tizimlarning ishlash jarayonini shakllantirish va Algoritmflash

1.3.2. Tizimning konseptual modelini qurish va uni shakllantirish

1.4. Matematik modellarning asosiy turlari

1.5. Obyektning matematik tavsifini tuzish

1.6. Matematik modelni yechish usulini tanlash, uni yechish algoritmini tuzish va modellashtirish dasturi ko'rinishida amalga oshirish

1.7. Matematik modellarni qurishning blokli tamoyili

1.8. Matematik tavsif tenglamalar tizimining tahlili

1.1. Matematik modellashtirish

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

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

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

Kimyoviy-texnologik jarayonlarni qanday o'rganish mumkin? Bu muammoni yechish kalitini matematik modellash usuli beradi. Bu usul tizimli tahlil strategiyasiga asoslanadi. Bu strategiyaning mohiyati – jarayonni murakkab o'zaro ta'sirlanuvchi ierarxik tizim deb, uning strukturasi sifatli tahlillab, matematik ifodasini ishlab chiqish va noma'lum parametrlarini baholashdan iboratdir. Masalan, yaxlit suyuq muhitda zarralar, tomchilar yoki gaz pufakchalar ansamblini harakatlanish jarayonida paydo bo'layotgan hodisalar qaralganda, samaralar ierarxiyasining beshta sathi ajratiladi: 1) atomar-molekular sathdagi hodisalar majmui; 2) molekular tashqi yoki globulyar strukturalar masshtabdagi samaralar; 3) fazalararo energiya va modda olib o'tish hodisalari va kimyoviy reaksiyalarni inobatga oladigan, dispersli fazani birlik ulanish harakatiga bog'liq bo'lgan ko'p fizikaviy-kimyoviy hodisalar to'plami; 4) yaxlit fazada ko'chib yuradigan aralashmalar ansamblidagi fizik-kimyoviy jarayonlar; 5) apparat masshtabida makrogidrodinamik muhitni aniqlaydigan jarayonlar majmui. Bunday yondashuv butun jarayonning hodisalari va ular orasidagi bog'lanishlar to'plamini to'la o'rnatishga imkon beradi.

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

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

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

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

Matematik tavsifni tuzish bosqichida obyektning asosiy hodisa va elementlari avval ajratib olinadi va keyin ular orasidagi aloqalar aniqlanadi. Har bir ajratib olingan element va hodisa uchun uning funksiyalanishini aks ettiradigan tenglama (yoki tenglamalar tizimi) yoziladi. Bundan tashqari, matematik tavsifga turli ajratib olingan hodisalar orasiga aloqa tenglamalari kiritiladi. Jarayon nisbatiga qarab matematik tavsif algebraik, differensial, integral va integro-differensial tenglamalar sistemasi ko'rinishida ifoda etilishi mumkin.

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

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

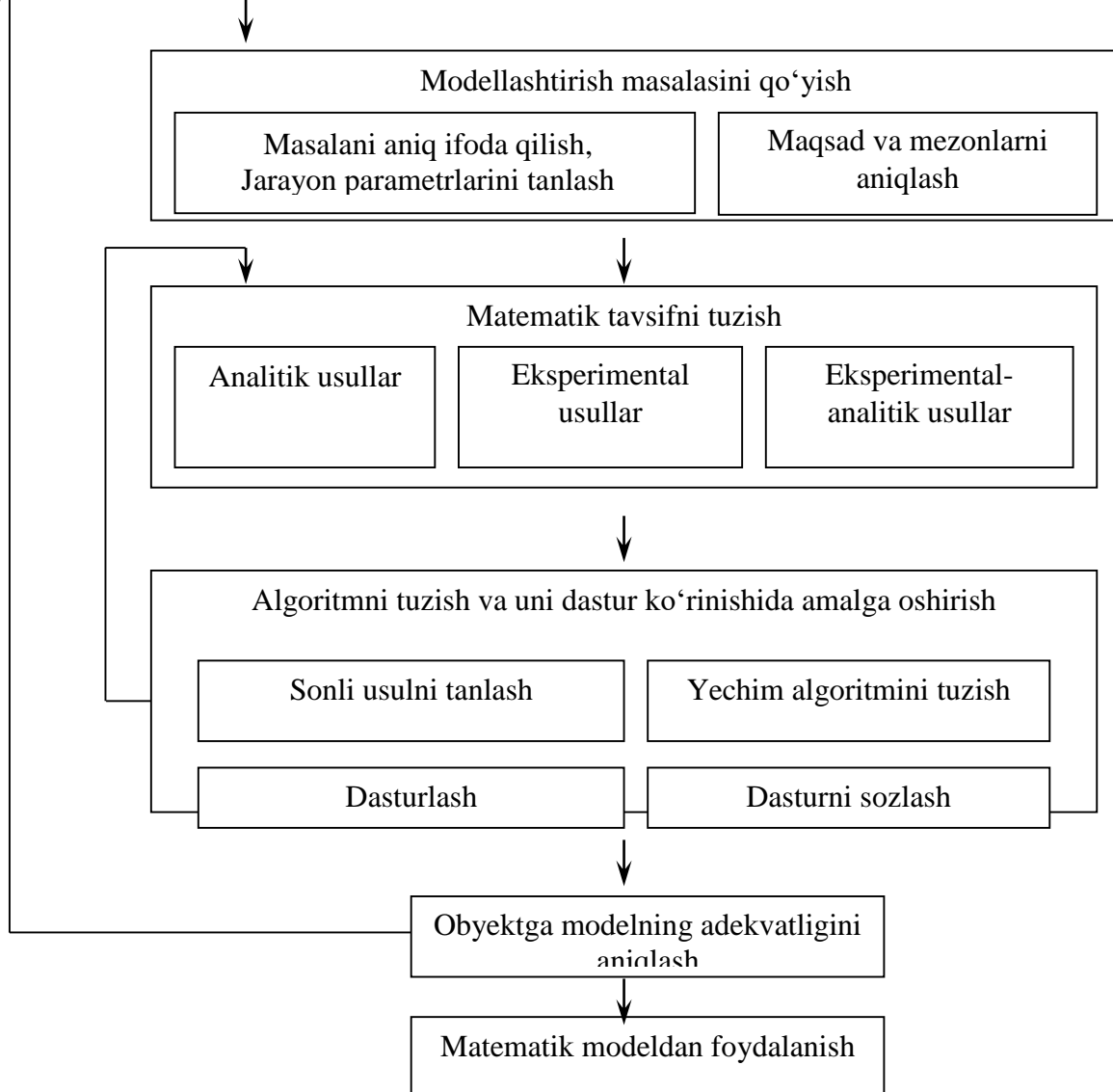
Modelning monandligini o'rnatish bosqichi uni ishlab chiqish bosqichlari ketma-ketligining yakuniysidir. 1.1-rasmda matematik modelni ishlab chiqishning umumiy sxemasi ko'rsatilgan.

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

Tadqiqotning muvaffaqiyatliliigi va olingan natijalarning ahamiyatliliigi modelda o'rganilayotgan jarayonning xarakterli xislatlarini hisobga to'g'ri olishga bog'liq.

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

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



1.1-rasm. Matematik modelni ishlab chiqish bosqichlari.

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

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

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

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

Ishlab chiqarishdagi modellashtirish obyektlari deganda quyidagilarni tushunish kerak:

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

2. Texnologik jarayonlar (TJ).

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

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

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

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

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

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

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

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

Matematik modellar quyidagilar uchun ishlab chiqiladi:

1. FJ, FKJ, TJ, TT larni tavsiflash.

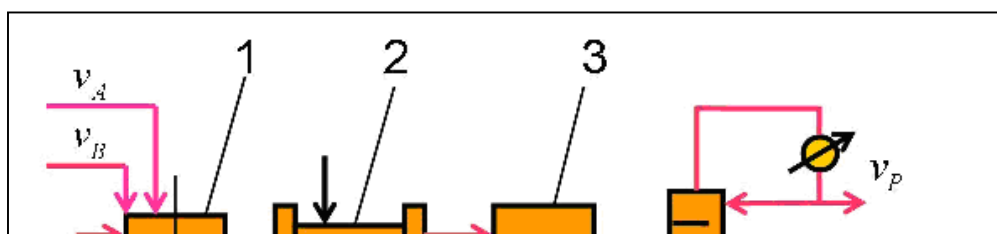
2. FJ, FKJ, TJ, TT larni tadqiq qilish.

3. TJ, TT larni loyihalash.

4. TJ, TT larni loyihalashda optimallashtirish.

5. Avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlarini qurish.

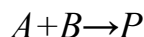
Matematik modelning ko‘rinishi, tarkibi va murakkabligi qaysi obyektning tavsiflaydi va qaysi maqsadlar uchun ishlab chiqilganiga bog‘liqdir.



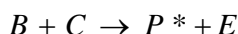
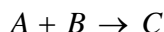
1.2-rasm. Mahsulotni olish jarayonining texnologik sxemasi(KTS).

Misol.

P mahsulotni olish reaksiyasi:



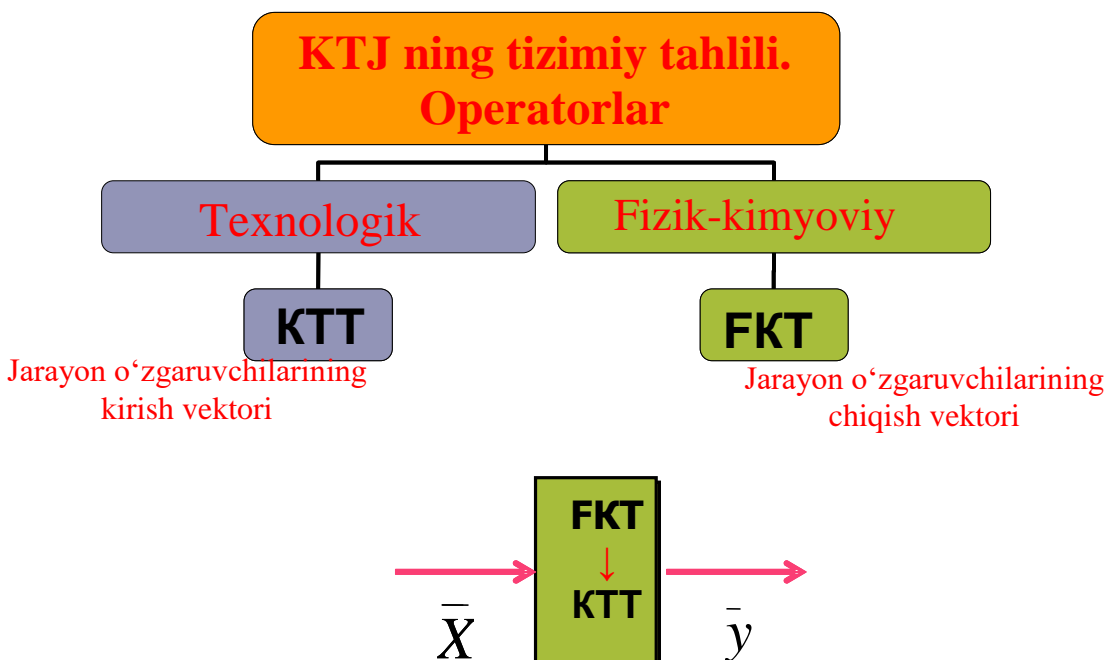
Asosiy bosqichlari:



Matematik modelni yaratish uchun $\mathbb{C}^n \times \mathbb{P} \rightarrow \mathbb{G}$ ning tizimiy tahlilini bajarish lozim.

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

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



1.2. Modellashtirish tizimlari turlarining tasnifi

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

S tizimlarini modellashtirish turlarining tasnifi 1.3-rasmda keltirilgan. S tizimda o'rganilayotgan jarayonlar xarakteriga muvofiq modellashtirishning barcha turlari determinatlangan va stoxastik, statik va dinamik, diskret, uzluksiz va diskret – uzluksizlarga bo'linishi mumkin. *Determinatlangan modellashtirish* determinatlangan jarayonni aks ettiradi, ya'ni har qanday tasodifiy ta'sirlarning yo'qligi inobatga oladigan jarayonlarni nazarda tutadi; *Stoxastik modellashtirish* ehtimollik jarayonlar va hodisalarni aks ettiradi. Bu holda tasodifiy jarayonning qator amalga oshirilishlari tahlillanadi va o'rta ta'riflar, ya'ni bir turdagi amalga oshirishlarning to'plami baholanadi. *Statik modellashtirish* qandaydir vaqt lazasida obyekt xulqini tavsiflash uchun xizmat qiladi, *dinamik modellashtirish* esa vaqtda obyektning xulqini aks ettiradi. *Diskret modellashtirish* diskretligi nazarda tutilgan jarayonlarni tavsiflash uchun xizmat qiladi va shunga muvofiq uzluksiz modellashtirish tizimlarda uzluksiz jarayonlarni aks ettirish uchun imkon beradi, *diskret – uzluksiz modellashtirishdan* esa diskret hamda uzluksiz jarayonlarni ajratib ko'rsatish zarur bo'lgan hollarda foydalaniladi.

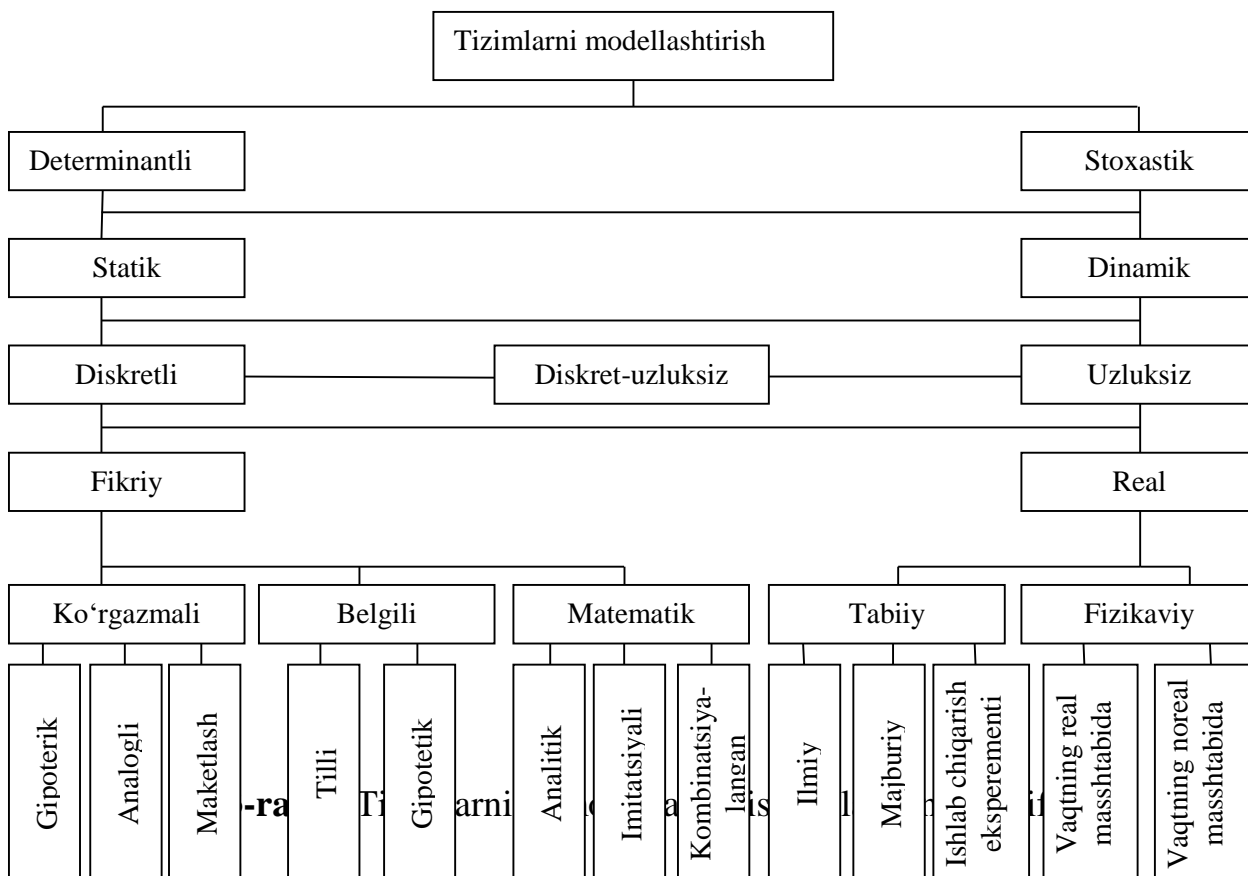
Xayoliy modellashtirish.

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

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

Ayoniyy modellashtirish.

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



Analogli modellashtirish.

Analogli modellashtirish turli darajadagi analogiyalarni qoʻllashga asoslanadi. Faqat oddiy obyektlar uchun oʻrinli boʻlgan eng yuqori darajalilari toʻliq analogiya hisoblanadi. Obyektning murakkablashishi bilan keyingi darajalardagi analogiyalardan foydalaniladi, bunda, analogli model obyektning ishlashining bir nechta yoki faqat bir tarafini aks ettiradi.

Xayoliy ayoniyy modellashtirishda *maketlash* muhim oʻrin ega. Xayoliy maket real obyektga oʻtadigan jarayonlar fizikaviy modellashtirishga imkoni boʻlmagan yoki modellashtirishning boshqa turlarini oʻtkazishdan oldin qoʻllanilishi mumkin boʻlgan hollarda qoʻllaniladi. Xayoliy maketlarni qurish asosida analogiyalar yotadi, biroq odatda obyektga hodisalar va jarayonlar orasidagi sabab - oqibat bogʻlanishlarga asoslanadi. Agar baʼzi tushunchalar, yaʼni alomatlar belgilashni hamda alomatlar orasida maʼlum amallarni kiritsak, unda *alomatli modellashtirishni* amalga oshirish mumkin va alomatlar yordamida tushunchalar toʻplamini aks ettirish mumkin, yaʼni soʻzlardan ayrim gaplar va zanjirlar tuzish mumkin. Koʻplik

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

Tilli modellashtirish.

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

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

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

Matematik modellashtirish.

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

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

Analitik modelni tadqiqot usullari.

Analitik model quyidagi usullar bilan tadqiq qilinishi mumkin:

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

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

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

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

usuldan foydalanishni istaganda tizimning loqal umumiy xususiyatlarini o'rganish uchun birlamchi model ancha soddalashtiriladi.

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

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

Imitatsion modellashtirish.

Imitatsion modellashtirishda S tizimning vaqt bo'yicha ishlash jarayonini amalga oshiruvchi modelning algoritmi qayta ishlab chiqiladi va shu bilan birga elementar hodisalar imitatsiyalanadi. Ularning vaqt bo'yicha yuz berishi hamda mantiqiy strukturalarini saqlagan holda tizim xarakteristikalarini baholash imkonini beruvchi, vaqtning ma'lum momentlaridagi jarayonning holati haqidagi boshlang'ich ma'lumotlarni olish imkonini beradi.

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

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

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

Imitatsion modellashtirish usuli tizim strukturasi variantlarini, tizimni boshqarish turli algoritmlar samarasini, tizimning turli parametrlarini o'zgarishining ta'sirini baholash masalalarini inobatga olib, S katta tizimlar tahlili masalalarini yechishga imkon beradi. Samaradorlikni baholashning ba'zi mezonlari bo'yicha optimal bo'lgan ma'lum chegaralanishlarda berilgan xarakteristikalar bilan tizimni yaratish talab qilinganda imitatsion modellashtirish katta tizimlarning strukturaviy, algoritmik va parametrik sintezi asosida qo'yilishi mumkin.

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

Kombinatsiyalangan modellashtirish.

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

Real modellashtirish.

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

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

Shunday qilib, kibernetik modellar asosida boshqarishning ba'zi bir axborot jarayonlarini aks ettirish yotadi, bu real obyektning xulqini baholashga imkon

beradi. Bu holda imitatsion modelni qurish uchun real obyektning tadqiq qilinayotgan funksiyasini ajratish kerak, bu funktsiyani kirishlar va chiqishlar orasidagi ayrim aloqa operatorlari ko‘rinishida, mutlaq boshqa matematik bog‘lanishlar bazasida hamda tabiiy, jarayonning boshqa holatlarda fizikaviy amalga oshiriladi.

1.3.Shaxsiy kompyuterlarda tizimlarni modellashtirish imkoniyatlari va samaradorligi

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

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

1.3.1. Tizimlarning ishlash jarayonini shakllantirish va

algoritmlash

Hisoblash texnikasining rivojlanishi bilan yirik tizimlarini tadqiq qilishda mashinali modellashtirish usuli eng samarali usul bo'lib qoldi va usiz ko'pgina yirik xalq xo'jalik muammolarini yechish mumkin emas. Shuning uchun muhandis-sistematexniklarni tayyorlashda dolzarb masalalardan biri – matematik modellashtirish nazariyasi va usullarini o'zlashtirish hisoblanadi. Bular nafaqat o'rganilayotgan obyektlar modellarini qurish, ular dinamikaisni tahlil qilish va model bilan mashinali eksperimentni boshqarish imkonini beradi, balki o'rganilayotgan tizimlarga yaratilayotgan modellarning monandligi haqida ma'lum miqdorda, qo'llanish chegarasida fikr yuritish mumkinligi hamda zamonaviy hisoblash texnika vositalarida tizimlarning modellashtirishni to'g'ri tashkil qilish imkonini beradi.

Mashinali modellashtirishning matematik, algoritmik, dasturiy va amaliy jihatlarini ko'rishdan avval, hisoblash texnikasi vositalarida amalga oshirilayotgan obyektlar matematik modellarining keng sinfi uchun umumiy metodologik jihatlarini o'rganish kerak. Hisoblash texnikasi vositalaridan foydalanib modellashtirish real obyektida katta yoki kichik tezlik bilan o'tayotgan hodisalar mexanizmini tabiiy tajribalarda qisqa vaqt davomida bo'lib o'tadigan yoki o'tishi uchun uzoq vaqt kerak bo'ladigan o'zgarishlarning ishonchli natijalarini olish imkonini beradi. Mashinali model kerak bo'lganda haqiqiy vaqtni shartli «cho'zish» yoki «siqish» imkonini beradi, chunki mashinali modellashtirish reallikdan farqlanadigan tizimli vaqt tushunchasi bilan bog'liq. Undan tashqari, dialogli tizimda mashinali modellashtirish ABT personalini obyektini boshqarishda, masalan, boshqarish jarayonini amalga oshirish uchun kerakli amaliy malakani ishlab chiqish zarur bo'lgan ishbilarmon o'yinlarni tashkil etishda yechimlar qabul qilishga o'rgatadi.

Tizimning mashinali modellashtirish mohiyati o'zida ayrim dasturiy majmuani ifoda etadigan model bilan hisoblash mashinasida tajribani o'tkazishdan iborat bo'lib, uning ishlash jarayonini S tizim elementlarining shaklan va (yoki) algoritmik tavsiflaydi, ya'ni ular bir-biri bilan va tashqi muhit E bilan o'zaro ta'sirlashadi. Mashinali modellashtirish tizimning ishlash sifatini baholash mezonini aniq ifoda etish va uning maqsadi to'la shakllanishi qiyin bo'lgan hollarda muvaffaqiyatli qo'llaniladi, chunki u EHM ning dasturiy – texnik imkoniyatlarining insonning noformal kategoriyalar bilan fikr yuritishini birga olib borish imkonini yaratadi. Kelajakda turli pog'onadagi ABTlarni yaratishda tadqiqotning eng samarali vosita sifatida shaxsiy va malakaviy EHM yordamida tizimlarni modellashtirishga asosiy diqqat-e'tibor qaratiladi.

S tizim ishlash jarayonining M modeliga qo'yiladigan asosiy talablarni ifodalaymiz:

1. Modelni to'liqligi foydalanuvchiga tizimning talab qilinadigan aniqlik va ishonchlilik bilan xarakteristikalar baholarining zarur to'plamini olish imkonini berishi kerak.

2. Struktura, algoritm va tizimning parametrlari variatsiyalaganda turli vaziyatlar tiklanish imkonini modelning moslanuvchanligi ta'minlashi kerak.

3. Mavjud resurslarga cheklanishlarni hisobga olganda yirik tizim modelini ishlab chiqish davomiyligi va amalga oshirilishi imkon boricha minimal bo'lishi kerak.

4. Modelning strukturasi blokli bo'lish kerak, ya'ni butun modelni qayta ishlamasdan almashtirish, qo'shish va chiqarib tashlash imkoniga ega bo'lishi kerak.

5. Axborot ta'minoti ma'lum sinfdagi tizimlarning ma'lumotlar bazasi bilan modelning samarali ishlash imkoniga yo'l berishi kerak.

6. Dasturiy va texnik vositalar modelning samarali (tez ishlash va xotira bo'yicha) mashinali amalga oshishi va foydalanuvchining u bilan qulay muloqotini ta'minlashi kerak.

7. Chegaralangan hisoblash resurslari mavjudligida tizim modeli bilan tahliliy-imitatsion yondashuvdan foydalanib maqsadga yo'naltirilgan (rejalashtirilgan) mashinali tajribalarni o'tkazishni amalga oshirish kerak.

Ushbu talablarni hisobga olib, *S* tizimlarni hamda ularning nimitizimlari va elemenlarni EHMda modellashtirishda haqqoniy bo'lgan asosiy qoidalarni ko'rib chiqamiz. *S* tizim mashinali modellashtirilganda uning ishlash jarayonining xarakteristikalarini *M* model asosida aniqlanadi. *M* model modellashtirish obyekti haqida mavjud kirish axborotdan kelib chiqib quriladi. Obyekt haqidagi yangi axborot olinganda, yangi axborotni hisobga olish bilan uning modeli qayta ko'rib chiqiladi va aniqlanadi, ya'ni modellashtirish jarayoni modelning ishlab chiqish hamda mashinali amalga oshirishni o'z ichiga olgan holda, iteratsiyalidir. Bu iteratsiyali jarayon *S* tizimning qo'yilgan tadqiq qilish va loyihalashtirish masalani yechish doirasida monand deb hisoblash mumkin bo'lgan *M* model olinguncha davom etadi.

EHM yordamida tizimlarni modellashtirishni quyidagi hollarda qo'llash mumkin:

a) tashqi muhitning va modellashtirish obyekting parametrlar, algoritmlar hamda strukturalarning o'zgarishiga bo'lgan sezgirligini aniqlash maqsadida loyihalanishidan oldin *S* tizimlarni tadqiq qilish uchun;

b) tizimning turli variantlarining sintezi va tahlili uchun *S* tizimini loyihalash bosqichida;

d) tizimni loyihalash va joriy qilish tugagandan keyin, ya'ni uning ishlashida, real tizimni tabiiy sinovlar (ishlashi) natijalarini to'ldiruvchi axborotni va vaqt davomida tizimning rivojlanish bashoratlarini olish uchun.

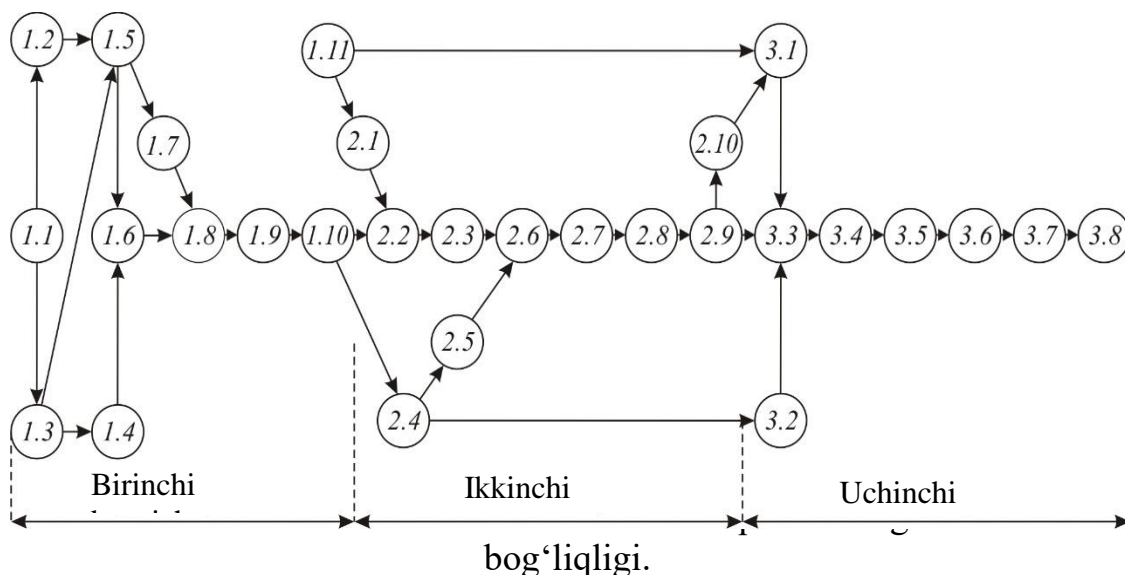
Mashinali modellashtirish hamma qayd etilgan holatlarga qo'llanilayotgan umumiy qoidalar mavjud. Hatto modellashtirishning aniq usullari bir-biridan farq qilganda ham modellarning turli modifikatsiyalari mavjuddir, masalan, mashinali modellashtirish metodologiya asosida qo'yilishi mumkin bo'lgan aniq dasturiy-texnik vositalardan foydalanib modellashtirish algoritmlarni mashinali amalga oshirish sohasida, tizimlarni modellashtirish amaliyotida umumiy tamoyillarni ifodalash mumkin.

S tizimni modellashtirish asosiy bosqichlarini ko'rib chiqamiz, ular qatoriga quyidagilar kiradi:

- tizimning konseptual modelini qurish va uni formallash;
- tizim modelini algoritmlash va uni mashinali amalga oshirish;

– tizimni modellashtirish natijalarini olish va talqin qilish.

1.4-rasmda ko‘rsatilgan tizimlarni modellashtirishning qayd qilingan bosqichlarini o‘zaro bog‘liqligi va ular tarkibi (nimbosqichlar) tarmoqli grafik ko‘rinishida keltirilgan.



Bu nimbosqichlarni sanab o‘tamiz: 1.1 - tizimning mashinali modellashtirish masalasini qo‘yilishi; 1.2 - tizimning mashinali modellashtirish masalasini tahlili;

1.3 - modellashtirish obyekti haqida kirish axborotlariga talablarni aniqlash va uni yig‘ishni tashkillashtirish; 1.4 -gipotezalarni qo‘yish va farazlarni qabul qilish; 1.5 - model parametrlari va o‘zgaruvchilarini aniqlash; 1.6 - modelning asosiy mazmunini aniqlash; 1.7 - tizimning samaradorligini baholash mezonlarini asoslash;

1.8 - approksimatsiya protseduralarini aniqlash; 1.9 - tizimning konseptual modelini tavsifi; 1.10 - konseptual model ishonchliligini tekshirish; 1.11 - birinchi bosqich bo‘yicha texnik hujjatlarni tuzish; 2.1 - modelning mantiqiy sxemasini qurish;

2.2 - matematik bog‘liqliklarni olish; 2.3 - tizim modelining ishonchliligini tekshirish; 2.4 - modellashtirish uchun hisoblash vositalarini tanlash; 2.5 - dasturlash bo‘yicha ishlarni bajarish rejasini tuzish; 2.6 - dasturning sxemasini qurish; 2.7 - dastur sxemasining ishonchliligini tekshirish; 2.8 - model dasturlashini o‘tkazish; 2.9 - dasturning ishonchliligini tekshirish; 2.10 - ikkinchi bosqich bo‘yicha texnik hujjatlarni tuzish; 3.1 - tizim modeli bilan mashinali eksperimentni rejalashtirish; 3.2 - hisoblash vositlariga talablarni aniqlash; 3.3 - ishchi hisoblarni o‘tkazish; 3.4 - tizimning modellashtirish natijalarining tahlili; 3.5 - modellashtirish natijalarini namoyish qilish; 3.6 - modellashtirish natijalarini talqin qilish; 3.7 - modellashtirish yakunlarini chiqarish va tavsiyalarni berish; 3.8 - uchinchi bosqich bo‘yicha texnik hujjatlarni tuzish.

Shunday qilib, S tizimning modellashtirish jarayoni, uch bosqich ko‘rinishida guruhlangan, qayd etilgan nimbosqichlarni bajarishga olib keladi. M_K konseptual modelini qurish bosqichida va uni shakllanishida modellashtirish tirilayotgan obyektini uni ishlash jarayonining asosiy tuziluvchilarini ajratish nuqtayi nazaridan

tadqiq qilinadi, modellashtirishning ikkinchi bosqichida modelni ketma-ket algoritmlash va dasturlash yo‘li bilan M_M mashinali modelga o‘zgartirilishi zarur bo‘lgan aproksimatsiyalar aniqlanadi va S tizim modelining umumlashgan sxemasi paydo bo‘ladi. Tizimni modellashtirishning oxirgi uchinchi bosqichi, tanlangan dasturiy-texnik vositalardan foydalangan holda olingan rejaga muvofiq EHM da ishchi hisoblarni o‘tkazish, E tashqi muhit ta’sirini hisobga olib S tizimni modellashtirish natijalarini olish va talqin qilishga olib keladi. Ravshanki, yangi axborotni olishda, modelni qurishda va uni mashinali amalga oshirishda ilgari qabul qilingan yechimlar qayta ko‘rilishi mumkin, ya’ni modellashtirish jarayoni iteratsiyalidir. Har bir bosqichning mazmunini batafsilroq ko‘rib chiqamiz.

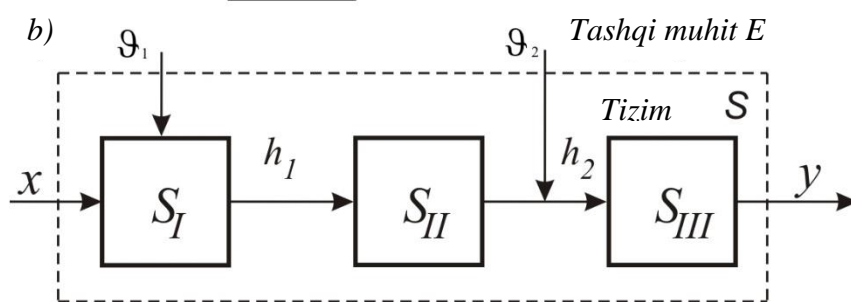
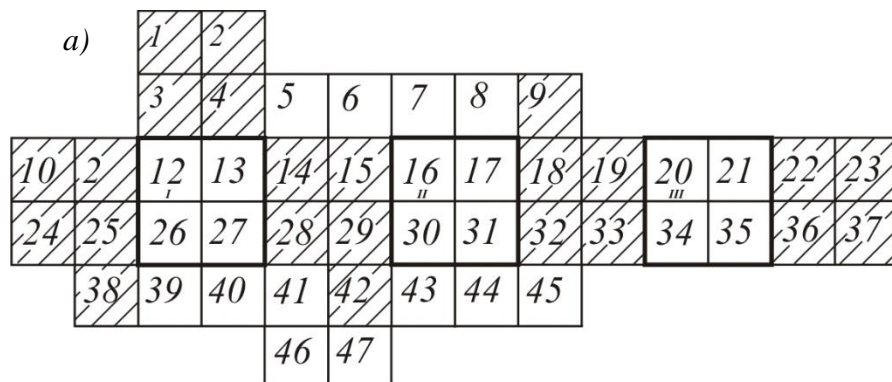
1.3.2. Tizimning konseptual modelini qurish va uni shakllantirish

Mashinali modellashtirishning birinchi bosqichida - S tizimning M_K konseptual modelini qurish va uni shakllantirishda - model shakllantiriladi va uning shakllangan sxemasi quriladi, ya’ni bu bosqichning asosiy vazifasi obyektning ma’noli tavsifidan uning matematik modeliga, boshqacha so‘z bilan aytganda, shakllantirish jarayoniga o‘tishdir.

Hozirgi vaqtda EHM da tizimlarni modellashtirish — yirik tizimlar tavsiflarini baholashning eng universal va samarali usulidir. Bu ishda eng ko‘p mas’uliyatli va eng kam shakllangan lahzalari S tizim va E tashqi muhit orasidagi chegarani o‘tkazishdir, tizim tavsifini soddalashtirish va avval konseptual, keyin esa tizimning shaklli modelini qurishdir. Model monand bo‘lishi shart, bo‘lmasa modellashtirishning ijobiy natijalarini olib bo‘lmaydi, ya’ni tizimning ishlash jarayonini monand bo‘lmagan modelda tadqiq qilish umuman ma’noni yo‘qotadi. Adekvat model deb S tizimni modelini ishlab chiquvchini tushunchasining darajasida ma’lum yaqinlik bilan E tashqi muhitda uning ishlashini aks ettiruvchi modelga aytiladi. Blokli tamoyil bo‘yicha tizimni ishlash modelini qurish eng oqilonadir. Bunday model bloklarining uchta avtonom guruhini ajratish mumkin. Birinchi guruh bloklari o‘zidan S tizimga E tashqi muhitni ta’sir qilish imitatoridir; ikkinchi guruh bloklari tekshirilayotgan S tizimning aslida ishlash jarayonining modelidir; uchinchi guruh bloklari yordamchilar va ikkita birinchi guruh bloklarining mashinali amalga oshirish uchun hamda modellashtirish natijalarini qayd qilish va qayta ishlash uchun xizmat qiladi. Ayrim gipotezali tizimni shu jarayon modeliga ishlash jarayonining tavsifidan o‘tish mexanizmini ko‘rib chiqamiz. S tizimning ishlash jarayoni xossalari tavsiflash haqida, ya’ni 1.5 a-rasmda ko‘rsatilganday kvadratlar bilan shartli tasvirlangan uning M_K konseptual modeli haqida ayrim elementlar majmui sifatida, ko‘rgazma uchun tushunchani kiritamiz.

S tizimni, E tashqi muhitni ta’siri va h.k. tadqiq qilinayotgan ishlash jarayonining bu kvadratlari o‘zida ayrim nimjarayonlarni namoyon etadi. Bu talqindagi tizimning tavsifidan uning modeliga o‘tish tavsifning ayrim ikkinchi darajali elementlarini (elementlar 5-8, 39-41, 43-47) chiqarib tashlashga olib keladi. Bu elementlar model yordamida tadqiq qilinayotgan jarayonlarning ketishiga katta ta’sir qilmaydi deb taxmin qilinadi.

Elementlarning bir qismi (14, 15, 28, 29, 42) passiv aloqalar h_1 bilan almashtiriladi, ular tizimning (1.5 b-rasm) ichki xossalarini aks ettiradi. 1-4, 10, 11, 24, 25 elementlarning ayrim qismi x kiruvchi omillar va v_1 tashqi muhit ta'sirlari bilan almashtiriladi. Kombinatsiyalangan almashtirishlar ham bo'lishi mumkin: 9, 18, 19, 32, 33 elementlar h_2 passiv aloqa va E tashqi muhitning ta'siri bilan almashtirilgan. 22, 23, 36, 37 elementlari u tashqi muhitga tizimning ta'sirini aks ettiradi.



S tizimning qolgan elementlari, tadqiq qilinayotgan tizimning ishlash jarayonini aks ettiruvchi S_I, S_{II}, S_{III} bloklarga guruhlanadi. Bloklarning har biri yetarli darajada avtonomdir, bu ular orasidagi eng kichik aloqalar sonida ifoda etiladi. Bu bloklar xulqi yaxshi o'rganilishi va ularning har biri uchun matematik model qurilishi kerak. Matematik model o'z navbatida qator nimbloklarga ega bo'lishi mumkin. Tadqiq qilinayotgan S tizimning ishlash jarayonining qurilgan blokli modeli olingan modelning mashinali amalga oshirishda o'tkazilishi mumkin, bu jarayon tavsifning tahlili uchun belgilangan. Modellashtirilayotgan S tizimning tavsifidan blok usuli bo'yicha qurilgan uning modeli M_K ga o'tgandan keyin, turli bloklarda o'tayotgan jarayonlarning matematik modellarini qurish kerak. Tizim S ishlash jarayonining tavsiflarini aniqlaydigan tizim strukturasi, algoritmlar xulqi, tizimning parametrlari, tashqi muhitning E ta'sirlari, boshlang'ich shartlar va vaqtga bog'liqlikdagi matematik model o'zida bog'lanishlar majmuini ifoda etadi (masalan, tenglamalar, mantiqiy shartlar, operatorlar). Matematik model tadqiq qilinayotgan tizimning ishlash jarayonini, ya'ni jarayonning shaklan (matematik) tavsifini o'tkazilayotgan tadqiqot doirasidagi zaruriy haqiqatga yaqinlashish darajasi bilan formallashi natijasi hisoblanadi.

Shakllantirish imkonini namoyish etish uchun ayrim gipotetik S tizimning ishlash jarayonini ko'rib chiqamiz. Bu tizimni $y_1(t), y_2(t), \dots, y_{nH}(t)$ tavsiflar bilan, h_1, h_2, \dots, h_{nH} parametrlari bilan, x_1, x_2, \dots, x_{nX} kirish ta'sirlari va

v_1, v_2, \dots, v_{nV} tashqi muhit ta'siri mavjudligida m nimitizimlarga ajratish mumkin. Unda jarayonning matematik modeli bo'lib quyidagi bog'lanish tizimi xizmat qilish mumkin:

$$y_1(t) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_{nX}; v_1, v_2, \dots, v_{nV}; h_1, h_2, \dots, h_{nH}; t);$$

$$y_2(t) = f_2(x_1, x_2, \dots, x_{nX}; v_1, v_2, \dots, v_{nV}; h_1, h_2, \dots, h_{nH}; t);$$

.....

$$y_{nY}(t) = f_m(x_1, x_2, \dots, x_{nX}; v_1, v_2, \dots, v_{nV}; h_1, h_2, \dots, h_{nH}; t).$$

Agarda f_1, f_2, \dots, f_t funksiyalar ma'lum bo'lganda, unda bog'lanishlar S tizimni ishlash jarayonining ideal matematik modeli bo'lib chiqardi. Lekin amalda yirik tizimlar uchun oddiy ko'rinishdagi modelni olish ko'pincha mumkin emas, shuning uchun odatda S tizimning ishlash jarayoni qator elementar nimjarayonlarga ajratiladi. Bunda nimjarayonlarga ajratishlarni shunday o'tkazish kerakki, shakllanishda qiyinchiliklar tug'dirish kerak emas va ayrim nimjarayonlar modellarini qurish oddiy bo'lishi kerak. Shunday qilib, bu bosqichda nimjarayonlarning shakllanish mohiyati namunaviy matematik sxemalarni tanlashdan iborat bo'ladi. Masalan, stoxastik jarayonlar uchun nimjarayonlarni tarkiblovchi, yechilayotgan amaliy masalalar nuqtayi nazaridan, real hodisalarning asosiy xususiyatlarini yetarli aniq tavsiflaydigan ehtimollik avtomatlar (R -sxemalar) sxemalari, ommaviy xizmat qilish (Q -sxemalar) sxemalari va sh.k. lar bo'lishi mumkin.

Shunday qilib, har qanday S tizimning ishlash jarayonini shakllanishidan oldin uni tarkiblovchi hodisalarni o'rganish kerak. Natijada o'zida o'rganilayotgan jarayon uchun xarakterli qonuniyatlarni birinchi harakatda aniq ifoda etishni namoyon etuvchi va amaliy masalani qo'yishdan iborat bo'lgan jarayonning mazmunli tavsifi paydo bo'ladi. Mazmunli tavsif keyingi shakllanish bosqichlariga boshlang'ich material bo'lib hisoblanadi: tizimning ishlash jarayonini shakllangan sxemasiga va bu jarayonning matematik modelini qurishga. EHM da tizimning ishlash jarayonini modellashtirish uchun jarayonning matematik modelini muvofiq modellovchi algoritim va mashinali dasturga o'zgartirish kerak.

M_K tizimni va uni formallashtirishni (1.4-rasmga qarang) konseptual modelini qurishning asosiy nimbosqichlarini batafsilroq ko'rib chiqamiz.

1. Tizimni mashinali modellashtirish masalasini qo'yilishi. S aniq tizimning tadqiq qilish masalasini aniq ifoda etish berilmoqda va shunday masalalarga asosiy e'tibor qaratiladi:

- a) masala mavjudligini va mashinali modellashtirish zarurligini tan olish;
- b) mavjud resurslarni hisobga olib masalani yechish uslubini tanlash;
- d) masalaning masshtabi va uni nimmasalalarga ajratish imkoniyatini aniqlash.

Turli nimmasalalarni yechish ustuvorligi haqidagi savolga ham javob berish kerak, imkoni bor matematik usullar samaradorligi va ularni yechishning dasturiy-texnik vositlarini baholash. Bu masalalarni puxta ishlab chiqish tadqiqot masalasini

ifoda etish va uni amalga oshirishga kirishish imkonini beradi. Bunda modellashtirish jarayonida masalani birlamchi qo'yilishi qayta ko'rib chiqilishi mumkin.

2. Tizimni modellashtirish masalasining tahlili. Masala tahlilini o'tkazish modellashtirish usuli bilan uni yechishda kelib chiqadigan qiyinchiliklarni yengishga yordam beradi. Ko'rilayotgan ikkinchi bosqichda asosiy ish tahlilni aynan o'tkazishga qaratiladi va quyidagilarni inobatga oladi:

a) S tizimning ishlash jarayoni samaradorligini baholash mezonlarini tanlash; b) M modelning endogen va ekzogen o'zgaruvchilarini aniqlash; d) imkoni bor identifikatsiya usullarini tanlash; e) tizimning modelini algoritmlashning ikkinchi bosqichi mazmunini dastlabki tahlilini va uning mashinali amalga oshirishni bajarish;

f) tizimning modellashtirish natijalarini olish va talqin qilish, uchinchi bosqich mazmunini dastlabki tahlilini bajarish.

3. Modellashtirish obyekti haqida kirish axborotiga talablarni aniqlash va uni yig'ishni tashkillashtirish. S tizimni modellashtirish masalasi qo'yilgandan keyin axborotga talablar aniqlanadi. Axborotdan bu masalani yechish uchun zarur sifatli va miqdorli kirish ma'lumotlari olinadi. Bu ma'lumotlar masalani, uni yechish usullarining mazmunini chuqurroq tushunishga yordam beradi. Shunday qilib, bu nimbosqichda quyidagilar: a) S tizimi va E tashqi muhit haqida zarur ma'lumotni tanlash; b) aprior ma'lumotlarni tayyorlash; d) mavjud eksperimental ma'lumotlarning tahlili; e) tizim haqida axborotni dastlabki qayta ishlash usullari va vositalarni tanlash yordamida olib boriladi.

Bunda shuni esda saqlash kerakki, modellashtirish obyekti haqida kirish axborot sifatiga nafaqat model monandligi, balki modellashtirish natijalarining ishonchliligi ham jiddiy bog'liqdir.

4. Gipotezalarni ko'rsatish va farazlarni qabul qilish. S tizimning modelini qurishda gipotezalar tadqiqotchi tarafidan masalani tushunishdagi «kamchiliklar» ni to'ldirish uchun xizmat qiladi. Mashinali eksperiment o'tkazishda haqqoniyligi tekshiriladigan S tizimning modellashtirish imkoni bor (joiz) natijalariga nisbatan gipotezalar ham ko'rsatiladi. Farazlar shuni nazarda tutadiki, ba'zi bir ma'lumotlar noma'lum yoki ularni olish mumkin emas. Farazlar masalani yechish talablariga javob bermaydigan ma'lum ma'lumotlarga nisbatan qo'yilishi mumkin. Farazlar modellashtirishning tanlangan darajasiga muvofiq modelni soddalash imkonini beradi. Gipotezalarni ko'rsatishda va farazlarni qabul qilishda quyidagi omillar hisobga olinadi: a) masalalarni yechish uchun mavjud axborotlarning hajmi; b) yetarli bo'lmagan axborotli nimmasalalar; d) masalani yechish uchun vaqt resurslariga chegaralanishlar; e) kutilayotgan modellashtirish natijalari.

Shunday qilib, S tizimning modeli bilan ishlash jarayonida, modellashtirishning olingan natijalari va obyekt haqida yangi axborotga bog'liqligiga qarab, bu nimbosqichga ko'p marta qaytib kelish mumkin.

5. Modelning parametrlari va o'zgaruvchilarini aniqlash. Matematik modelning tavsifiga o'tishdan avval, h_k , $k = 1, n_H$ tizimning parametrlarini, x_i , $i = 1, n_x$, $y_i = 1, n_y$ kirish va chiqish o'zgaruvchilarini, $v_i = 1$, bu tashqi muhitning ta'sirini aniqlash kerak. Bu bosqichning yakuniy maqsadi – E tashqi muhitda ishlayotgan, S tizimning matematik modelini qurishga tayyorgarlikdir. Buning uchun modelning barcha parametr va o'zgaruvchilarini ko'rib chiqish va tizimning yaxlit ishlash jarayoniga ularning ta'sir darajasini baholash zarur. Har bir parametr va o'zgaruvchilarning tavsifi quyidagi shaklda berilish kerak:

a) ta'rif va qisqacha tavsif; b) belgilash simvoli va o'lchash birligi; d) o'zgarish ko'lami; e) modelda qo'llash joyi.

6. Modelning asosiy mazmunini aniqlash. Bu bosqichda modelning asosiy mazmuni aniqlanadi va qabul qilingan gipotezalar va farazlar asosida ishlab chiqilgan tizimning modelini qurish usuli tanlanadi. Bunda quyidagi xususiyatlari hisobga olinadi: a) tizimning modellashtirish masalasini ifodalash (formulirovkalash); b) S tizimning strukturasi va uning xulqi algoritmlari, E tashqi muhitning ta'siri; d) modellashtirish masalasining yechish vositalari va imkoni bo'lgan usullari.

7. Tizimning samaradorligini baholash mezonlarini asoslash. Modellashtirilayotgan S tizimning ishlash jarayonining sifatini baholash uchun samaradorlikni baholash mezonlarining ba'zi majmuini tanlash kerak. Ya'ni masalaning matematik qo'yilishi samaradorlikni baholash uchun kerakli munosabatni xuddi tizimning parametrlari va o'zgaruvchilarining funksiyalarini olish kabi amalga oshirishga olib keladi. Bu funksiya o'zidan parametrlar va o'zgaruvchilarning o'zgarishi tadqiq qilinayotgan sohada javob yuzasini ifodalaydi va tizimning reaksiyasini aniqlashga imkon beradi. S tizimning samaradorligini ko'rilayotgan masalaga qarab integralli yoki xususiy mezonlar yordamida baholash mumkin.

8. Approksimatsiya protseduralarini aniqlash. S tizimda o'tayotgan real jarayonlarni approksimatsiyalash uchun odatdagiday protseduralarning uchta ko'rinishidan foydalaniladi: a) determinanlangan; b) ehtimolli; d) o'rta qiymatlarni aniqlash.

Determinanlangan protsedura qo'llanganda modellashtirish natijalari S tizimning kirish ta'sirlari, parametrlari va o'zgaruvchilari berilgan majmui bo'yicha bir qiymatli aniqlanadi. Bu holda modellashtirish natijalariga ta'sir qiluvchi tasodifiy elementlar bo'lmaydi. Ehtimoliy protsedura tasodifiy elementlar, E tashqi muhit ta'sirini qamrab olganda, S tizimning ishlash faoliyati xarakteristikasiga ta'sir qiladi va chiqish o'zgaruvchilarining taqsimlash qonuniyatlari haqida axborotni olish zarur bo'lganda qo'llaniladi. O'rta qiymatlarni aniqlash protsedurasi tizimning modellashtirishda tasodifiy elementlar mavjudligida chiqish o'zgaruvchilarning o'rta qiymatlari qiziqtirganda qo'llanadi.

9. Tizimning konseptual modelini tavsiflash. Tizimning modelini qurish bu nimbosqichida: a) M_K konseptual model abstraktli atamalar va tushunchalarda tavsiflanadi; b) namunaviy matematik sxemalardan foydalanib modelning tavsifi beriladi; d) gipotezalar va farazlar yakuniy qabul qilinadi; e) modelni qurishda real jarayonlarning approksimatsiya protseduralarini tanlash asoslanadi. Shunday qilib, bu nimbosqichda masalaning to‘liq tahlili o‘tkaziladi, uning yechish uchun turli usullari ko‘riladi va modellashtirishning ikkinchi bosqichida qo‘llaniladigan M_K konseptual modelning mukammal tavsifi beriladi.

10. Konseptual model ishonchliligini tekshirish. M_K konseptual modelning tavsifidan keyin, S tizimning modellashtirishni keyingi bosqichiga o‘tishdan avval modelning ayrim konsepsiyalarining ishonchliligini tekshirish kerak. Konseptual modelning ishonchliligini tekshirish murakkabroq, chunki uni qurish jarayoni evristikdir va bunday model abstrakt atamalar va tushunchalarda tavsiflanadi. M_K modelni tekshirish usullaridan biri – modelni tahlil qilishga imkon beruvchi teskari o‘tish operatsiyalarni qo‘llash, qabul qilingan approksimatsiyalarga qaytish va, nihoyat, modellashtirilayotgan S tizimda oqayotgan real jarayonlarni qaytadan ko‘rishdir. M_K konseptual modeli ishonchliligini tekshirish o‘z ichiga quyidagilarni qamrab olishi kerak: a) model g‘oyasini tekshirish; b) kirish axborot ishonchliligini baholash; d) modellashtirish masalasini qo‘yilishini ko‘rib chiqish; e) qabul qilingan approksimatsiyalarning tahlili; f) gipotezalar va farazlarni tadqiq qilish.

M_K konseptual modelini faqat puxta tekshirishdan keyingina modelni mashinali amalga oshirish bosqichiga o‘tish kerak, chunki M_K modelidagi xatolar modellashtirishning ishonchli natijalarini olishga imkon bermaydi.

11. Birinchi bosqich bo‘yicha texnikaviy hujjatlarni tuzish. M_K konseptual modelini qurish bosqichi va uni shakllantirish oxirida bosqich bo‘yicha texnikaviy hisobot tuziladi, u quyidagilardan iborat : a) S tizimni modellashtirish masalasining to‘liq qo‘yilishi; b) tizimni modellashtirish masalasining tahlili; d) tizim samaradorligini baholash mezonlari; e) tizim modelining parametrlari va o‘zgaruvchilari; f) modelni qurishda qabul qilingan gipotezalar va farazlar; g) modelni abstrakt atamalar va tushunchalarda tavsiflash; h) S tizimni modellashtirishdan kutilayotgan natijalarini tavsiflash.

Texnikaviy hujjatlarni tuzish - S tizimini modellashtirishni muvaffaqiyatli o‘tkazishning majburiy shartidir, chunki yirik tizim modelini ishlab chiqish jarayonida va uni mashinali amalga oshirilishida turli bosqichlarda turli kasb mutaxassislar guruhlari ishtirok etadi (masalani qo‘yuvchilardan boshlab dasturchilargacha) va ushbu hujjat qo‘yilgan masalani modellashtirish usuli bilan yechishda ularni samarali hamkorlik qilishining vositasi bo‘lib xizmat qiladi.

1.4. Matematik modellarning asosiy turlari

Jarayonning aniq amalga oshirish va uning apparaturali rasmiylashtirilishga bog'liqligidan kimyo-texnologik jarayonlarning barcha xilma-xilligini vaqtli va fazoviy alomatlaridan kelib chiqib to'rt sinfga bo'lish mumkin: 1) vaqt bo'yicha o'zgaruvchan (nostatsionar) jarayonlar; 2) vaqt bo'yicha o'zgarmaydigan (statsionar) jarayonlar; 3) fazoda parametrlari o'zgaradigan jarayonlar; 4) fazoda parametrlari o'zgarmaydigan jarayonlar. Matematik modellar muvofiq obyektlarini aks ettiruvchi bo'lgani uchun, ular uchun shu sinflar xarakterlidir, chunonchi: 1) statik modellar – vaqt bo'yicha o'zgaras modellar; 2) dinamik modellar – vaqt bo'yicha o'zgaruvchi modellar; 3) jamlangan parametrli modellar – fazoda o'zgaras modellar; 4) taqsimlangan parametrli modellar – fazoda o'zgaruvchi modellar.

Model xossalari orasidan quyidagilarni ajratish mumkin: samaradorlik, universallik, turg'unlik, mazmuniylik, monandlik, chegaralanganlik, to'lalik, dinamiklik.

1.4.1. Obyekt tabiatining fizikaviy tavsifi

Har qaysi matematik modelning qurishi modellashtirish obyektining fizikaviy tavsifi qurishdan boshlanadi. Bunda modellashtirish obyektida modelda aks etishi lozim bo'lgan yuz berayotgan «elementar» jarayonlar ajratiladi va ularning tavsifida qabul qilinadigan asosiy farazlar ifoda etiladi. O'z navbatida, hisobga olinadigan «elementar» jarayonlar ro'yxati obyektini tavsiflaydigan matematik modelga kiritiladigan hodisalar majmuini aniqlaydi. Bu holda «elementar» jarayon deb ma'lum hodisalar sinfiga tegishli fizik - kimyoviy jarayon tushuniladi, masalan, modda almashish, issiqlik o'tkazish va h.k. Bu yerda «elementar» jarayonlar nomi aslo bu jarayonlar eng sodda va murakkab bo'lmagan tenglamalar bilan tavsiflanadi degan ma'noni anglatmaydi. Shunday qilib, modda almashish hozirgi vaqtgacha to'liq tugatilmagan butun bir nazariya predmetidir. Bu nom bunday jarayonlar ancha murakkab bo'lib, butun kimyo - texnologik jarayonning tashkil etuvchilari ekanligini anglatadi.

Odatda, kimyo-texnologiya obyektlarini matematik modellashtirishda quyidagi «elementar» jarayonlar inobatga olinadi: 1) fazalar oqimining harakati; 2) fazalararo modda almashish; 3) issiqlik o'tkazish; 4) agregat holatining o'zgarishi (bug'lanish, kondensatsiyalash, erish va sh.o.); 5) kimyoviy o'zgarishlar.

Modelda «elementar» jarayonlarning matematik tavsifining to'liqligi ularning butun kimyo-texnologik jarayondagi roliga, o'rganish darajasi, obyektidagi «elementar» jarayonlarning o'zaro bog'lanish chuqurligiga va barcha tavsifning istalgan aniqligiga bog'liq. «Elementar» jarayonlarning o'zaro bog'liqligi juda murakkab bo'lishi mumkin. Shuning uchun amalda aloqalar xarakteri nisbatiga ko'pincha turli farazlar qabul qilinadi, bu esa modelga to'liq o'rganilmagan bog'liqliklarni kiritish zarurati va tavsifining ortiqcha murakkablashtirishdan xalos bo'lish imkonini beradi.

Masalan, aralashmalarni rektifikatsiya jarayonini fizik tavsiflashda quyidagi «elementar» jarayonlar ajratiladi: 1) kolonnada suyuqlik va bug' oqimlarining gidrodinamikasi; 2) suyuqlik va bug' orasida modda almashish; 3) suyuqlik va bug'

orasida issiqlik uzatish; 4) suyuqlikning bug‘lanishi va bug‘ning kondensatsiyalanishi. Barcha ko‘rsatilgan «elementar» jarayonlar yoki tarelkada yoki kolonnalarning nasadkali seksiyasida bo‘lib o‘tadi va o‘zaro to‘g‘ri bog‘langan. Bu jarayonlarini to‘liq tavsifi o‘ta murakkab tenglamalar, tizimlar bilan ifodalanadi. Faqatgina Nave-Stoks tenglamasi yordamida tarelkadagi (yoki nasadkada) suyuqlik oqimi gidrodinamikasining tavsifi yechimi jihatidan o‘ta murakkab bo‘lgan hisoblash masalasini anglatadi. Suyuqlik va bug‘ orasidagi oqimlar modda almashishini to‘liq tavsiflash masalani yechish ham murakkablik jihatidan undan kam emas. Shu bilan birga bu masalalar birgalikda yagona tenglamalar tizimi sifatida yechilish kerak. Bundan kelib chiqadiki, oqilona soddalashtiruvchi farazlarsiz bu masalalarni yechib bo‘lmaydi. Shuning uchun odatda bug‘ va suyuqlik oqimlar harakati haqida ideallashtirilgan ifoda qabul qilinib (bug‘ to‘liq siqib chiqish rejimida harakatlanadi, suyuqlik esa tarelkada to‘liq aralashadi), modda almashishni esa bo‘linish pog‘onalari samaraligi orqali ifodalanadi. Ko‘pincha modda almashishni aks ettiruvchi ifodalar yarim empirik usullar bilan aniqlanadi yoki bo‘linishning har bir pog‘onasida muvozanatga erishilishini hisobga olib, umuman, inobatga olinmaydi.

Ayrim hollarda modellashtirish obyektining fizik tavsifi matematik modellashtirish natijasida o‘rnatilishini aytib o‘tish kerak. Masalan, obyektida bo‘lib o‘tayotgan jarayonlar mexanizmi haqidagi ayrim gipotezalarni tekshirish uchun matematik modellashtirish qo‘llanadi. Buning uchun model tarkibiga keyingi modellashtirish natijalari bo‘yicha u yoki bu fizik farazning haqqoniyligi haqida hukm chiqarish uchun tadqiqlanayotgan bog‘liqliklar kiritiladi. Masalan, katalitik kimyoviy o‘zgarishlar mexanizmlari tadqiqotchilarga ko‘pincha noma‘lum. Matematik modelga u yoki boshqa kimyoviy reaksiyaning o‘tish mexanizmini kiritib va modellashtirish natijalarini tajribadagi natijalar bilan solishtirib, haqiqiyga eng yaqin mexanizmini topish mumkin.

1.5. Obyektning matematik tavsifini tuzish

Matematik tavsifni tuzishda blokli tamoyil umumiy usul hisoblanadi. Bu tamoyilga muvofiq, matematik tavsifni tuzishdan oldin modellashtirish obyektida bo‘lib o‘tadigan alohida «elementar» jarayonlar tahlil qilinadi. Bunda har bir «elementar» jarayonni o‘rganish bo‘yicha tajribalar modellashtirish obyektning ishlash sharoitlariga maksimal yaqinlashadigan sharoitlarda o‘tkaziladi.

Avval matematik tavsifning strukturasi asosi sifatida jarayonning gidrodinamik modeli tadqiq qilinadi. Keyin topilgan modelning gidrodinamik sharoitlarini hisobga olgan holda kimyoviy reaksiyalar, modda va issiqlik o‘tkazishlarning kinetikasi o‘rganiladi va bu jarayonlar har birining matematik tavsifi tuziladi. Bu holda barcha tadqiqlangan «elementar» jarayonlar (bloklar) tavsiflarini yakuniy bosqichi – modellashtirish obyektining matematik tavsifini yagona tenglamalar tizimiga birlashtirishdir. Matematik tavsifning qurishni blokli tamoyilining yutug‘i shuki, undan apparaturali rasmiylashtirishning yakuniy varianti hali noma‘lum bo‘lgan obyektning loyihalash bosqichida foydalanish mumkin. *Matematik tavsifini*

tuzish usullari. Ko'rsatilgan usullarga analitik, tajribaviy va tajribaviy-analitiklar kiradi.

Matematik tavsifini tuzishning *analitik usullari* deb odatda tadqiqlanayotgan obyektida bo'lib o'tayotgan fizik va kimyoviy jarayonlarning nazariy tahlili hamda qayta ishlanayotgan moddalarning tavsiflari va berilgan apparaturaning konstruktiv parametrlari asosida statika va dinamika tenglamalarini chiqarish uslublariga aytiladi. Bu tenglamalarni chiqarishda modda va energiyani saqlash fundamental qonunlaridan hamda modda va issiqlik, kimyoviy o'zgarishlar jarayonlarining kinetik qonuniyatlaridan foydalaniladi.

Analitik usullari yordamida matematik tavsifni tuzish uchun obyektida qandaydir tajribalar o'tkazish kerak bo'lmaydi, shuning uchun bunday usullar yangi loyihalananadigan fizik-kimyoviy jarayonlari yetarli darajada yaxshi o'rganilgan, statik va dinamik tavsiflarini topish uchun yaroqli bo'lgan obyektlarga qo'llanadi.

Tuzilgan tenglamalarning parametrlari (koeffitsiyentlari) kimyo-texnologik apparatning aniqlovchi o'lchamlariga (diametri, uzunligi va sh.o'.), fizik-kimyoviy jarayonlarni yuz berishini tavsiflovchi qayta ishlanadigan moddalarning xossalari va miqdorlariga (reaksiyalar tezligi konstantalar, diffuziya koeffitsiyentlari va b.) bog'liq. Tenglamalarning ayrim parametrlari hisobiy yo'l bilan aniqlanishi mumkin, boshqalari oldin bajarilgan tadqiqotlar natijalari bo'yicha o'xshashlik tamoyili yordamida topiladi. Matematik tavsifni tuzishni analitik usullarining kamchiligi sifatida obyektning yetarli to'liq tavsifidan kelib chiqqan tenglamalar tizimini yechishning qiyinligini ko'rsatish mumkin.

Matematik tavsifni tuzishning *eksperimental usuli* kirish va chiqish o'zgaruvchilari tor «ishchi» o'zgarish diapazonida o'zgartirganda obyektlarni boshqarish va tadqiq qilish uchun qo'llaniladi (masalan, ayrim texnologik parametrlarni avtomatik stabillash tizimini qurishda). Bu usullar ko'pincha obyekt parametrlarining chiziqliligi va mujassamlashganligi haqidagi farazga asoslanadi. Bu farazlarni qabul qilish kuzatilayotgan jarayonlarni algebraik yoki chizikli differensial doimiy koeffitsiyentli tenglamalar bilan nisbatan oddiy tasniflashga imkon beradi. Matematik tavsifni tuzishga tajribaviy yondashuvda o'rganilayotgan obyektida bevosita tajribalarni qo'yish doim talab etiladi.

Tajribaviy usullarning afzalligi – obyekt xossalari yetarli aniq tavsifida parametrlarni o'zgarish tor diapazonida olinadigan matematik tavsifning soddaligidir. Tajribaviy usullarning asosiy kamchiligi – obyektning konstruktiv tavsiflari, jaryonning rejimli parametrlari, moddalarning fizik-kimyoviy xossalari va tenglamaga kiruvchi sonli parametrlari orasida funksional aloqani tiklab bo'lmasligidir. Bundan tashqari, tajribaviy usul bilan olingan matematik tavsiflarni boshqa bir xil turli obyektlarga yoyish mumkin emas.

Matematik tavsifini tuzish analitik va tajribaviy usullarining «kuchli» va «kuchsiz» tomonlarini borligi kombinatsiyalangan tajribaviy-analitik usulini ishlab chiqish zaruratiga olib keldi. Uning mohiyati tavsifning tenglamalarini analitik tuzish, eksperimental tadqiqotlar o'tkazish va ular natijalari bo'yicha tenglamalarning parametrlarini topishdan iborat. Matematik tavsifini olishga bunday yondashishda tajribaviy va analitik usullarning ko'p ijobiy xossalari saqlab qoladi.

Matematik tavsifining tarkibi. Shaklan matematik tavsif o'zida tenglamalarning yagona tizimiga jarayonning turli o'zgaruvchilarini bog'lovchi bog'lanishlar majmuini ifodalaydi. Bu bog'lanishlar orasida umumiy fizik qonunlarni aks ettiruvchi (masalan, modda va energiya saqlash qonunlari) tenglamalar bo'lishi mumkin, «elementar» jarayonlarini tavsiflaydigan (masalan, kimyoviy o'zgarishlar) tenglamalar, jarayonning o'zgaruvchilariga chegaranishlar va sh.k. Bundan tashqari, matematik tavsifi tarkibiga jarayonning har xil parametrlari orasidagi turli nazariy shakli noma'lum yoki o'ta murakkab empirik va yarim empirik bog'lanishlar ham kiradi.

Jumladan, modellanayotgan obyekt haqida nazariy ma'lumotlarning yo'qligida yoki ancha chegaralangan hajmida, hatto uni xossalarini tavsiflovchi bog'liqliklarning orientirlangan ko'rinishi ma'lum bo'lmaganda ham matematik tavsifning tenglamalari ishlayotgan obyektning (matematik tavsifini tuzish eksperimental usuli) statistik tekshirishlari natijasida olingan empirik bog'lanishlarning chiqish va kirish o'zgaruvchilarini bog'layotgan tenglamalar tizimlari orqali ifoda etishi mumkin. Bu modellar odatda obyektning kirish va chiqish parametrlari orasidagi regression bog'lanishlar ko'rinishiga ega va, albatta, modellashtirish obyektning fizik mohiyatini aks ettirmaydi, bu esa ularni qo'llashda olinayotgan natijalarni umumiyashtirishni qiyinlashtiradi.

Regression bog'lanishlarga asoslangan modellardan farqli o'laroq, tavsifni tuzish analitik usul asosida qurilgan matematik modellar jarayonning asosiy qonuniyatlarini aks ettiradi va uni modelning yetarli bo'lmagan aniq parametrlar mavjudligida sifatli va to'g'riroq tavsiflaydi. Shuning uchun ular yordamida ma'lum sinfga tegishli modellashtirish obyektlarining umumiy xossalarini o'rganish mumkin. Modellanayotgan obyektning fizik tabiati asosida ishlab chiqilgan matematik tavsifi tarkibida quyidagi tenglamalar guruhini ajratish mumkin:

1. Oqimlar harakati gidrodinamik strukturasi hisobga olib yozilgan modda va energiyani saqlash tenglamalari. Ushbu tenglamalar guruhi oqimlarda harorat, konsentratsiyalar va u bilan bog'liq xossalarning taqsimlanishini tavsiflaydi. Material balansning umumlashgan tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\text{Moddaning kelishi} - \text{Moddaning sarflanishi} = \text{Moddaning to'planishi} \quad (1.1)$$

Moddaning kelish va sarflanish orasidagi ayirmasi ko'rilyotgan obyektning uning miqdori o'zgarishiga teng. Statsionar rejimda kamayish ham, to'planish ham bo'lishi mumkin emas. U holda material balansning (1.1) tenglamasi quyidagi ko'rinishli tenglamaga o'tadi:

$$\text{Moddaning kelishi} = \text{Moddaning sarflanishi} \quad (1.2)$$

(1.5), (1.6) tenglamalar nafaqat alohida har bir moddaga, balki jarayonda qatnashayotgan moddalarning barcha majmuiga qo'llaniladi. Issiqlik balansning umumlashgan tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\text{Issiqlikning kelishi} - \text{Issiqlikning sarflanishi} = \text{Issiqlikning to'planishi} \quad (1.3)$$

yoki statsionar sharoitlari uchun

$$\text{Issiqlikning kelishi} = \text{Issiqlikning sarflanishi} \quad (1.4)$$

2. *Oqimlarning lokal elementlari uchun elementar jarayonlar tenglamalari.*

Bu guruhga modda va issiqlik almashuv, kimyoviy reaksiyalar va boshqa jarayonlarning tavsiflari kiradi.

3. *Jarayonning turli parametrlar orasidagi nazariy, yarimempirik yoki empirik bog'lanishlar.* Masalan, bu bog'lanishlarga fazalar oqimining tezligiga modda almashuv koeffitsiyentining bog'liqligi, tarkibga aralashmaning issiqlik sig'imining bog'liqligi va shu kabilar kiradi.

4. *Jarayonning parametrlariga chegaralanishlar.* Masalan, bo'linishning xohlagan pog'onasida ko'p komponentli aralashmalarni rektifikatsiya jarayonini modellashtirishda shunday shart bajarilish kerakki, hamma komponentlarning konsentratsiyalari yig'indisi 1 ga teng bo'ladi. Bundan tashqari, har qaysi komponentning konsentratsiyasi 0 dan 1 gacha diapazonda bo'lishi kerak.

Barcha matematik modellarning umumiyliigi shundan iboratki, matematik tavsifga kiritilayotgan tenglamalar soni modellashtirish natijasida aniqlanadigan o'zgaruvchilar soniga teng bo'lish kerak.

Kimyo-texnologik obyektlarning matematik tavsiflarida uchraydigan tenglamalarning asosiy sinflarini qisqacha ko'rib chiqamiz. Turli modellashtirish obyektlarining xossalar tavsifi uchun odatda: algebraik va transsendentli tenglamalar, oddiy differensial tenglamalar, xususiy hosilalardagi differensial tenglamalar va integralli tenglamalar qo'llanadi. Oxirgi tur – integralli tenglamalar kimyo-texnologiya obyektlarining matematik modellashtirish masalalarida nisbatan kamdan-kam uchraydi.

Mujassamlashgan parametrlar (masalan, to'liq aralashtirish reaktori) bilan obyektlarning statsionar ishlash rejimlarini matematik tavsifi odatda algebraik tenglamalarga olib kelinadi. Bundan tashqari, har xil parametrlar orasidagi statsionar aloqalarni ifodalash uchun murakkabroq obyektlarni tavsiflashda bunday turli tenglamalar qo'llanadi. Algebraik tenglamalar ko'rinishidagi matematik tavsiflar, garchi ularning murakkabligi tenglamalar va ular tarkibiga kiradigan funksiyalarning soniga bog'liq bo'lsa ham eng soddadir.

Oddiy differensial tenglamalar odatda obyektlarning parametrlari mujassamlashgan statsionar rejimlarini (masalan, to'liq aralashtirish reaktorining dinamikasini tavsifi uchun) hamda bitta fazoviy koordinata bo'yicha taqsimlangan parametr bilan obyektlarning nostatsionar rejimlarini matematik tavsifi uchun qo'llaniladi. Birinchi holda mustaqil o'zgaruvchi vaqtdir, ikkichisida – fazoviy koordinata. Matematik tavsiflarning umumiyliigi hatto, ba'zida turli obyektlarning matematik modellari o'xshashligini alohida belgilash kerak. Gap davriy ishlovchi to'liq aralashtirish apparatlarning nostatsionar modellari va ideal siqib chiqish apparatlarning statsionar modellari haqida bormoqda. Birinchi holda quyidagiga egamiz

$$(A + B \xrightarrow{k} P)$$

$$\frac{dC_A}{dt} + kC_A C_B = 0, \quad (1.5)$$

$$\frac{dC_B}{dt} + kC_A C_B = 0.$$

$$C_A = C_A^0, \quad C_B = C_B^0 \quad x = 0 \text{ da,}$$

ikkinchi holda esa

$$v \frac{dC_A}{dx} + skC_A C_B = 0, \quad (1.6)$$

$$v \frac{dC_B}{dx} + skC_A C_B = 0.$$

$$C_A = C_A^{BX}, \quad C_B = C_B^{BX} \quad x = 0 \text{ ga teng bo'lganda,}$$

bunda, s –reaktorning ko'ndalang kesimi; v – hajmiy sarf; $C_A = C_A^{BX}$, $C_B = C_B^{BX}$ – muvofiq A va B moddalarning boshlang'ich va kirish konsentratsiyalari.

Bundan ko'rinmoqdaki, (1.9), (1.10) tenglamalar tizimlari koeffitsiyentlari bilan bir-biriga mos keladi. Matematik tavsifini o'xshashligi (ayniyligi) optimal yechimlar ayniyligi haqida xulosa qabul qilishga imkon beradi, garchan optimal sharoitlarni amaliy amalga oshirilishi har ikkala holda ancha farqlanishi mumkin.

Oddiy differensial tenglamalarni yechish murakkabligi qator jihatlar bilan aniqlanadi. Birinchidan, u tenglamaning tartibi o'sishi bilan o'sadi (yoki tizimda differensial tenglamalarining soni o'sishi bilan, chunki t -li tartibli tenglamani doim birinchi tartibli m tenglamalardan tashkil topgan tizimga qayta o'tkazish mumkin).

Yechishni murakkabligiga tenglamalarning chiziqiligi yoki nochiziqiyliги yana ham katta ta'sir o'tkazadi. Chiziqli oddiy differensial tenglamalar ancha sodda yechiladi; ular uchun qator maxsus usullar ishlab chiqilgan, masalan, operatsion hisoblash. Doimiy koeffitsiyentli chiziqli differensial tenglamalar sodda analitik yechimga ega. Nochizqlik yechimni keskin murakkablashtiradi va quyidagidek, taqribiy usullardan foydalanishni talab qiladi.

Differensial tenglamalar tizimini yechishda ko'pincha tizimning «qattqlik» xossasi bilan to'qnashishga to'g'ri keladi. Ushbu xossa tizimning matritsasi o'z qiymatlarini ancha tarqoq bo'lganligi, bu esa yechimni olishda oddiy usullarini qo'llashga imkon bermaydi. Bunday holatlarda maxsus ishlab chiqilgan algoritmlarni qo'llash kerak bo'ladi.

Oddiy differensial tenglamalardan iborat bo'lgan matematik tavsifning muhim jihati – boshlang'ich shartlarni berish zarurligidir.

Xususiy hosilali differensial tenglamalar taqsimlangan parametrli obyektlar dinamikasini yoki parametrlari bir nechta koordinatalarga taqsimlangan obyektarning statsionar rejimlarini matematik tavsiflash uchun qo'llaniladi. Ko'rsatilgan tenglamalar uchun obyektning dinamikasini tavsiflashda boshlang'ich shartlar bilan bir qatorda chegaraviy shartlarni ham berish kerak, umumiy holda

bular vaqtning funksiyalaridir. Xususiyl hosilali tenglamalar bilan tavsiflanadigan obyektlarning statsionar rejimlari uchun faqat chegaraviy shartlar beriladi. Xususiyl hosilali tenglamalar bilan ifodalangan masalalar quyidagidek, o'ta murakkabligi bilan farqlanadi va ko'p hollarda har bir aniq masalani yechimini olishda jiddiy ish bajarish talab etiladi.

Bu tenglamalar sinfi bilan tavsiflanadigan obyektning misoli sifatida nostatsionar sharoitlarda ishlayotgan ideal siqib chiqarish $A + B \xrightarrow{k} P$ reaksiya bo'lib o'tayotgan apparatini qabul qilsa bo'ladi. Bu holda quyidagi tenglamalar tizimini yozishimiz mumkin:

$$\begin{aligned} \frac{dC_A}{dx} + v \frac{dC_A}{dx} + skC_A C_B &= 0, \\ \frac{dC_B}{dx} + v \frac{dC_B}{dx} + skC_A C_B &= 0. \end{aligned} \quad (1.7)$$

quyidagi boshlang'ich va chegaraviy shartlar bilan:

$$C_A = C_{A_H}(x), \quad C_B = C_{B_H}(x) \quad t = 0 \quad \text{da}, \quad (1.8)$$

$$C_A = C_{A_{gr}}(x), \quad C_B = C_{B_{gr}}(x) \quad t = 0 \quad x = 0 \quad \text{da}. \quad (1.9)$$

Bunda v – hajmli sarf; s – ko'ndalang kesim.

Differensial tenglamalar bilan tavsiflanadigan obyektlarni tadqiq qilish gohida o'ta qiyin hisoblash masalani ifoda etadi. Shuning uchun qator hollarda obyektning matematik tavsifi differensial tenglamalar orqali emas, balki ayirmali tenglamalar tizimi orqali tuziladi. Buning uchun taqsimlangan parametrli uzluksiz obyekt parametrlari mujassamlashgan, lekin yacheykali strukturaga ega bo'lgan diskret obyekt deb ko'riladi. Shaklan matematik nuqtayi nazaridan uzluksiz obyektning diskret obyekt bilan almashtirish differensial tenglamalarni ayirmali bog'lanishlar bilan almashtirishga ekvivalentlidir. Bunda oddiy differensial tenglamalar bilan tavsiflanadigan obyektlar uchun matematik tavsifni chekli - ayirmali tenglamalar tizimi ko'rinishida ifodalashadi. Xususiyl hosilali differensial tenglamalar bilan tavsiflanadigan jarayonlar uchun natija differensial- ayirmali tenglamalar tizimi bo'ladi, ulardan har biri, o'z navbatida, chekli – ayirmali tenglamalar tizimi bilan ifoda etilishi mumkin. Matematik tavsifni tashkil etuvchi tenglamalar tizimida bu kabi o'zgartirishlar kiritilganda, tabiiyki, modellashtirish natijalarini baholashda hisobga olish kerak bo'lgan xatoliklar paydo bo'ladi.

Shu bilan birga o'z tabiati bo'yicha yacheykali strukturaga ega bo'lgan qator obyektlar mavjud. Tipik misollar tariqasida seksiyalangan reaktorlar, tarelkali kolonnalar va boshqalar xizmat qiladi. Shuning uchun differensial tenglamalar bilan tavsiflanadigan yacheykali modellar obyektlar uchun nafaqat approksimatsiyani qulay shaklidir, balki ma'lum o'ziga xos ahamiyatga ham ega.

Nostatsionar obyektlarning umumiy matematik tavsifini jarayonning o'zgaruvchilarini vaqt bo'yicha o'zgarishini aks ettiruvchi differensial tenglamalar

majmui ko‘rinishida (oddiy yoki xususiy hosilali), ifodalash mumkin. Har bir o‘zgaruvchini t_j relaksatsiya vaqti bilan tavsiflash mumkin. Bu vaqt orasida bir o‘zgaruvchi qolgan o‘zgaruvchilarning qiymatlari doimiy bo‘lib turganda o‘zgarishning to‘liq diapazoni ma’lum ulushga o‘zgaradi. Deylik, obyektning hamma o‘zgaruvchilarini ikki guruhga bo‘lish mumkin. Ularning bittasida $t_i \leq t^I$, ikkinchisida esa $t_i \leq t^{II}$ bo‘lib, bundan tashqari, birinchi guruh o‘zgaruvchilarining relaksatsiya vaqti ikkinchi guruh o‘zgaruvchilarining relaksatsiya vaqtidan ancha kamligini anglatuvchi $t^I \ll t^{II}$ bog‘lanma haqqoniy bo‘lsin. Unda xatolikning ma’lum darajasi bilan qabul qilish mumkinki, relaksatsiya vaqtini ancha kam bo‘lgan birinchi guruhning o‘zgaruvchilari inersionsiz va ko‘rsatilgan o‘zgaruvchilar bo‘yicha matematik tavsifning tenglamalaridan vaqt bo‘yicha olingan hosilalari nolga teng deb hisoblanadi. Ba’zida bu usul yordamida nostatsionar bo‘lgan matematik modelni differensial tenglamalarning bir qismini cheklilar bilan almashtirish hisobiga ancha soddalashtirishga erishish mumkin. Matematik modellar, qaysilarida relaksatsiyaning kichik vaqqli o‘zgaruvchilarning vaqt bo‘yicha o‘zgarishlarini tavsiflaydigan nostatsionar differensial tenglamalar statsionar tenglamalar bilan almashtirilsa, ularni *kvazinostatsionarli* deb atash mumkin. Amalda ishlatilayotgan nostatsionar modellar odatda kvazinostatsionardir, bunda, esa, ochig‘ini aytganda, qator ichki o‘zgaruvchilarning kvazinostatsionarligini asoslash kerak.

Aytilganlarni hisobga olib matematik modellarni quyidagi ko‘rinishda tasniflash mumkin:

fazoviy alomatlari bo‘yicha – mujassamlashgan parametrli modellar; yacheykali modellar; taqsimlangan parametrli modellar;

vaqt alomatlari bo‘yicha – statsionar modellar; kvazinostatsionar modellar; nostatsionar modellar.

1.6. Matematik modelni yechish usulini tanlash, uni yechish algoritmini tuzish va modellashtirish dasturi ko‘rinishida amalga oshirish

Matematik tavsifni tuzgandan keyin va zarurat bo‘lganda muvofiq boshlang‘ich va chegaraviy shartlarni qo‘ygandan keyin yechish usulini tanlash, uning algoritmini ishlab chiqish va matematik tavsifning tenglamalar tizimini yechish dasturini tuzish kerak.

Oddiy hollarda, matematik tavsifning tenglamalar tizimini analitik yechish imkoni mavjud bo‘lganda, modellashtirish algoritmi va dasturni maxsus ishlab chiqish zarurati tug‘ilmaydi, chunki barcha axborot muvofiq analitik yechimlardan kelib chiqadi. Matematik tavsif yakunlovchi va differensial tenglamalar tizimlaridan tashkil topgan bo‘lsa, model yechimining amaliy qo‘llanilishi algoritmnining qurish samarasiga jiddiy ravishda bog‘liq bo‘lib qolishi mumkin.

Matematik tavsifning tenglamalar tizimini yechish usulini tanlashda odatda yechimni olishning maksimal tezligini ta’minlash, algoritm yechimining ishonchli

haqiqiyga o'xshashligi va EHMning minimal xotirasi talablariga tayanishadi. Bunda yechimning berilgan aniqligi ta'minlanishi kerak.

Yechish usulini tanlagandan keyin yechimni ta'minlaydigan hisoblash va mantiqiy harakatlarning ketma-ketligi, ya'ni masalani yechish algoritmi tuziladi. Algoritmni yozish shakli va mazmuniga asosiy talablari – uning ko'rgazmaliligi, ixchamliligi va ifodaliligidir. Matematik modellashtirish amaliyotida algoritm (blok-sxemasi)ni yozishning grafik va qadamlar ketma-ketligi ko'rinishidagi usullari keng tarqalgan.

Algoritmni yozish grafik uslubi algoritmning ayrim elementlarini grafik simvollar bilan, butun algoritmni esa – blok-sxema ko'rinishida ifodalashga asoslangan. Blok-sxemalarda grafik simvollarida so'zlar yoki simvollar – bajaruvchi harakatlar yoziladi. Boshqa usullarga nisbatan algoritmni blok-sxema ko'rinishida ifodalash shu afzallikka ega, u ko'proq ko'rgazmalidir. Shu vaqtni o'zida agar algoritm o'ta murakkab yoki katta bo'lsa, grafik tasviri o'ta chigal bo'lishi mumkin va ko'rgazmalikka ega bo'lmaydi. Bu hollarda algoritmni oddiy yozuvini qadamlarning ketma-ketligi ko'rinishida qo'llaniladi. Algoritmning detallash darajasi uning murakkabligi va standartli algoritmlashdan foydalanish darajasiga bog'liq.

Misol sifatida $A + B \xrightarrow{k} P$ reaksiyasi yuz berayotgan ideal siqib chiqarish apparatining hisoblash algoritmini ko'rib chiqamiz.

Apparatning statsionar rejimida ishlashining matematik tavsifi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{v}{s} * \frac{dC_A}{dx} = -kC_A C_B, \quad (1.10)$$

$$\frac{v}{s} * \frac{dC_B}{dx} = -kC_A C_B. \quad (1.11)$$

$$x = 0 \text{ da } C_A = C_A^0, \quad C_B = C_B^0. \quad (1.12)$$

Reaksiyani izotermik sharoitlarda yuz beradi deb hisoblaymiz. Unda oddiy differensial tenglamalarning tizimi (1.10), (1.11) Eyler usuli yordamida yechilish mumkin. Buning uchun uni quyidagi ko'rinishga olib kelamiz.

$$\frac{dC_A}{dx} = -\frac{v}{s} kC_A C_B = f_1(C_A, C_B), \quad (1.13)$$

$$\frac{dC_B}{dx} = -\frac{v}{s} kC_A C_B = f_2(C_A, C_B)$$

Eyler usuliga muvofiq, izlangan S_A va S_B konsentratsiyalar quyidagi formulalar bilan aniqlanadi

$$C_A = C_A^0 + \Delta x f_1(C_A, C_B). \quad (1.14)$$

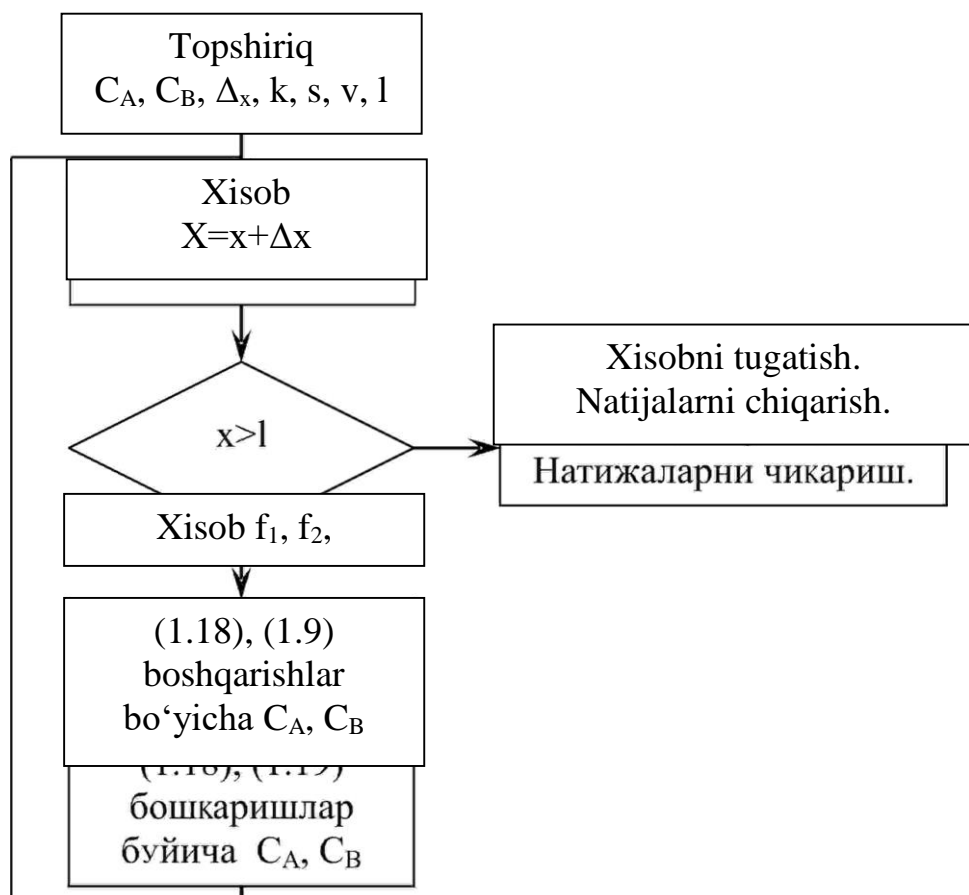
$$C_B = C_B^0 + \Delta x f_2(C_A, C_B). \quad (1.15)$$

(1.13) tenglamalar tizimining grafik yechim algoritmi (blok-sxema) 1.11-ramsda keltirilgan

Bu algoritm qadam-baqadam shaklida ifodalangan quyidagi ko‘rinishga ega:

1. $C_A^0, C_B^0, \Delta x, k, s, v, l$ beriladi.
2. $x = x + \Delta x$ aniqlanadi.
3. $(x > l)$ integrallash yakunining sharti tekshiriladi. Agar u bajarilgan bo‘lsa, natijalar bosmaga chiqariladi va 7 chi punktga o‘tiladi.
4. $f_1(C_A, C_B), f_2(C_A, C_B)$ o‘ng qismlari hisoblanadi.
5. S_A va S_B yangi konsentratsiyalar aniqlanadi.
6. 2 chi punktga o‘tiladi.
7. Hisob tugatiladi.

Keyin algoritm asosida yuqori darajali tillardan birida dastur yoziladi. Dasturni yozishda uni ixchamligiga intilish kerak, buning uchun protseduralar va protseduralar-funksiyalardan foydalaniladi, chunki qaytariladigan hisoblash harakatlari dasturda bir marta yoziladi. Ayrim protseduralar (nimdasturlar) ko‘rinishida hisobning mantiqiy yakunlangan qismlarini yozish maqsadga muvofiqdir. Bu holatda, ularni kutubxonalarga kiritish va turli hisoblarda ishlatish mumkin. Dasturni tuzishda kutubxonalarda bor standartli nimdasturlardan foydalanish mumkin, chunki bu dasturni ishlab chiqish bo‘yicha ishni ancha soddalashtirish mumkin. Avvalo bu amaliy dasturlar paketlarida keng ifodalangan matematik usullarga taalluqlidir.



1.11 -rasm. Ideal siqib chiqarish reaktorini hisoblash algoritmining blok-sxemasi.

Dasturlash bosqichi odatda dasturning barcha o'zgaruvchilar va muvofiq identifikatorlar kirish hamda chiqish o'zgaruvchilar, axborotni kiritish va chiqarish tartibini ko'rsatadigan tavsifini tuzish bilan yakunlanadi.

1.7. Matematik modellarni qurishning blokli tamoyili

Matematik modellarni qurishda blokli tamoyil keng qo'llaniladi, uning mazmuni shundan iboratki, ko'rilayotgan jarayonning u yoki bu tomonini aks ettiruvchi model alohida mantiqiy yakunlangan bloklardan quriladi. Bu modda o'tkazish kinetikasining bloki, gidrodinamika bloki, fazali muvozanatning bloki va shu kabilar bo'lish mumkin. Modellarni blokli qurish tamoyili quydagilarni imkon beradi: a) matematik modelni qurishning umumiy masalasini alohida nimmasalalarga bo'lish va shu bilan uning yechimini soddalashtirish; b) ishlab chiqilgan bloklarni boshqa modellarda qo'llash; d) alohida bloklarni modernizatsiyalash va boshqa bloklarga tegmasdan turib, yangilariga almashtirish.

Jarayonning matematik modelini nimitizimlar (bloklar) majmui ko'rinishida ifodalash alohida bloklarning matematik tavsiflari majmui sifatida umumiy matematik tavsifni ifodalashga imkon beradi. Unda matematik modelning umumiy strukturasi 1.12-rasmda aks etgan ko'rinishga ega bo'lishi mumkin.

Tizimli yondashuvga asoslangan matematik modellarni qurishda jarayonlarni masshtablashtirish muammosini ko'p hollarda prinsipial yechishga imkon beradigan blokli tamoyil sifatida qo'llaniladi. Matematik modellashtirish nuqtayi nazaridan masshtabli o'tish, jarayonni apparaturali rasmiylashtirishni tavsiflaydigan geometrik o'lchamlarining o'zgarishidagi matematik modelning deformatsiyasidan boshqa narsa emas. Matematik modelni qurishning blokli tamoyilini qo'llashda jarayonning xossalari geometrik o'lchamlarining ta'siri faqat bitta nimitizimda (blokda) – «gidrodinamika» blokida aks etadi. Shuning uchun bu blokning sifat va miqdoriga nisbatan yetarli tahrirli matematik tavsifi mavjudligida masshtabli o'tishni bajarishga imkon tug'uladi.

Prinsipial matematik modelning har bir bloki matematik tavsifni detallashtirishning turli darajasiga ega bo'lishi mumkin. Shu narsa muhimki, modelni barcha bloklarning kirish va chiqish o'zgaruvchilari o'zaro muvofiqlikda bo'lish kerak, bu esa jarayonning butunicha matematik modeli tenglamalarining tutashgan tizimini olish imkoniyatini beradi. Ichki o'zgaruvchi bloklarning tarkibiga qaralsa, bunda, yetarli darajada tanlashning katta erkinligi mavjuddir. Idealda har bir blokning matematik tavsifi parametrlari faqat moddalarning fizik-kimyoviy xossalari bo'lgan tenglamalarni o'z ichiga olishi kerak. Lekin ko'p hollarda ayrim hodisalarning yetarlicha o'rganilmaganligi sababli alohida bloklarning fundamental tavsifini olishning hozirgi vaqtda imkoni yo'q. Bu blokni matematik tavsifining o'ta murakkablanishiga bog'liq bo'lib, bu esa jarayonning butunicha matematik modelini keskin murakkablashishiga olib keladi va bundan tashqari, ma'lum

hisoblash qiyinchiliklarini ham tug‘dirishi mumkin. Shuning uchun blokli tamoyilni amaliy qo‘llashda har bir blokning matematik tavsifida uni detallashtirishining u yoki bu sathida empirik bog‘lanishlarni qo‘llashga to‘g‘ri keladi.

1.8. Matematik tavsif tenglamalar tizimining tahlili

1. Boshqa tenglamalarning chiziqli kombinatsiyalari olinishi mumkin bo‘lgan bog‘liqlik tenglamalar olib tashlanadi.
2. MT tenglamalarining chap va o‘ng qismlaridagi o‘lchamlarning mosligi tekshiriladi.
3. Imkon boricha tizimning tenglamalari soddaroqlariga, masalan, stexiometrik bog‘lanishlarga almashtiriladi.

Gidrodinamik modellarning balans tenglamalari

Balans tenglamalar sinfi	Model ko‘rinishi	Mujassamlangan parametrli	Taqsimlangan parametrli	
		Ideal aralashtirish modeli	Ideal siqib chiqarish modeli	Bir parametrli diffuziyali modeli
Komponentlar bo‘yicha	Dinamik	$\frac{d(Vx_i)}{dt} = v^{(0)}x_i^{(0)} - vx_i + G_i^\Sigma$ $i = 1, \dots, n$	$\left(\frac{1}{L}\right) \frac{\partial(Vx_i)}{\partial t} = -\frac{\partial(vx_i)}{\partial l} + G_{i(t)}^\Sigma$ $i = 1, \dots, n$	$\left(\frac{1}{L}\right) \frac{\partial(Vx_i)}{\partial t} = \frac{D}{L} \frac{\partial^2(Vx_i)}{\partial l^2} - \frac{\partial(vx_i)}{\partial l} + G_{i(t)}^\Sigma$ $i = 1, \dots, n$
	Statik	$v^{(0)}x_i^{(0)} - vx_i + G_i^\Sigma = 0$ $i = 1, \dots, n$	$\frac{\partial(vx_i)}{\partial l} = G_{i(t)}^\Sigma$ $i = 1, \dots, n$	$\frac{D}{L} \frac{\partial^2(Vx_i)}{\partial l^2} - \frac{\partial(vx_i)}{\partial l} + G_{i(t)}^\Sigma = 0$ $i = 1, \dots, n$
Umumiy massa bo‘yicha	Dinamik	$\frac{d(V)}{dt} = v^{(0)} - v + \sum_{i=1}^n G_i^\Sigma$	$\left(\frac{1}{L}\right) \frac{\partial V}{\partial t} = -\frac{\partial v}{\partial l} + \sum_{i=1}^n G_{i(t)}^\Sigma$	$\left(\frac{1}{L}\right) \frac{\partial(V)}{\partial t} = \frac{D}{L} \frac{\partial^2 V}{\partial l^2} - \frac{\partial v}{\partial l} + \sum_{i=1}^n G_{i(t)}^\Sigma$
	Statik	$v^{(0)} - v + \sum_{i=1}^n G_i^\Sigma = 0$	$\frac{\partial v}{\partial l} = \sum_{i=1}^n G_{i(t)}^\Sigma$	$\frac{D}{L} \frac{\partial^2 V}{\partial l^2} - \frac{\partial v}{\partial l} + \sum_{i=1}^n G_{i(t)}^\Sigma = 0$
Issiqlik bo‘yicha	Dinamik	$\frac{d(vC_p T)}{dt} = v^{(0)}C_p^{(0)}T^{(0)} - vC_p T + \Delta Q^\Sigma$	$\left(\frac{1}{L}\right) \frac{\partial(vC_p T)}{\partial t} = -\frac{\partial(vC_p T)}{\partial l} + \Delta Q_i^\Sigma$	$\left(\frac{1}{L}\right) \frac{\partial(vC_p T)}{\partial t} = \frac{D}{L} \frac{\partial^2(vC_p T)}{\partial l^2} - \frac{\partial(vC_p T)}{\partial l} + \Delta Q_{i(t)}^\Sigma$
	Statik	$v^{(0)}C_p^{(0)}T^{(0)} - vC_p T + \Delta Q^\Sigma = 0$	$\frac{\partial(vC_p T)}{\partial l} = \Delta Q_i^\Sigma$	$\frac{D}{L} \frac{\partial^2(vC_p T)}{\partial l^2} - \frac{\partial(vC_p T)}{\partial l} + \Delta Q_{i(t)}^\Sigma = 0$

Kimyo texnologiyasida jarayonlarning matematik tavsiflari uchun asosiy bog‘liqliklar quyidagi jadvalda ifodalangan:

Oqimlarda elementar jarayonlar manbalarining asosiy jadalliklari

Manbalar	Zonadagi jadallik		
	Mujassamlangan parametrli	Taqsimlangan parametrli	Lokal

Yig'indili	Komponentning	$G_i^\Sigma = G_i^R + G_i^M + G_i^A + G_i^H$ $i = 1, \dots, n$	$G_{i(t)}^\Sigma = G_{i(t)}^R + G_{i(t)}^M + G_{i(t)}^A + G_{i(t)}^H$ $i = 1, \dots, n$	
	Issiqlikning	$\Delta Q^\Sigma = \Delta Q^R + \Delta Q^M + \Delta Q^A + \Delta Q^T + \Delta Q^H + \Delta Q^N$	$\Delta Q_{(t)}^\Sigma = \Delta Q_{(t)}^R + \Delta Q_{(t)}^M + \Delta Q_{(t)}^A + \Delta Q_{(t)}^T + \Delta Q_{(t)}^H + \Delta Q_{(t)}^N$	
v^R hajmda kimyoviy reaksiya	Komponentning	$G_i^R = v^R \cdot g_i^R$ $i = 1, \dots, n$	$G_{i(t)}^R = \frac{v^R}{L} \cdot g_i^R$ $i = 1, \dots, n$	$g_i^R = \sum_{j=1}^m \alpha_{0j} r_j$ $i = 1, \dots, n$
	Issiqlikning	$\Delta Q^R = v^R \cdot \Delta q^R$	$\Delta Q_{(t)}^R = \frac{v^R}{L} \cdot \Delta q^R$	$\Delta q^R = \sum_{j=1}^M \alpha_{pj} (-\Delta H_{pj}^R) r_j$
F^M yuza orqali modda almashuv	Komponentning	$G_i^M = F^M \cdot g_i^M$ $i = 1, \dots, n$	$G_{i(t)}^M = \frac{F^M}{L} \cdot g_i^M$ $i = 1, \dots, n$	$g_i^M = \sum_{j=1}^n K_{ij}^M (x_i^n - x_j)$ $i = 1, \dots, n$
	Issiqlikning	$\Delta Q^M = F^M \cdot \Delta q^M$	$\Delta Q_{(t)}^M = \frac{F^M}{L} \cdot \Delta q^M$	$\Delta q^M \cong \sum_{i=1}^n (-\Delta H_i^M) g_i^M$
Fazali muvozanatda agregat holatini o'zgarishi	Komponentning	$G_i^A = -\tilde{v} \cdot \tilde{x}_i^*$ $i = 1, \dots, n$	$G_{i(t)}^A = -\frac{\tilde{v}}{L} \cdot \tilde{x}_i^*$ $i = 1, \dots, n$	$\tilde{x}_i^* = y_i^*$ $i = 1, \dots, n$
	Issiqlikning	$\Delta Q^A = -\tilde{v} \Delta \tilde{H}^A$	$\Delta Q_{(t)}^A = -\frac{\tilde{v}}{L} \cdot \Delta \tilde{H}^A$	$\Delta \tilde{H}^A \cong \sum_{i=1}^n (-\Delta H_i^A) y_i^*$
F^T yuza orqali issiqlik almashuv	Issiqlikning	$\Delta Q^T = F^T \cdot \Delta q^T$	$\Delta Q_{(t)}^T = \frac{F^T}{L} \cdot \Delta q^T$	$\Delta q^T = K^T (\tilde{T} - T)$
F^H yuzadan issiqlik nurlanishi	Issiqlikning	$\Delta Q^H = F^H \cdot \Delta q^H$	$\Delta Q_{(t)}^H = \frac{F^H}{L} \cdot \Delta q^H$	$\Delta q^H = K^H (\tilde{T}^4 - T^4)$

Shartli belgilar

V – ko'rilayotgan zonaning hajmi;

v – oqimning sarfi;

L – ko'rilayotgan zonaning uzunligi;

D – bo'ylama aralashtirish koeffitsiyenti;

\bar{x} , T – oqimning tarkibi va harorati;

\bar{y} – fazali o'tishda agregat holatini o'zgarishida kontaktlanayotgan fazaning tarkibi;

\bar{G}^Σ – oqimda komponentlar manbalarining yig'indi jadalligi;

ΔQ^Σ – oqimda issiqlik manbalarining yig'indi jadalligi;

C_p – o'zgarmas bosimda issiqlik sig'imi;

\bar{g} – oqimda komponentlar manbalarining lokal jadalligi;

Δq – oqimda issiqlik manbaning lokal jadalligi;

K – oqimda issiqlik manbalarining jadalligini tavsiflovchi uzatish koeffitsiyenti;

ΔN – elementar jarayonning issiqlik samarasi;

\bar{r} – kimyoviy reaksiya pog'onalarining tezliklari;

$\bar{\alpha}$ – reaksiyalarda komponentlarning stexiometrik koeffitsiyentlari;

ℓ – fazoning koordinatasi;

t – vaqtning koordinatasi;

n – ko'p komponentli tizimda komponentlar soni;

m – murakkab kimyoviy reaksiyada elementar pog'onalar soni.

YUQORIDAGI INDEKSLAR

⁽⁰⁾ – oqimning zonaga kirish alomati;

R – kimyoviy reaksiya;

M – modda almashuv;

A – fazali muvozanatda agregat holatining o'zgarishi;

P – tashqi oqimdan qo'shimcha ta'minlash;

T – issiqlik almashuv;

I – issiqlik nurlanish;

$*$ – termodinamik muvozanat;

\sim – ko'rilayotgan bilan kontaktlanayotgan oqimning zonasi.

PASTKI INDEKSLAR

i – komponent

j – kimyoviy reaksiyaning pog'onasi

^(ℓ) – parametrning taqsimlanganligi

p – kimyoviy reaksiyaning elementar pog'onasida tashkil bo'layotgan komponent (mahsulot)

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. Xayoliy modellashtirish nima?
2. Ko'rgazmali modellashtirish nima?
3. Analogli modellashtirish nima?
4. Tilli modellashtirish nima?
5. Matematik modellashtirish nima?
6. Imitatsion modellashtirish nima?
7. Kombinatsiyalangan modellashtirish nima?
8. Real modellashtirish nima?
9. Shaxsiy kompyuterda tizimlarni modellashtirishning imkoniyatlari va samaradorligi.
10. Mashinali tajriba qanday rejalashtiriladi?
11. Ish hisoblarini o'tkazish tartibi.
12. Konseptual modelni qurishning asosiy nimbosqichlarni ayting.
13. Texnologik jarayonlarning asosiy ierarxik sathlarni sanab o'ting. Har bir sanab o'tilgan sathlar nima bilan tavsiflanadi?
14. Fizik-kimyoviy tizim (FKT) va kimyo-texnologik tizim (KTT) deganda nima tushuniladi?
15. Tizimlar operatorlarining fizik-kimyoviy, texnologik va funksional vazifalari nimadan iborat?
16. Tizimning hisobiy moduli nimani tavsiflaydi?
17. Kompyuterda real jarayonlarni hisoblash uchun tadqiqotlarning qanday bosqichlarini amalga oshirish kerak?
18. EHMda quyidagi real jarayonlarni hisoblashga misollar keltiring: a) kimyoviy ishlab chiqarish ierarxiyasining mikrosathida; b) makrosathda; d) ishlab chiqarish sathida.
19. Jarayonning matematik modeli (MM) nimani tavsiflaydi: a) matematik tavsifning tenglamalar tizimini (MTTT); b) uni yechish algoritmining blok-sxemasini; d) yuqori sathli algoritmik tillardan birida yechish dasturini; e) kompyuterda amalga oshirilgan masalani yechish algoritmini, masalan modellovchi algoritm (MA)nimi?
20. Nima uchun real jarayonning matematik modeli monand bo'lishi kerak?
21. Monandlikni aniqlash uchun tajriba ma'lumotlari kerakmi?
22. Nima uchun modellashtirish obyektining identifikatsiyasi MM ni monandligini ta'minlaydi?
23. Tadqiq qilinayotgan obyektning optimal ishlash sharoitini aniqlashda, ya'ni real jarayonni optimallashtirishda kompyuterdan qanday foydalanish kerak?
24. Strukturaviy modelni qurishning umumiy tamoyillarini sanab o'ting.
25. Kimyo-texnologik jarayonning matematik tavsifini tenglamalar tizimini qurish bosqichlarining nomini aytib o'ting.
26. Asosiy elementar jarayonlarni sanab o'ting.
27. Gidrodinamik modellarining balans tenglamalarini keltiring.

28. Oqimlardagi elementar jarayonlar manbalarining asosiy jadalliklarini keltiring.

29. Kimyo-texnologik jarayonni matematik tavsifining tenglamalar tizimini tahlili nimadan iborat?

30. Mujassamlashgan parametrli (dinamik va statik modellar) obyektning matematik tavsifini keltiring.

31. Taqsimlangan parametrli (dinamik va statik modellar) obyektning matematik tavsifini keltiring.

32. Kimyoviy jarayonlar qanday algoritmlar yordamida modellanadi?

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

Режа:

2.1. Oqimlar strukturasi tadqiqot usullari

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

2.3. Ideal aralashtirish va ideal siqib chiqarish modellari

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.

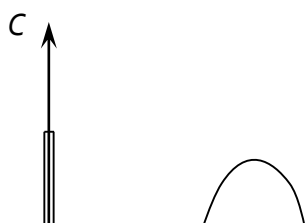
Keyinroq real apparatlarda oqimlar strukturasi tadqiqlashning tajriba usullari, oqimlar strukturasi eng ko'p tarqalgan matematik modellari va modellar parametrlarini aniqlash usullari ko'rib chiqiladi.

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 eritmalari, 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 eritmalari 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:

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

Kiritilgan indikatorning umumiy miqdori quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

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

U vaqtda (2,2), (2.7) tenglamalardan quyidagi ifoda kelib chiqadi

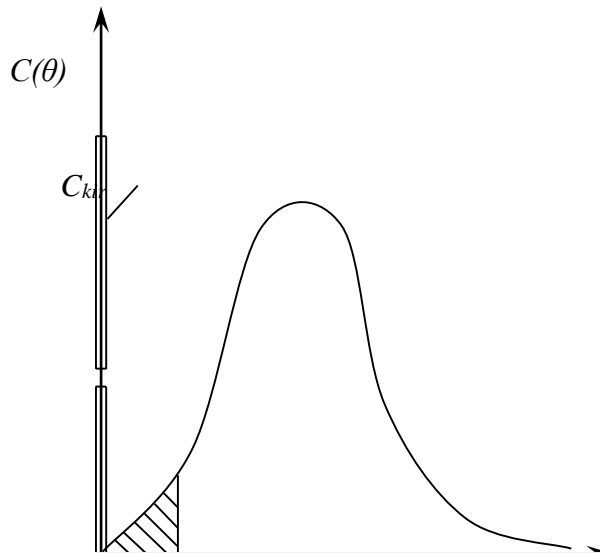
$$C(\theta) = \frac{vC_E(t)dt}{gd\theta} = v \frac{C^E(t)\bar{t}}{g} = \frac{C_E(t)}{\int_0^{\infty} C_E(t) dt}, \quad (2.9)$$

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

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



2.2-rasm. Tipik C-egri chiziqli.

va 0 dan θ o'zgarish vaqtida oqim ulushini Tabiiyki

gacha apparatdagi belgilaydi.

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

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

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

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

Bu tenglamaga (3.2) tenglamadagi dp ni qo'yamiz va $g = v \int_0^{\infty} C_E(t) dt$ dan foydalansak, unda quyidagi ifoda kelib chiqadi:

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

1-misol. Apparatdagi oqimlarning gidrodinamikasini tadqiq qilishda impulsli usul qo'llaniladi. Impulsi 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:

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

$C(t) = C_i^E(t) / \sum_i C_i^E(t)\Delta t$ 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
$C(t)$ мул ⁻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

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

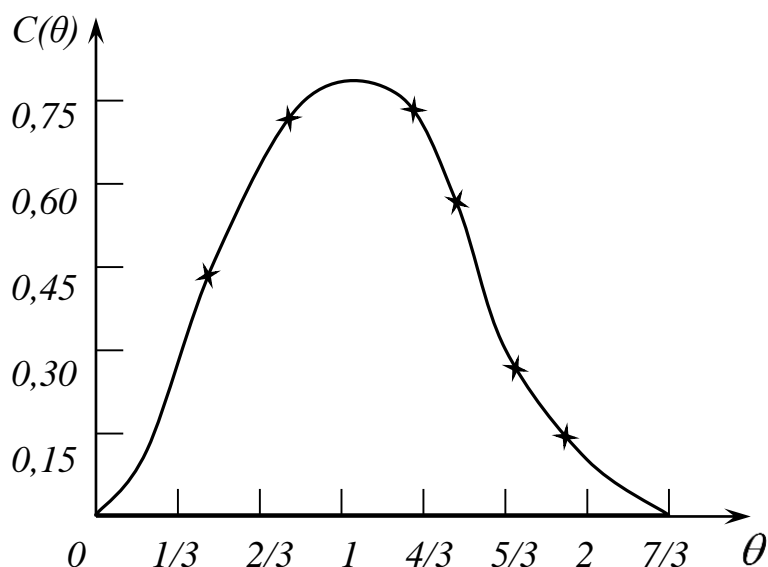
va t_i , C_i^E qiymatlarni qo'ygandan keyin, $S(\theta)$ muvofiq qiymatlarini olamiz (2.3-jad.).

2.3-jadval

S(θ) o'lchamsiz funksiyaning qiymatlari

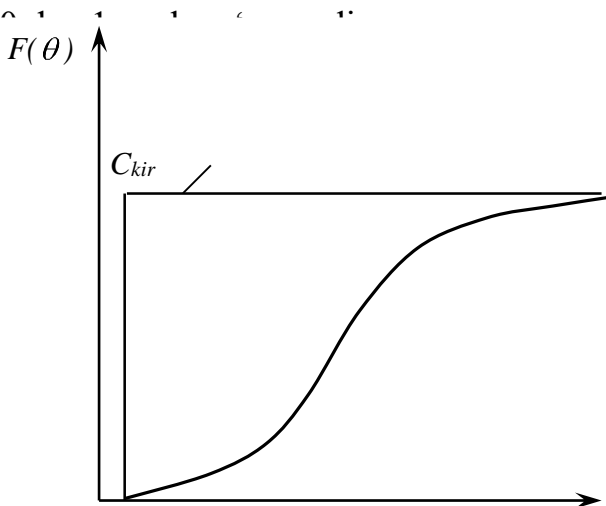
θ	0	1/3	2/3	1	4/3	5/3	2	7/3
$C(\theta)$	0	0,45	0,75	0,75	0,60	0,03	0,15	0

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



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-rasmدا tasvirlangan ko'rinishga ega. Agar vaqt o'lchamsiz birliklarda ifodalangan bo'lsa, unda apparatdan chiqayotgan oqimdagi indikator konsentratsiyasining vaqt bo'yicha o'zgarish bog'liqligi F -egri chiziq deb ataladi. Kirayotgan oqimdagi $F / F(\infty)$ nisbatga teng miqdor $\hat{F}(\theta)$



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

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

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

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

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

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

(2.19) tenglamadagi birinchi qo'shiluvchi nolga teng. Bunda oqimning apparatda o'rtacha bo'lish vaqti apparatdan chiqishdagi oqim elementlarining taqsimlanish funksiyasi qiymatlari $F(t) = F_E(t) / F_E(\infty)$ orqali quyidagicha ifodalanadi:

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

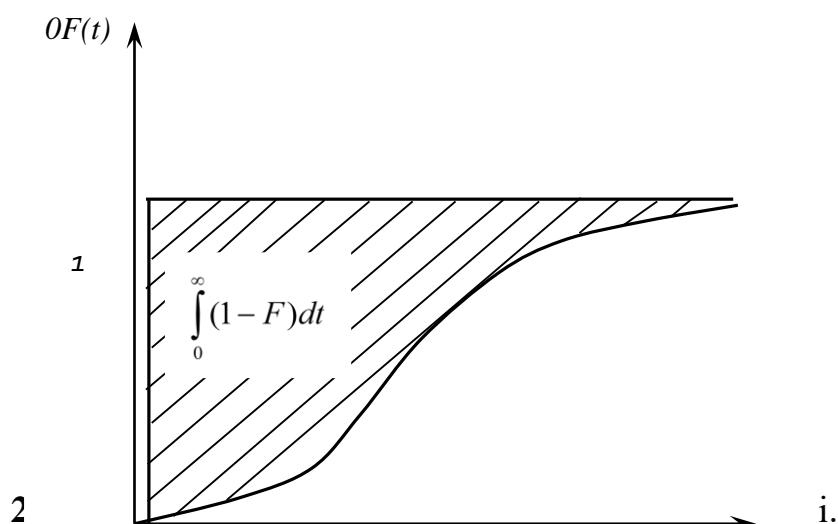
Quyidagi funksiyani kiritib

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

o'rtacha bo'lish vaqtini quyidagicha ifodalash mumkin

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

Geometrik jihatdan o'rtacha bo'lish vaqti $F(t)$ egri chiziq ustidagi maydonga mos keladi (2.5-rasm).



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

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

Diffuziyali modelning tenglamasi quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

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

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

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

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

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

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

bundan quyidagi kelib chiqadi:

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

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

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

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

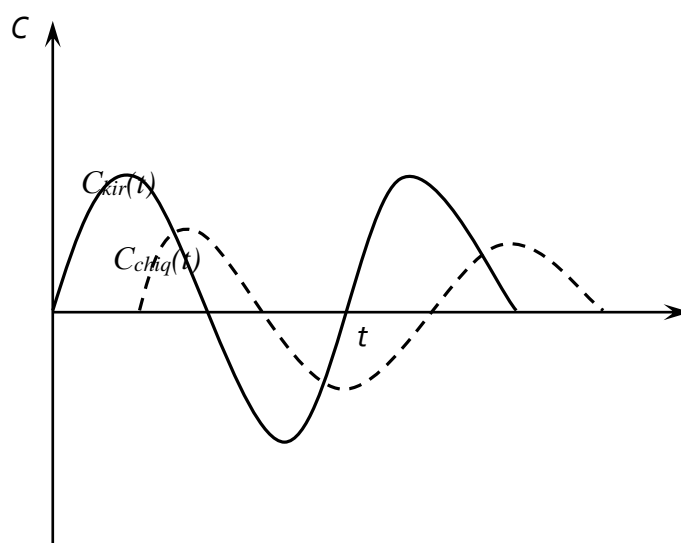
$$C_k = A_2 e^{Pe}; A_2 = C_k e^{-Pe} \quad (2.29)$$

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

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

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

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

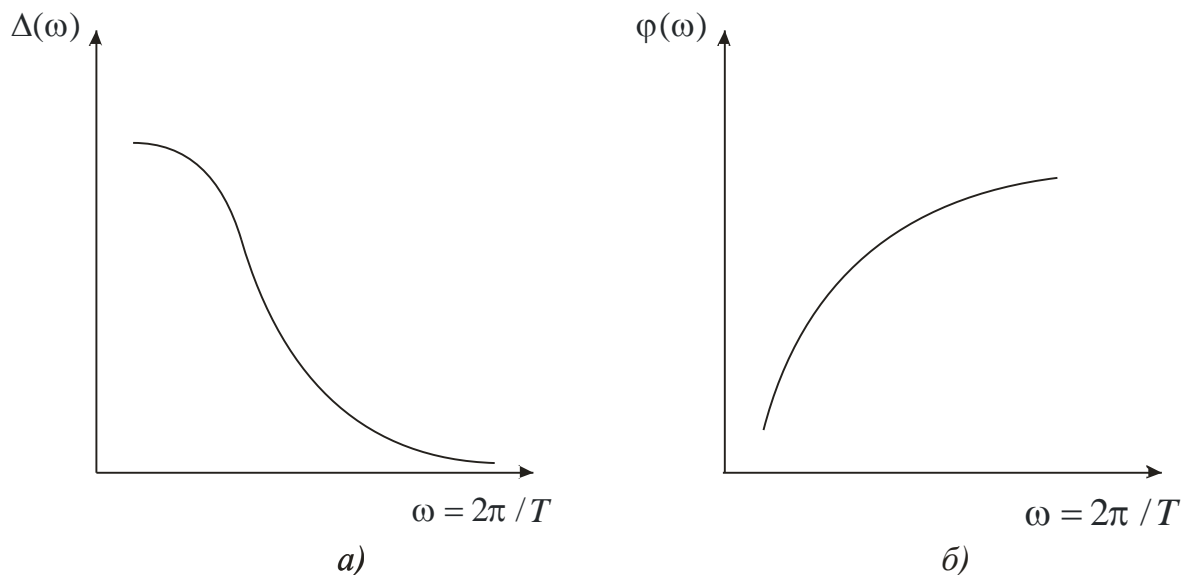


2.6-ra

signallarining 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_l amplitudalar nisbati bo'yicha (2.36), (2.37) tenglamalar asosida bo'ylama aralashtirish koeffitsiyenti D_l ning qiymatini baholash qiyin emas.

2.2. Apparatta 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 xossalari 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 C – egri chiziqning qiymatlari quyidagicha aniqlanadi:

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

Me'yorlangan C – egri chiziqning 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 $\theta = t/t$ 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_{β}^{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:

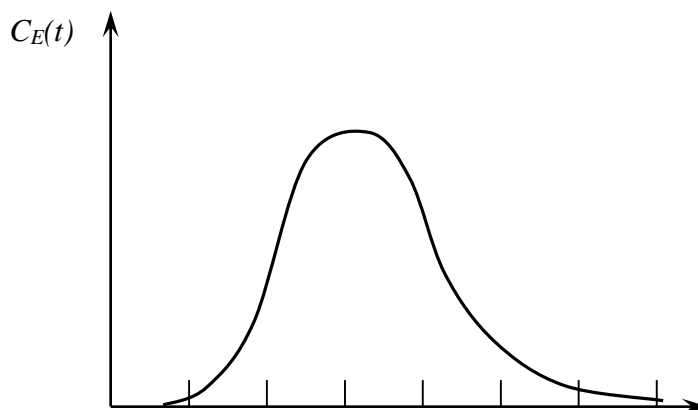
$$\mu_{\beta}^t = t^{-\beta} M_{\beta}^{\theta} \quad (2.48)$$

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.



Me‘yorlangan C – egri chiziqning birinchi tartibli boshlang‘ich momenti o‘rtacha bo‘lish vaqti t ni aniqlaydi. Me‘yorlangan C – egri chiziqning ta‘rifini hisobga olib, qo‘yidagiga ega bo‘lamiz:

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

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

$$M_1^t = \int_0^{\infty} t^s C(t)dt = \frac{1}{(s+1)} \int_0^{\infty} C(t)d(t^{s+1}) \approx$$

$$\approx \frac{1}{s+1} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n-1} (t_{j+1}C_{j+1}^E)(t_{j+1}^{s+1} - t_j^{s+1})}{\sum_{j=1}^{n-1} (C_{j+1}^E + C_j^E)\Delta t} \quad (2.51)$$

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

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

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

Ikkinchi tartibli markaziy moment 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:

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

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

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

Tajribaviy F – egri chiziqlarga ishlov berish. Agar C – egri chiziq bo‘lish vaqti bo‘yicha oqim elementlarini taqsimlanish zichligi funksiyasining bahosi bo‘lib xizmat qilsa, unda F - egri chiziq (pog‘onali g‘alayonga tizimning javobi) taqsimlanish funksiyasining bahosidir. Amalda tajribaviy F - egri chiziqdan $F_e(t)$ me‘yorlangan $F(t)$ ga o‘tish qulay bo‘lib, u quyidagicha ifodalanadi:

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

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

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

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

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

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

Markaziy momentlar quyidagi tarzda aniqlanadi:

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

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

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

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

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

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

bu yerda Laplas o'zgartirishi quyidagi tarzda aniqlanadi:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Shunday qilib, quyidagini olamiz:

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

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

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

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.

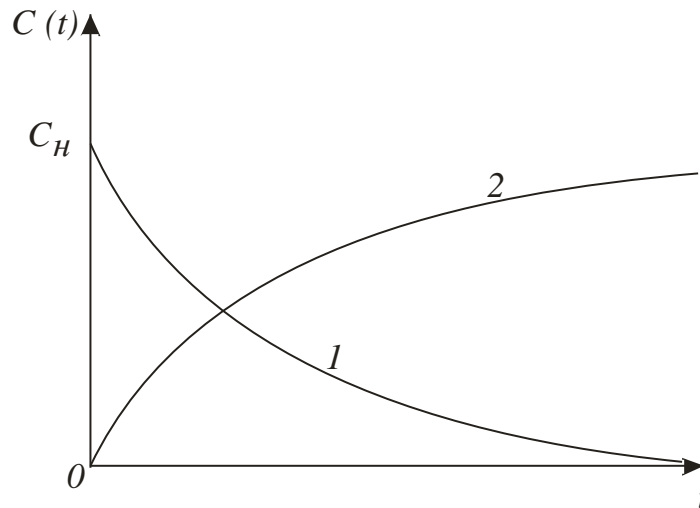
Ideal aralashtirish modeli apparatga kirayotgan modda uning butun hajmi bo‘yicha bir onda taqsimlanadigan apparatga muvofiq keladi. Aparatning istalgan nuqtasida moddaning konsentratsiyasi uning chiqishdagi konsentratsiyasiga teng. Ideal aralashtirish modelining tenglamasi quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

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

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

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

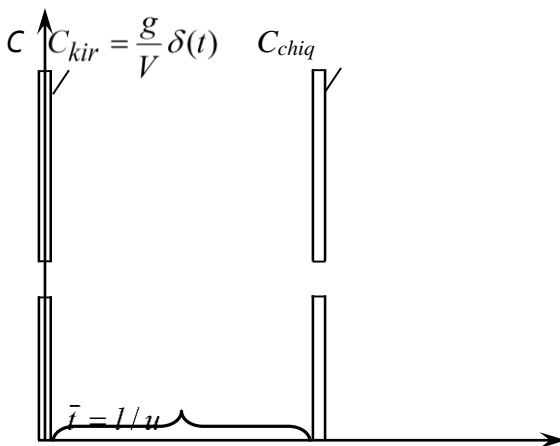
$$\text{va chegaraviy } x = 0, \quad t > 0 \text{ da } C(t, 0) = C_{kir}(x) \quad (2.82)$$

shartlarni qanoatlantiradigan (2.80) tenglamaning yechimi quyidagicha:

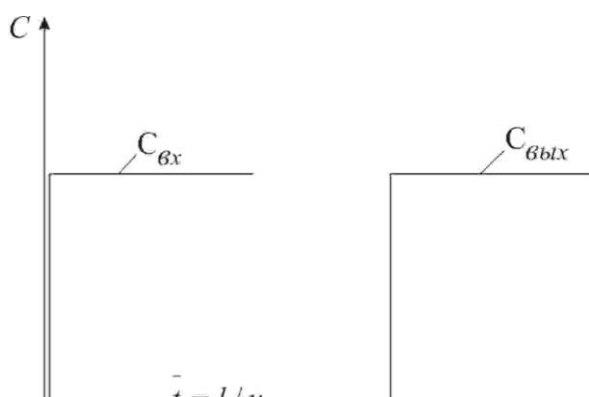
$$C(t, l) = \begin{cases} C_n(l - tu), & t < \frac{l}{u}, \\ C_{kir}(t - \frac{l}{u}), & t \geq \frac{l}{u}. \end{cases} \quad (2.83)$$

(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-rasmda 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:

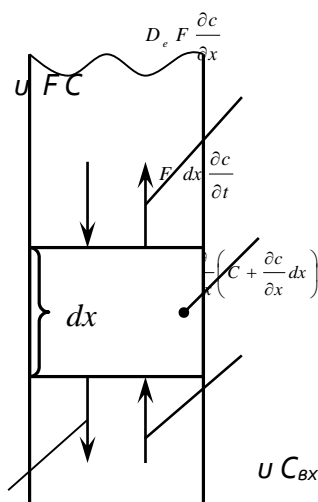
$$To'plash = Moddaning kelishi - Moddaning sarflanishi \quad (2.85)$$

Yoki

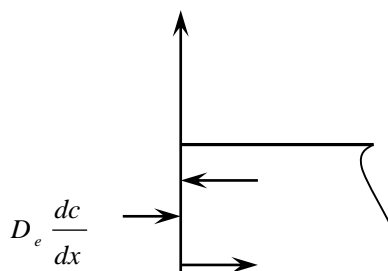
$$F dx \frac{dC}{dt} = uFC + D_1 F \frac{d}{dx} \left(C + \frac{dC}{dx} \Delta x \right) - uF \left(C + \frac{dC}{dx} \Delta x \right) - D_1 F \frac{dC}{dx} \quad (2.86)$$

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

$$\frac{dC}{dt} = D_1 \frac{d^2 C}{dx^2} - u \frac{dC}{dx} \quad (2.87)$$



2.12-rasm. Diffuzion modeli tenglamasini chiqarishga oid.

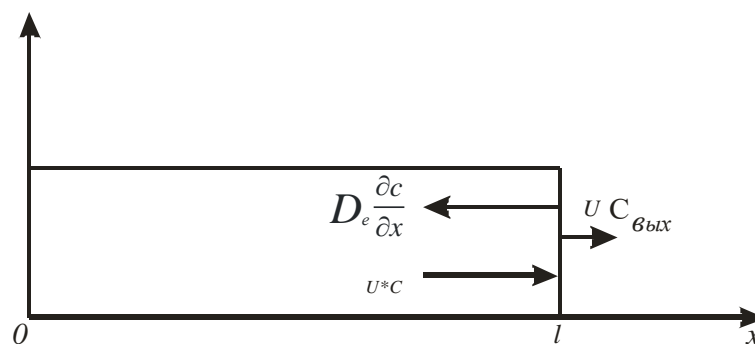


2.13-rasm. Apparatning chap chegarasidagi oqimlar sxemasi.

(2.87) tenglama diffuziyali modelning asosiy tenglamasi 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 parametr 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‘zgarmas 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

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

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

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

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

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

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

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

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 nolinch 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 parametrli 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 parametrli nisbatan ancha kam ishlatiladi, shuning uchun keyinchalik faqat bir parametrli 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:

$$\frac{\bar{t}}{t} \frac{dC}{dt} + \frac{u}{l} \frac{dC}{dx} = \frac{D_1}{l^2} \frac{d^2 C}{dx^2}. \quad (2.102)$$

Kiritilgan o‘zgaruvchilarni hisobga olib, quyidagini olamiz:

$$\frac{1}{\bar{t}} \frac{dC}{d\theta} + \frac{u}{l} \frac{dC}{dz} = \frac{D_1}{l^2} \frac{d^2 C}{dz^2} \quad (2.103)$$

yoki

$$\frac{ul}{D_1} \frac{dC}{d\theta} + \frac{ul}{D_1} \frac{dC}{dz} = \frac{d^2 C}{dz^2}. \quad (2.104)$$

(2.104) tenglamaning chap qismidagi ko‘paytuvchi $(ul) / D_1$ Pekle (Re) o‘lchamsiz sonni ifoda etadi. Unda oxirgi tenglamani quyidagi ko‘rinishda yozishimiz mumkin:

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

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

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

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

Impulsi va pog‘onali g‘alayonlarga diffuziyali modelning javob funksiyasi. Avval impulsi 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:

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

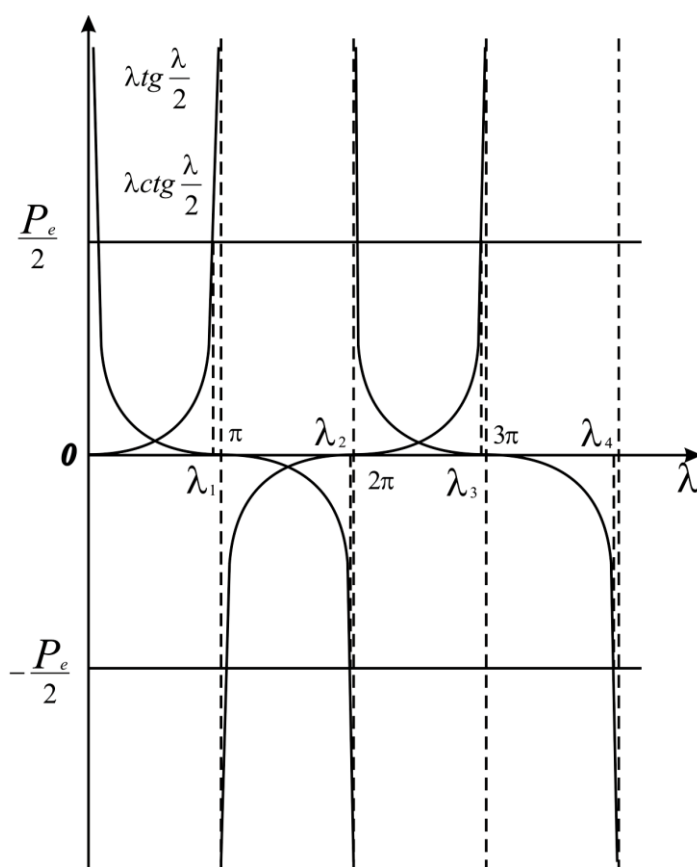
bunda, λ – transendent tenglamalarning ildizlari

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

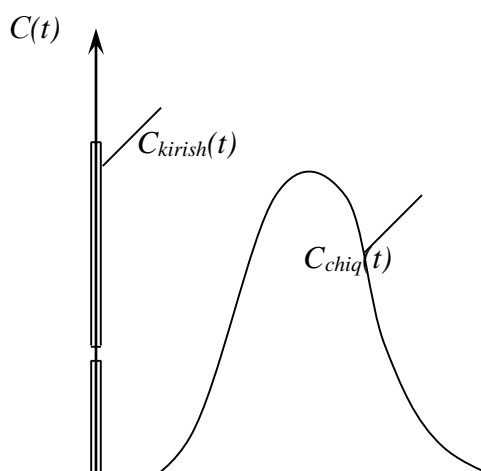
$$\frac{\lambda_i}{2} \operatorname{ctg} \frac{\lambda_i}{2} = -\frac{Pe}{4} \quad (i = 2, 4, 6, \dots). \quad (2.110)$$

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

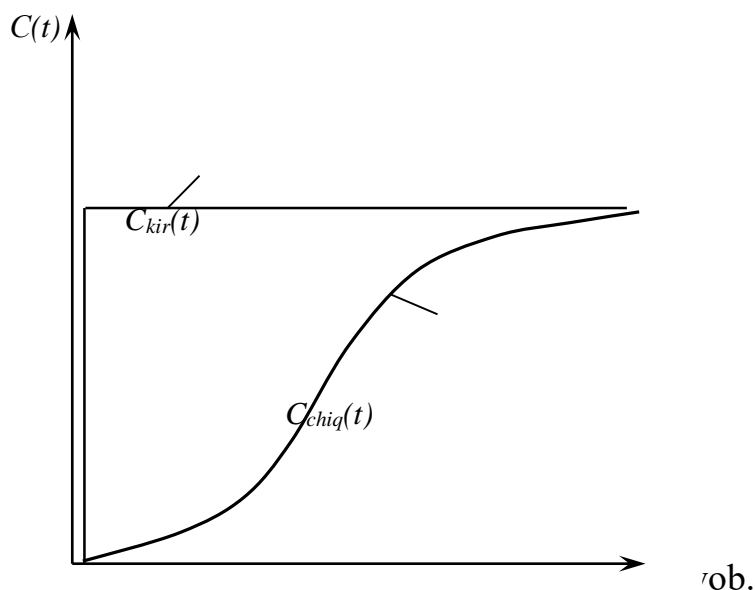
$\nu > 0,01$ va $Pe < 10$ sohada (2.108) ni yechimi qoniqarli natijalarni beradi. Ko‘rsatilgan limitlardan tashqarida approssimatsiyalangan yechimdan foydalanish kerak (2.16 va 2.17 rasmlar).



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



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



2.17-rasm.

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 $a = \alpha/\beta$ 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,

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

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

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

Bo'laklab integrallab, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\int_0^{\infty} t dC = tC \Big|_0^{\infty} - \int_0^{\infty} C t d = \int_0^{\infty} C t d, \quad (2.144)$$

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:

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

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:

$$\frac{dz}{dx} - \frac{u}{D_1} z = 0. \quad (2.150)$$

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:

$$\frac{dC_1(x)}{dx} = -\frac{I}{D_1} e^{-\frac{u}{D_1} x}, \quad (2.157)$$

$$\int dC_1(x) = \int -\frac{I}{D_1} e^{-\frac{u}{D_1} x} dx + C, \quad (2.158)$$

$$C_1(x) = \frac{I}{D_l} e^{\frac{u}{D_l}x} + C. \quad (2.159)$$

Endi bir jinsli bo'lmagan (2.149) tenglamaning umumiy yechimi (2.154) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$z = \left(\frac{I}{u} e^{-\frac{u}{D_l}x} + C \right) e^{-\frac{u}{D_l}x}. \quad (2.160)$$

Izlanayotgan funksiya J uchun (2.160) yechimini yozamiz.

$$dJ = z dx, \quad (2.161)$$

bo'lganligi sababli

$$\int dJ = \int \left(\frac{I}{u} + C e^{\frac{u}{D_l}x} \right) dx + C_2, \quad (2.162)$$

$$J = \frac{I}{u} x + C \frac{D_l}{u} e^{\frac{u}{D_l}x} + C_2 \quad (2.163)$$

Chegaraviy shartlardan foydalanib (2.163) yechimda S va S_2 konstantalarni aniqlaymiz.

$$x = 0 \text{ da } J - \frac{D_l}{u} \frac{dJ}{dx} = 0 \quad (2.164)$$

ya'ni

$$C \frac{D_l}{u} + C_2 - \frac{D_l}{u} \left(\frac{I}{u} + C \right) = 0, \quad (2.165)$$

bu yerdan

$$C_2 = \frac{D_l I}{u^2} \quad (2.166)$$

O'xshash tarzda quyidagi shartdan foydalanib, (2.168) dagi ifodani topamiz:

$$x = l \text{ da } \frac{dJ}{dx} = 0 \quad (2.167)$$

$$\frac{I}{u} + C e^{\frac{u}{D_l}l} = 0, \quad (2.168)$$

Bundan quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$C = -\frac{I}{u} e^{\frac{u}{D_l} l} = 0. \quad (2.169)$$

Unda (2.163) yechim quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$J = \frac{I}{u} x + \left(-\frac{I}{u}\right) e^{-\frac{u}{D_l} l} \frac{D_l}{u} e^{\frac{u}{D_l} l} + \frac{D_l I}{u^2} = \frac{I}{u} x + \frac{D_l I}{u^2} - \frac{D_l I}{u^2} e^{\frac{u}{D_l}(x-l)}. \quad (2.170)$$

$x = l$ 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:

$$[C_1(x)]'_x e^{\frac{u}{D_1}x} + C_1(x) \frac{u}{D_1} e^{\frac{u}{D_1}x} - \frac{u}{D_1} C_1(x) e^{\frac{u}{D_1}x} = \frac{2I}{u^2} + \frac{2I}{u^2} e^{\frac{u}{D_1}x} - \frac{2I}{uD_1} x \quad (2.183)$$

Bu yerdan

$$[C_1(x)]_x = -\frac{2I}{u^2} e^{-\frac{u}{D_1}x} + \frac{2I}{u^2} e^{-\frac{u}{D_1}x} - \frac{2Ix}{uD_1} e^{-\frac{u}{D_1}x}, \quad (2.184)$$

$$C_1(x) = -\frac{2I}{u^2} e^{-\frac{u}{D_1}x} - \frac{2I}{uD_1} \int x e^{-\frac{u}{D_1}x} + \frac{2I}{u^2} e^{-\frac{u}{D_1}l} - x + C, \quad (2.185)$$

$$\begin{aligned} \int x e^{-\frac{u}{D_1}x} dx &= -\frac{u}{D_1} x e^{-\frac{u}{D_1}x} - \int -\frac{u}{D_1} x e^{-\frac{u}{D_1}x} dx = \\ &= -\frac{D_1}{u} x e^{-\frac{u}{D_1}x} + \frac{D_1}{u} \left(-\frac{D_1}{u}\right) e^{-\frac{u}{D_1}x} = -\frac{D_1 x}{u} e^{-\frac{u}{D_1}x} - \frac{D_1^2 x}{u^2} e^{-\frac{u}{D_1}x} \end{aligned} \quad (2.186)$$

$$\begin{aligned} C_1(x) &= \frac{2ID_1}{u^3} e^{-\frac{u}{D_1}x} - \frac{2I}{uD_1} \left(-\frac{D_1 x}{u} e^{-\frac{u}{D_1}x} - \frac{D_1^2 x}{u^2} e^{-\frac{u}{D_1}x} + \right. \\ &\left. \dots + \frac{2I}{u^2} e^{-\frac{u}{D_1}l} + C = \frac{2Ix}{u^2} e^{-\frac{u}{D_1}x} + \frac{2Ix}{u^2} e^{-\frac{u}{D_1}l} + \frac{4ID_1}{u^3} e^{-\frac{u}{D_1}x} + C. \end{aligned} \quad (2.187)$$

Bu yerdan

$$z = \left(\frac{2Ix}{u^2} + \frac{2Ix}{u^2} e^{-\frac{u}{D_1}(x-l)} + \frac{4ID_1}{u^3} + C e^{\frac{u}{D_1}l} \right). \quad (2.188)$$

J_σ noma'lum funksiya uchun quyidagi yechimni olamiz:

$$J_\sigma = \int \left[\frac{2Ix}{u^2} + \frac{2I}{u^2} e^{\frac{u}{D_1}(x-l)} + \frac{4ID_1}{u^3} + C e^{\frac{u}{D_1}l} \right] dx + C_2, \quad (2.189)$$

$$J_\sigma = \frac{Ix^2}{u^2} + \frac{2I}{u^2} \left(\frac{D_1 x}{u} e^{\frac{u}{D_1}(x-l)} - \frac{D_1^2}{u^2} e^{\frac{u}{D_1}(x-l)} + \right.$$

$$+ \frac{4ID_l}{u^3}x + C \frac{D_l}{u} e^{\frac{u}{D_l}x} + C_2. \quad (2.190)$$

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'lchamsiz dispersiya $\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma_t^2}{t^2}$ quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma_t^2}{t^2} = 2 \left[\frac{D_l l u^2}{u^3 l^3} - \frac{D_l^2 u^2}{u^4 l^2} + \frac{D_l^2 u^2}{u^4 l^2} e^{\frac{ul}{D_l}} \right] =$$

$$= 2 \left[\frac{D_l}{ul} - \left(\frac{D_l}{ul}\right)^2 + \left(\frac{D_l}{ul}\right)^2 e^{-\frac{ul}{D_l}} \right] = \frac{2}{Pe^2} [Pe - 1 + e^{-Pe}]. \quad (2.204)$$

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:

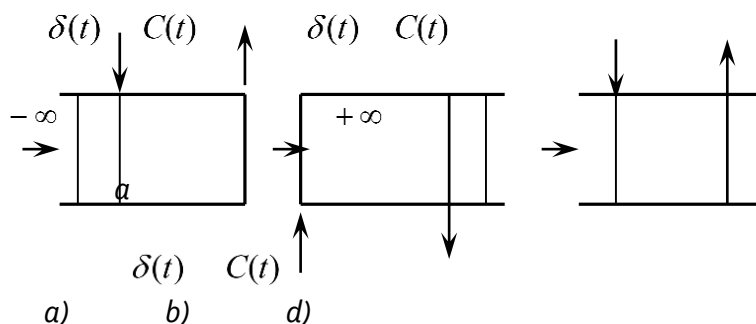
$$\tilde{C}(p) = \int_0^{\infty} C(\theta) d\theta - p \int_0^{\infty} \theta C(\theta) d\theta + \frac{p^2}{2} \int_0^{\infty} \theta^2 C(\theta) d\theta - \dots \quad (2.210)$$

Aytib o'tish kerakki:

$$\left[\frac{d\tilde{C}(p)}{dp} \right]_{p \rightarrow 0} = - \int_0^{\infty} \theta C(\theta) d\theta = -\bar{\theta} = -M_1, \quad (2.211)$$

$$\begin{aligned} \left[\frac{d^2\tilde{C}(p)}{dp^2} \right] &= \left[- \int_0^{\infty} e^{-p\theta} C(\theta) d\theta \right]_{p=0} = \left[- \int_0^{\infty} \theta^2 e^{-p\theta} C(\theta) d\theta \right]_{p=0} = \\ &= - \int_0^{\infty} \theta^2 e^{-p\theta} C(\theta) d\theta = M_2 \end{aligned} \quad (2.212)$$

Bu yerdan kelib chiqadiki, agar $\tilde{C}(p)$ funksiyasi 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).



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

$$uC - D_1 \frac{dC}{dx} = \frac{g}{F} \delta(t) \quad (2.214)$$

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:

$$\frac{d\bar{C}}{dp} = \frac{d\bar{C}}{dr^2} \frac{dr_2}{dx} \frac{dx}{dp}, \quad (2.232)$$

$$\frac{d\bar{C}}{dp_2} = \frac{Pe e^{r_2} (Pe - r_2) + Pe e^{r_2}}{(Pe - r_2)^2}, \quad (2.233)$$

$$\frac{dx}{dp} = Pe; \quad \frac{dr_2}{dx} = -\frac{1}{2\sqrt{x}}, \quad (2.234)$$

$$\left. \frac{d\bar{C}}{dp} \right|_{p=0} = \left(1 + \frac{1}{Pe}\right) \left(-\frac{1}{Pe} Pe\right) = -1 - \frac{1}{Pe}. \quad (2.235)$$

(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:

$$\left(\frac{dx}{dp}\right)^2 = Pe^2; \quad \frac{d^2x}{dp^2} = \frac{1}{4x\sqrt{x}}; \quad \frac{dr}{dx} = \frac{1}{2\sqrt{x}}; \quad \left(\frac{dr}{dx}\right)^2 = \frac{1}{4x} \quad (2.243)$$

$r \rightarrow 0$ 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:

$$- \int_0^1 \theta^2 d(1 - F) = 2 \int_0^{\infty} (1 - F) d\theta. \quad (2.253)$$

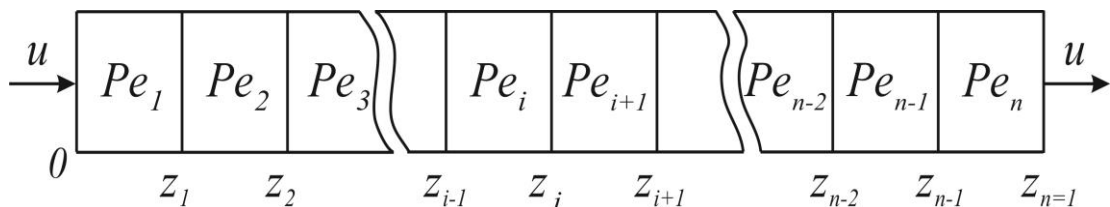
Javob funktsiyaning dispersiyasi quyidagiga teng:

$$\sigma_{\theta}^2 = 2 \int_0^{\infty} \theta(1 - F) d\theta - \theta^2. \quad (2.254)$$

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. Impulsli 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:

$$\frac{1}{Pe_1} \left(\frac{dC}{dz} \right)_0 - C_0 = 0,$$

$$\frac{1}{Pe_1} \left(\frac{dC}{dz} \right)_{z_1} - C_{z_1}^- = \frac{1}{Pe_2} \left(\frac{dC}{dz} \right)_{z_1}^+ - C_{z_1}^+,$$

$$C_{z_1}^- = C_{z_1}^+,$$

.....

$$\frac{1}{Pe_k} \left(\frac{dC}{dz} \right)_{z_k}^- - C_{z_k}^- = \frac{1}{Pe} \left(\frac{dC}{dz} \right)_{z_k}^+ - C_{z_k}^+,$$

$$C_{z_k}^- = C_{z_k}^+,$$

.....

$$\frac{1}{Pe_{n-1}} \left(\frac{dC}{dz} \right)_{z_{n-1}}^- - C_{z_{n-1}}^- = \frac{1}{Pe_n} \left(\frac{dC}{dz} \right)_{z_{n-1}}^+ - C_{z_{n-1}}^+,$$

$$C_{z_{n-1}}^- = C_{z_{n-1}}^+,$$

$$\left(\frac{dC}{dz} \right)_{z=l} = 0. \quad (2.256)$$

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

$$B_k = 2A_k z_k - (2A_{k+1} z_k - B_{k+1}) e^{z_k (Pe_{k+1} - Pe_K)} + \left(a_{K+1} - \frac{4z_k}{Pe_k} - \frac{4}{Pe_k^2} + \frac{4z_k}{Pe_{k+1}} + \frac{4}{Pe_{k+1}^2} \right) e^{-Pe_K z_k}; \quad (2.262)$$

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:

$$\Delta \sigma^2 = \sigma_{z_K}^2 - \sigma_{z_{K-1}}^2 = \frac{2(z_K - z_{K-1})}{Pe_K} + (4A_K z_{K-1} + \frac{2A_K}{Pe_K} - B_K) * \quad (2.264)$$

$$* e^{Pe_K z_{K-1}} - (4A_K z_K + \frac{2A_K}{Pe_K} - B_K) e^{Pe_K z_K} + A_K^2 (e^{2Pe_K z_{K-1}} - e^{2Pe_K z_K}).$$

(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:

$$\Delta \sigma^2 = \Delta \sigma_{z=1}^2 - \Delta \sigma_{n-1}^2 = \frac{2(1 - z_{n-1})}{Pe_n} - \frac{5}{Pe_n^2} + \quad (2.265)$$

$$+ \left[\frac{4(1 - z_{n-1})}{Pe_n} + \frac{4}{Pe_n^2} \right] e^{-Pe_n(1-z_{n-1})} + \frac{e^{-Pe_n(1-z_{n-1})}}{Pe_n^2}$$

(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:

$$\sigma_1^2 = \frac{2(1 - z_1)}{Pe_2} - \frac{2}{Pe_2^2} + \frac{2}{Pe_1} \left(z_1 + \frac{1}{Pe_2} \right) - \frac{2}{Pe_1^2} + \left(\frac{1}{Pe_1} - \frac{1}{Pe_2} \right) * \quad (2.267)$$

$$* \frac{2e^{-Pe_1 z_1}}{Pe_1} + \left(\frac{1}{Pe_2} - \frac{1}{Pe_1} + \frac{e^{-Pe_1 z_1}}{Pe_1} \right) \frac{2e^{-Pe_2(1-z_1)}}{Pe_2}.$$

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

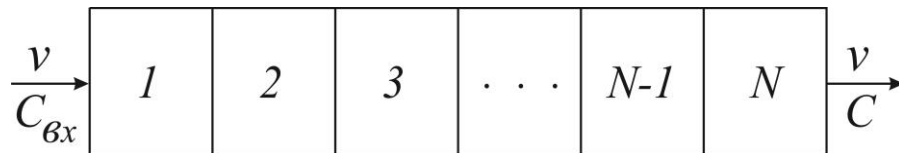
$$C_1 = \sigma_1^2 + \frac{2}{Pe_2^2} - \frac{2(1 - z_1)}{Pe_2}. \quad (2.269)$$

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):

$$\begin{aligned}
vC_{kir} - vC &= V_{ya} \frac{dC_1}{dt}, \\
vC_1 - vC_2 &= V_{ya} \frac{dC_2}{dt}, \\
\dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots & \\
vC_{j-1} - vC_j &= V_{ya} \frac{dC_j}{dt}, \\
\dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots & \\
vC_{n-1} - vC_n &= V_{ya} \frac{dC_n}{dt}.
\end{aligned}
\tag{2.270}$$

(2.270) tenglamalarning chap va o‘ng qismlarini v ga bo‘lib, quyidagini olamiz:

$$\begin{aligned}
C_{kir} C_1 &= \bar{t} \frac{dC_1}{dt}, \\
C_1 - C_2 &= \bar{t} \frac{dC_2}{dt}, \\
\dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots & \\
C_{j-1} - C_j &= \bar{t} \frac{dC_j}{dt}, \\
\dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots & \\
C_{N-1} - C_N &= \bar{t} \frac{dC_N}{dt}.
\end{aligned}
\tag{2.271}$$

(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.

Birinchini 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:

$$\frac{dC_2}{dt} = A_t^1 e^{-t/\bar{t}} + A \left(-\frac{1}{t}\right) e^{-t/\bar{t}}, \quad (2.283)$$

$$\bar{t} \left[A_t^1 e^{-t/\bar{t}} - \frac{A(t)}{\bar{t}} e^{-t/\bar{t}} \right] + A(t) e^{-t/\bar{t}} = C_N e^{-t/\bar{t}}. \quad (2.284)$$

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

$$K=S_b. \quad (2.289)$$

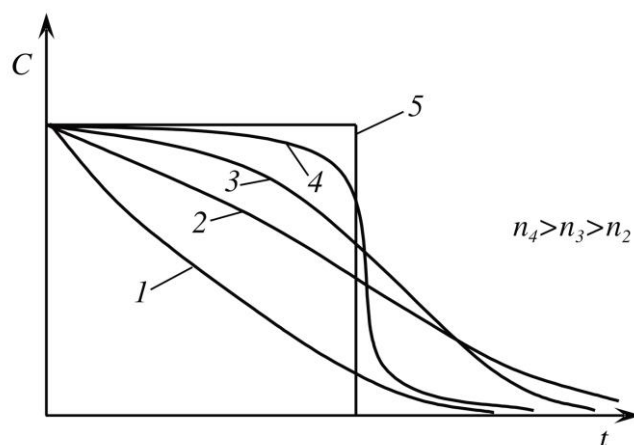
Shunday qilib, ikkinchi yacheykani chiqishida javob quyidagi ko‘rinishga ega:

$$C_2 = C_b \left[1 + \left(\frac{t}{\bar{t}}\right) \right] e^{-t/\bar{t}} \quad (2.290)$$

Uchinchi, to‘rtinchi, ..., N – yacheykalar uchun o‘xshash fikrni davom ettirib, konsentratsiyani sakrash ko‘rinishida 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:

$$C_b e^{-t/\bar{i}} - C_2 = \bar{i} \frac{dC_2}{dt}. \quad (2.298)$$

Avval o‘zgaruvchilarini ajratgandan so‘ng (2.300) ko‘rinishni qabul qiluvchi mos bir jinsli tenglamani yechamiz:

$$\bar{i} \frac{dC_2}{dt} + C_2 = 0, \quad (2.299)$$

$$C_2 = A(t) e^{-t/\bar{i}}. \quad (2.300)$$

$A(t)$ noma'lum ko‘paytuvchini topish uchun (2.300) ning yechimini (2.298) boshlang‘ich tenglamaga qo‘yamiz:

$$t \left[A_t e^{-t/\bar{i}} - \frac{A(t)}{\bar{i}} \right] + A e^{-t/\bar{i}} = C_b e^{-t/\bar{i}} \quad (2.301)$$

(2.301) tenglamadagi o‘xshash a’zolarini keltirgandan keyin $A(t)$ ga nisbatan birinchi tartibli differensial tenglamaga kelamiz:

$$\bar{i} \frac{dA(t)}{dt} = C_b. \quad (2.302)$$

Uning yechimi quyidagiga teng:

$$A(t) = \frac{C_b}{\bar{i}} t + K. \quad (2.303)$$

(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:

$$C_2 = C_b \frac{t}{\bar{i}} e^{-t/\bar{i}}. \quad (2.304)$$

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:

$$(C_{kir} - C_1) = Ke^{-t/\bar{t}}. \quad (2.310)$$

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:

$$C_{kir} (1 - e^{-t/\bar{t}}) - A(t)e^{-t/\bar{t}} = \bar{t} \left[A'(t)e^{-t/\bar{t}} - \frac{A(t)}{t} e^{-t/\bar{t}} \right]. \quad (2.315)$$

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:

$$A(t) = \frac{C_{kir}}{e} (\bar{t} e^{t/\bar{t}} - t) + K. \quad (2.317)$$

(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:

$$C(\theta) = 1 - \left[1 + N\theta + \frac{N^2\theta^2}{2} + \frac{N^3\theta^3}{3!} + \dots + \frac{N^{N-1}\theta^{N-1}}{(N-1)!} \right] e^{-N\theta}. \quad (2.322)$$

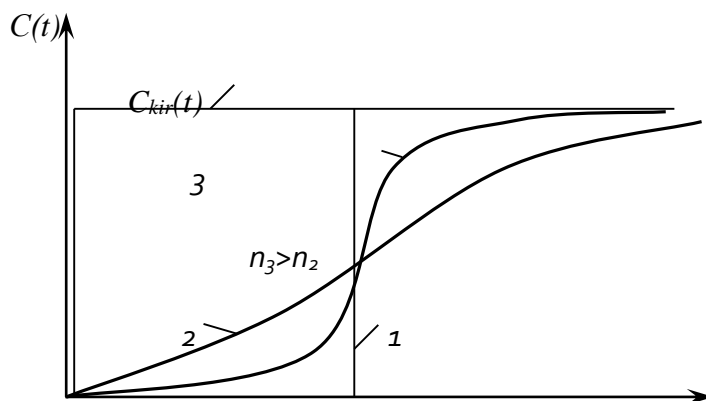
2.22-rasmda turli yacheykalar soni uchun pog'onali g'alayonga chiqish konsentratsiyasining bog'liqligi ko'rsatilgan.

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:

$$I(\theta) = \left[1 + N\theta + \frac{1}{2} N^2\theta^2 + \dots + \frac{N^{N-1}\theta^{N-1}}{(N-1)!} \right] e^{-N\theta}. \quad (3.324)$$



2.22-1

avobi:

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 kelimiz:

$$(W(p) = W_1(p)W_2(p)\dots W_N(p) = \prod_{i=1}^N W_i(p). \quad (2.330)$$

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:

$$M_2^t = W_p''(p=0) = N(N+1)(1+\bar{t}p)^{-N-2} \bar{t}^{-2} \Big|_{p=0} =$$

$$= N(N+1)\bar{t}^{-2} = N^2\bar{t}^{-2} + N\bar{t}^{-2} = \bar{t}_y^{-2} \left(1 + \frac{1}{N}\right). \quad (2.340)$$

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; tarekali kolonnalar; soxta suyultirilgan qatlamli apparatlar; nasadkali kolonnalar
4.	Retsirkulatsionli model	Asosiy oqimining yo'nalishiga teskari tomonga moddani tashlovchi tarekali, 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 chizig‘i deganda nimani tushunasiz?
11. F- egri chiziqning boshlang‘ich momentlari qay tarzda hisoblanadi?
12. Kanday 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.

3-Мавзу: Оптималлаштириш масаласининг қўйилиши. Автоматик бошқариш системаларининг оптималлик мезонлари

Режа:

- 3.1. Optimallashtirish masalasining qo'yilishi
- 3.2. Optimallashtiriladigan o'zgaruvchilarning tavsifi
- 3.3. Optimallashtirish usullarining tafsiflanishi
- 3.4. Optimallashtirishning tajribaviy - statistik usuli
- 3.5. 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) $\bar{u}^{rux.et.}$ ta'rifining ruxsat etilgan sohasidagi, optimallik mezonining ekstremum (eng katta yoki eng kichik) kattaliklarini ta'minlovchi qiymatini topish lozim.

Natijada optimallashtirish masalasini quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

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

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

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

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

Natijada optimallashtirish masalasi quyidagi ko'rinishda keltiriladi:

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

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

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

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

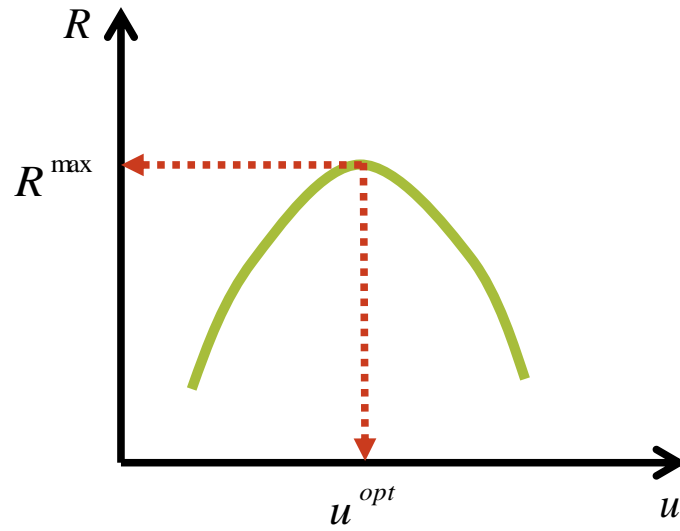
Matematik modellar ushbu holda funksional operatorli aks ettirish yordamida ifodalanadi:

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

\bar{y} chiqish o'zgaruvchilarining vektorini matematik modellar bo'yicha hisoblashda olingan \bar{y} chiqish o'zgaruvchilari baholarining vektoriga almashtirish optimallashtirish masalasiga xuddi kompyuterda ko'p o'zgaruvchili funksiyalarning ekstremumlarini qidirishning matematik masalalari kabi qarash imkonini beradi.

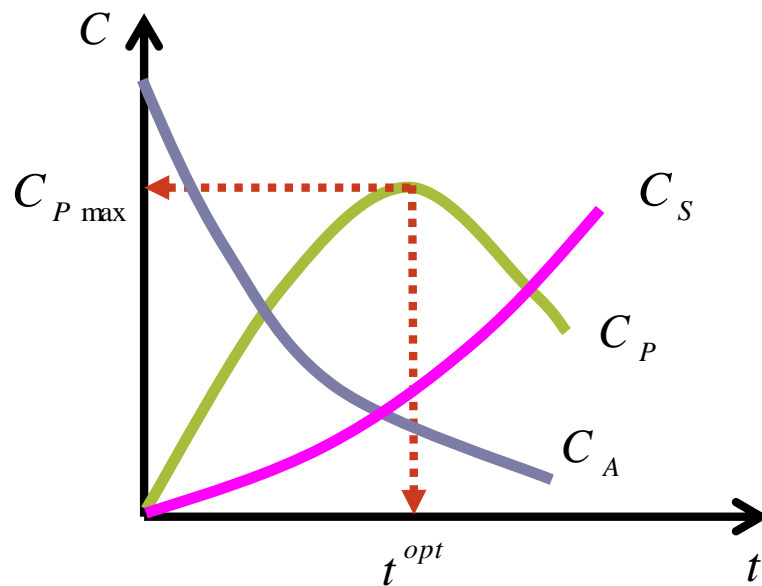
Masala: $R = R(u)$ funksiyaning maksimumini aniqlash

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



Misol:

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



Optimallashtirish masalasini yechish uchun quyidagilar zarur:

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

Optimallik mezoni jarayon shakllanishi sifatining miqdoriy tavsifi hisoblanadi.

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

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

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

Optimallik mezonlariga qo'yiladigan talablar:

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

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

3.2. Optimallashtiriladigan o'zgaruvchilarning tavsifi

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

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

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

3.3. Optimallashtirish usullarining tafsiflanishi

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

V zavisimosti ot xarakteru funktsii i oblasti opredeleniya reshat mnogomernye zadachi minimizatsii mojno *analiticheski* (tochno) libo odnim iz *chislennyyx* metodov (s zadannoy pogreshnostyu).

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

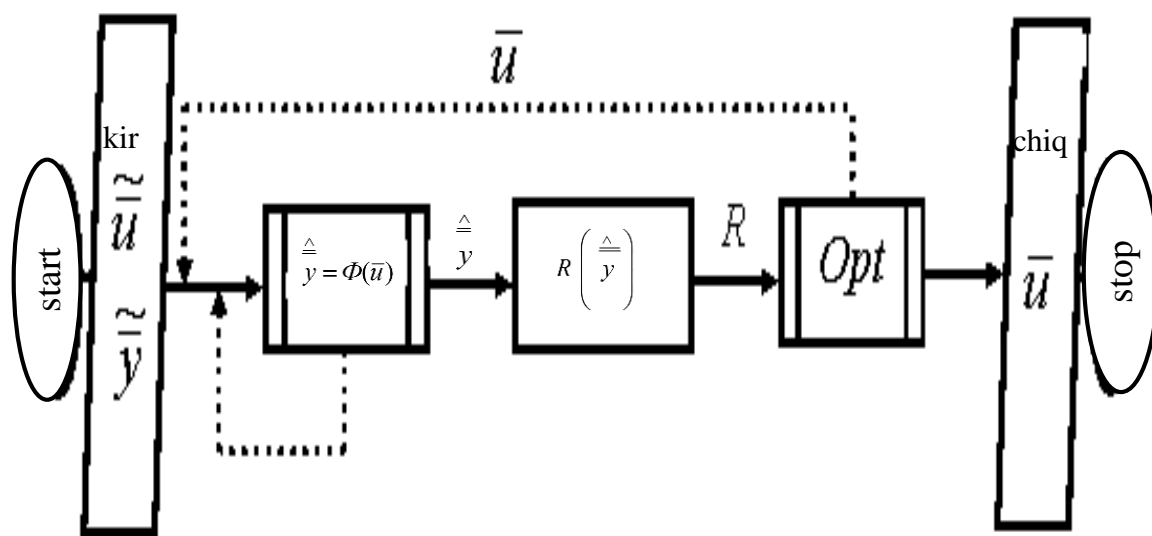
Pri *nalichii ogranicheniy* zadachi i metody nazyvayutsya *uslovnymi* (inache – s usloviyami). Dlya chislennogo resheniya zadach s *ogranicheniyami* ispolzuyutsya metody *matematischeskogo programmirovaniya*.

Dlya resheniya *bezuslovnnyx* 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 uslovnnyx 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. Osnovnyximi metodami yavlyayutsya *chislennyye*, 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 mezoni) larning tajriba yo'li bilan aniqlanadigan qiymatlari ma'lum bo'ladi.

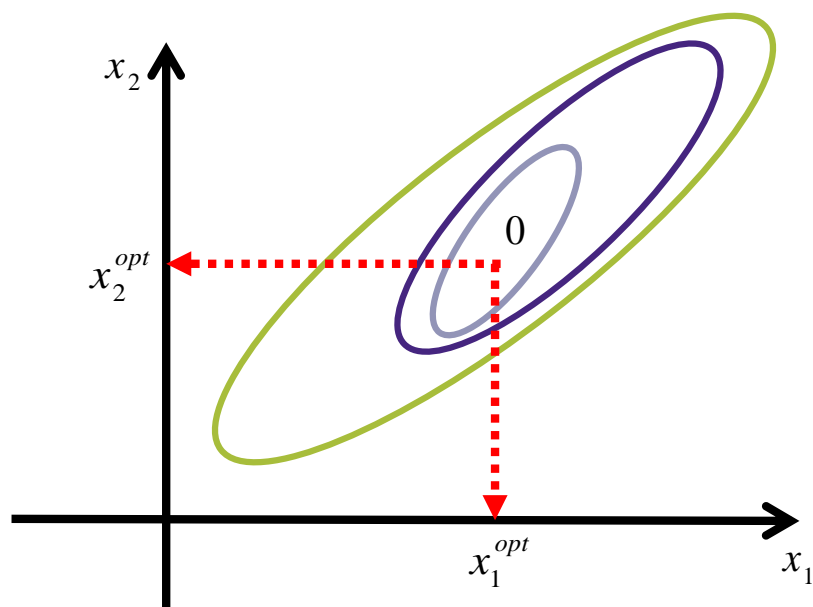
Optimallashtirish masalalarining ifodalanishi:

$$\begin{aligned} \text{opt } y(\bar{x}) \\ \bar{x} \in \bar{X}^{\text{mux}} \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} f(x) &\rightarrow \min; \\ x &\in [a, b]. \end{aligned}$$

Global minimum

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

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

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

Lokal optimum

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

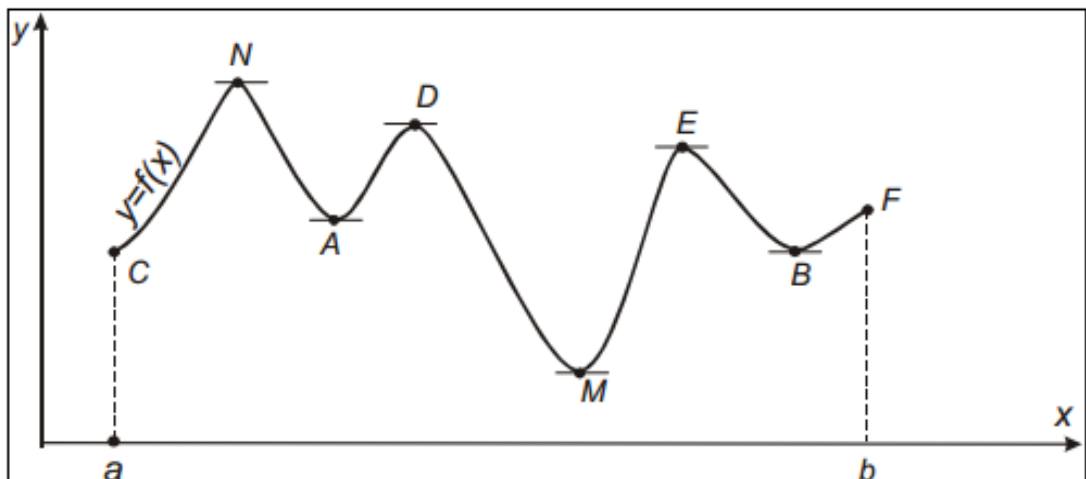
4.1 rasmda A va V nuqtalar - lokal optimumlar.

x^* nuqtadagi bir o'zgaruvchan optimumining zarur sharti

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

x^* nuqtadagi bir o'zgaruvchan optimumining etarli sharti

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

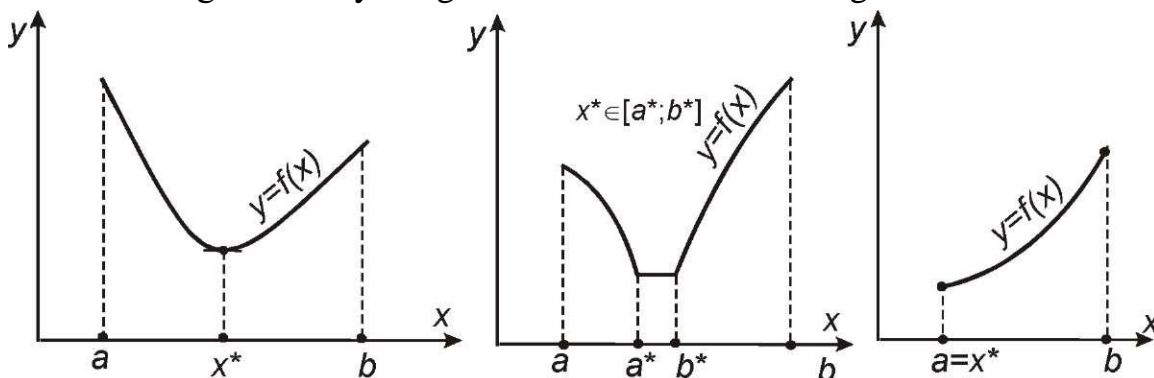


4.1 rasm. A va V nuqtalar - lokal optimumlar

Unimodal funksiyalar

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

Agar x^* chap tomonida x ning oshishi bilan funksiya $f(x)$ monoton ravishda kamayib, o'ng tomonida esa - monoton ravishda oshib borsa, demak funksiya $f(x)$ unimodal deb ataladi. 4.2 rasmda unimodal funksiyalarning grafiklari keltirilgan. Unimodal bo'lmagan funksiyaning misoli 4.1. rasmda keltirilgan.



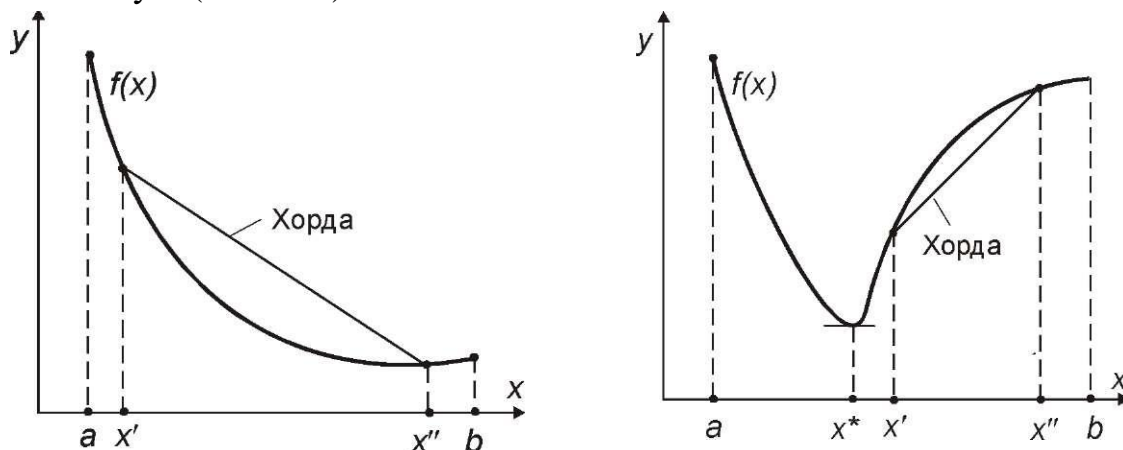
Rasm. 4.2. Unimodal funksiyalarning grafiklari

Qavariq funksiyalar

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.

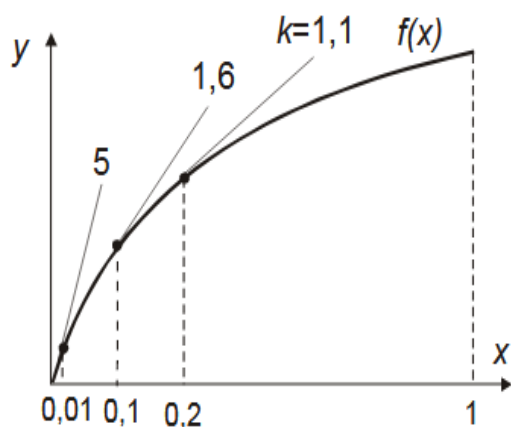
Uslovie (4.4) oznachaet, chto modul uglovogo koeffitsienta lyuboy xordy grafika ne prevosxodit L . Krome togo, esli v nekotroy tochke sushchestvuet kasatelnaya k grafiku $f(x)$, to modul ee uglovogo koeffitsienta takje ne mojet prevyshit L . Tak, funksiya $f(x) = \sqrt{x}$ na otrezke $[0; 1]$ usloviyu 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.

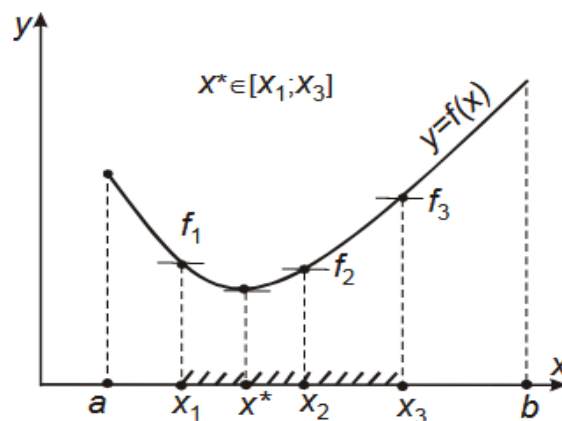
Raqamli usul yordamida (optimumni) **qidigish strategiyasi** – bu funkiya qiymatlari ketma-ket hisoblanadigan $[a, b]$ dagi nuqtalarni tanlash algoritmidir. Berilgan aniqlikda funksiyaning hisoblashning eng kam miqdorini talab qiladigan eng yaxshi strategiya deb xisoblanadi. Turli usullar turlicha strategiyaga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

Sonlarning “muvaffaqiyatli” uchligi usuli

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



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



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

3.5.2. Bir o‘lchamli optimallashtirishning raqamli usullarining sinflanishi

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

Bevosita usullarning afzalliklari:

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

Bevosita usullarning kamchiliklari:

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

Bevosita usullar:

- saralash usuli;
- razryad bo‘yicha qidirish usuli;
- kesmalarni ayrboshlash usuli;
- parabollalar usuli va h.k.

Kesmalarni ayrboshlash usullari:

- dixotomiya usuli (kesmani ikkiga bo‘lishning birinchi usuli);

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

Funksiyaning hosilasidan foydalanadigan usullar:

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

3.5.3. Kesmalarni ayrboshlash usullari:

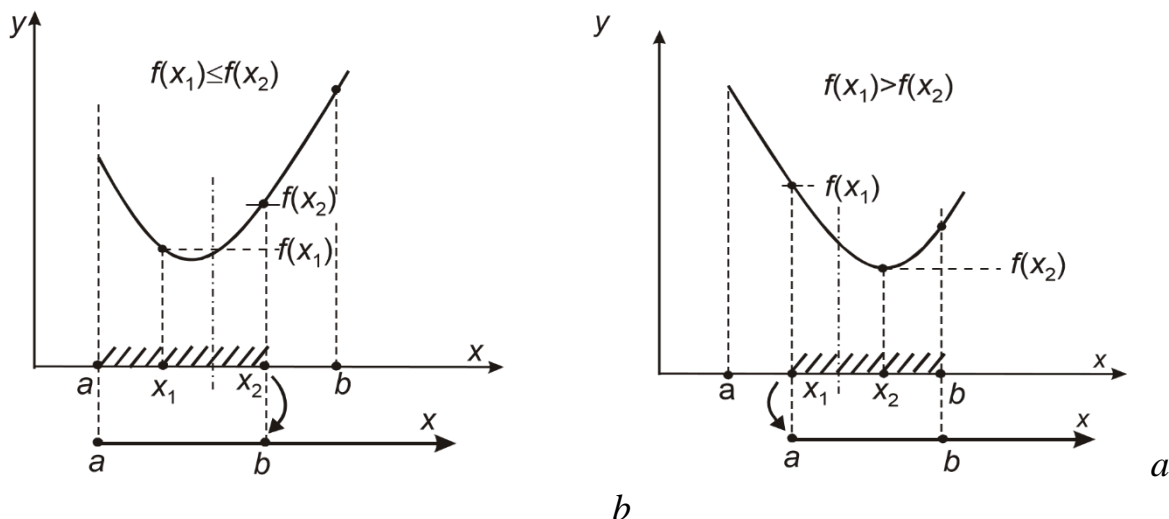
Kesmalarni ayrboshlashning barcha usullari quyidagi algoritm bo‘yicha ishlaydilar: $[a, b]$ da unimodal bo‘lgan funksiya $f(x)$ uchun har bir iteratsiyada $a < x_1 < x_2 < b$ tengsizlik bajarilishi uchun x_1 va x_2 nuqtalari aniqlanadi. x_1 va x_2 nuqtalarini “sinov” nuqtalari deb nomlaydilar. Ushbu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

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

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

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

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



4.7. rasm- Kesmalarni ayrboshlash usullarining grafik ko‘rinishi

4.5.4. Matematik tahlil usuli (klassik usul)

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

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

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

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

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

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

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

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

$$2. \text{ Statsionar nuqtalar: } x_1 = -1; \quad x_2 = 1.$$

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.

Stasionar 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 – funqsiyani 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.

Funksiyani 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.

Algoritmgaga 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:

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

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

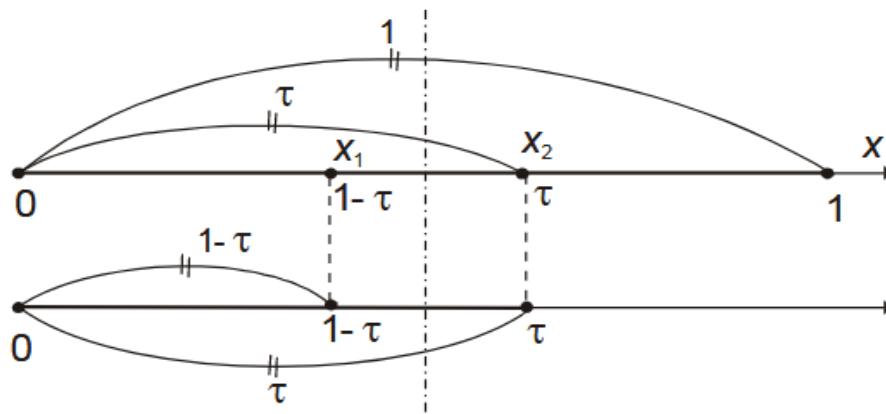
$[0;1]$ kesmani ko'rib chiqamiz (4.8 rasm.). Pust x_2 nuqtasi uni ma'lum bir son τ ga nisbatan bo'lsin, ya'ni $x_2 = \tau$, unda unga simmetrik joylashgan nuqta $x_1 = 1 - \tau$. $a = 0$; $b = 1$ hamda x_1 i x_2 qiymatlarni (4.7) ga quyamiz:

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

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

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

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

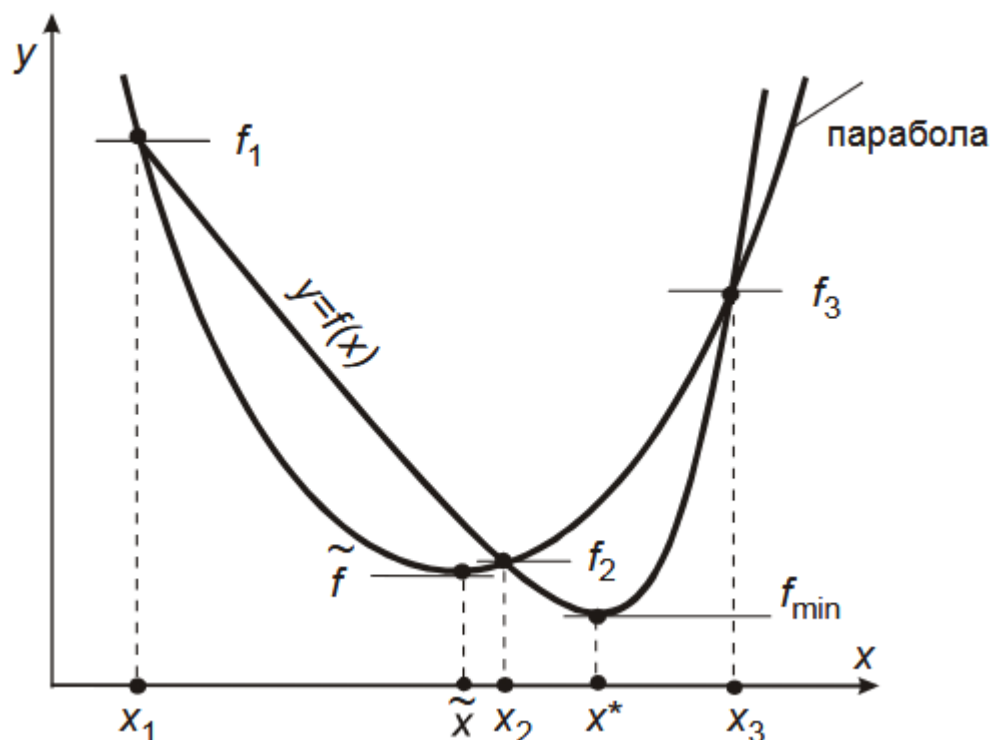


4.8. rasm-.- x_1 va x_2 nuqtalar bilan birlik kesmaning «oltin» kesimi

3.5.8. Parabolalar usuli

Polinomial 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 (parabolasi) ga ega kvadrat uchhad quriladi. Parabolaning optimum nuqtasi \tilde{x} o‘rganayotgan funksiya optimumi nuqtasining navbatdagi yaqinlashuvidir (4.9. rasm).



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

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

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

$f(x)$ 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.

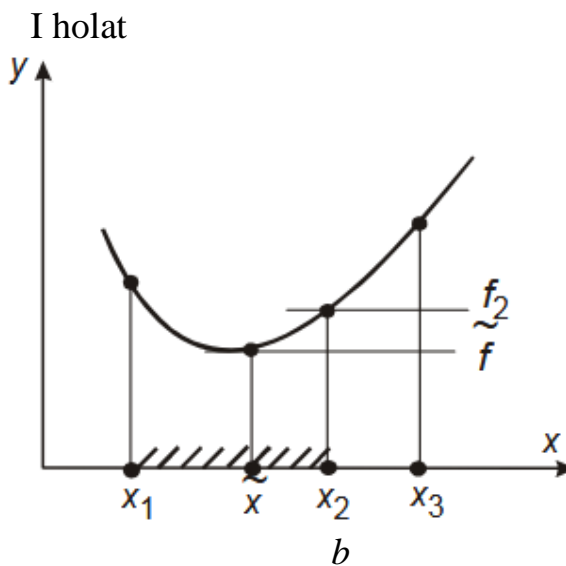
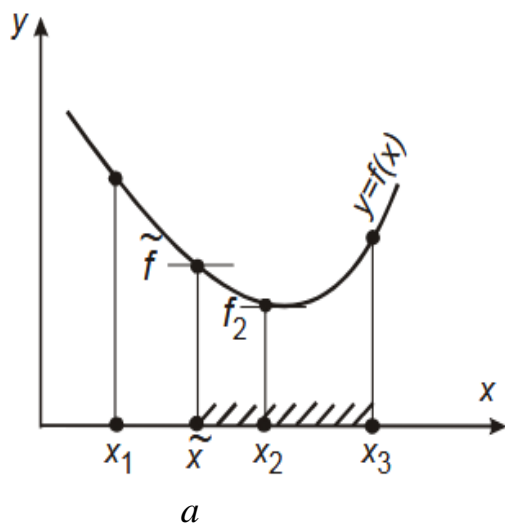
Quyidagi ayirmaning nolga yaqinligi qidiruvning yakunini belgilaydi

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

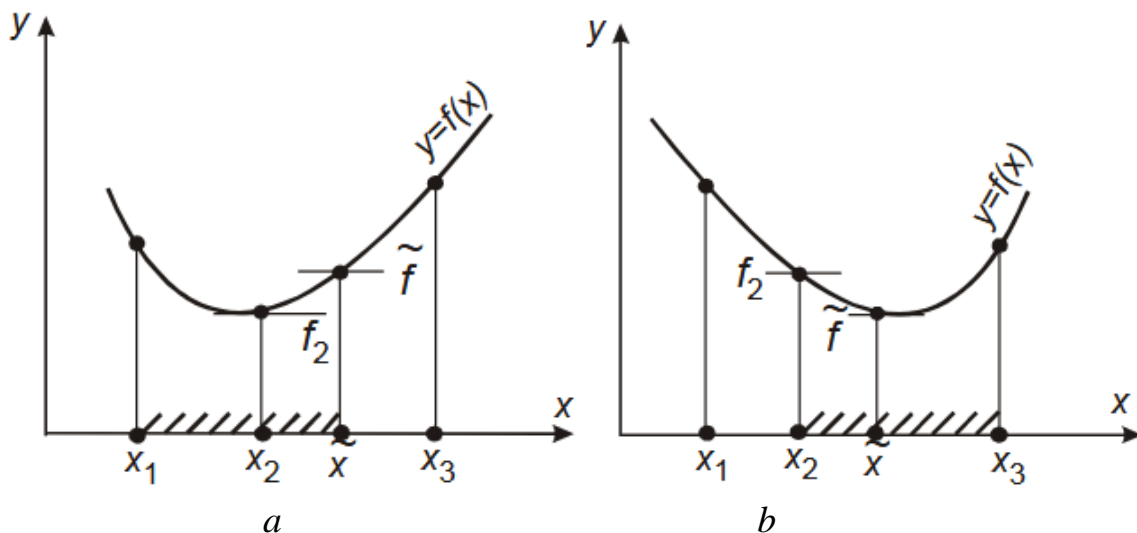
\tilde{x} – shu va oldingi iteratsiyada olingan sonlar ayirmasi, ya'ni tengsizlik

$$\Delta \leq \varepsilon,$$

bu erda ε – hisoblash hatoligi.



II holat



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 oatiimallashtirish 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 differetsiallanishini 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, birlashtirilgan 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 differensiallash

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‘shishi yo‘nalishini* ko‘rsatadi, uning normasi esa ushbu o‘shishning *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:

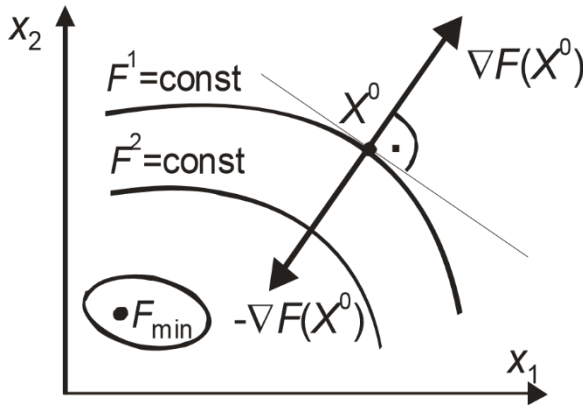
$$x_1^1 = x_1^0 + \frac{\partial F(x^0)}{\partial x_1};$$

$$x_2^1 = x_2^0 + \frac{\partial F(x^0)}{\partial x_2};$$

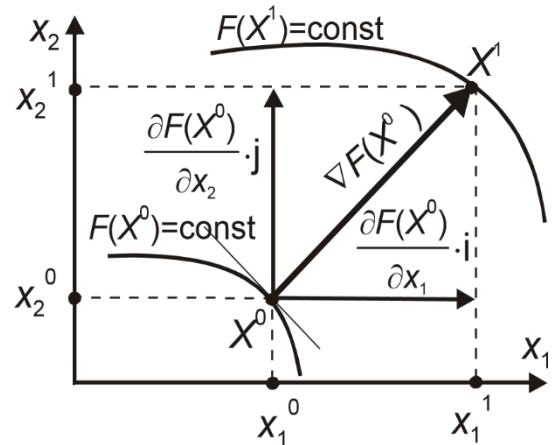
...

$$x_n^1 = x_n^0 + \frac{\partial F(x^0)}{\partial x_n};$$

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-rasmida 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 quyidagiga 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 quyidagicha

$$d^2 F(X^0) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 F(X^0)}{\partial x_i \partial x_j} \cdot \Delta x_i \cdot \Delta x_j \quad (4.15)$$

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 differensiallashtirish).* 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 differensiallashtirishda 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

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_1} = 0; \\ \frac{\partial F(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_2} = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_n} = 0. \end{array} \right.$$

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‘zgaruvchanning *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 modeli 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

$$F(X^{k+1}) < F(X^k).$$

Iteratsion formula

$$X^{k+1} = X^k - h^k \cdot d^k.$$

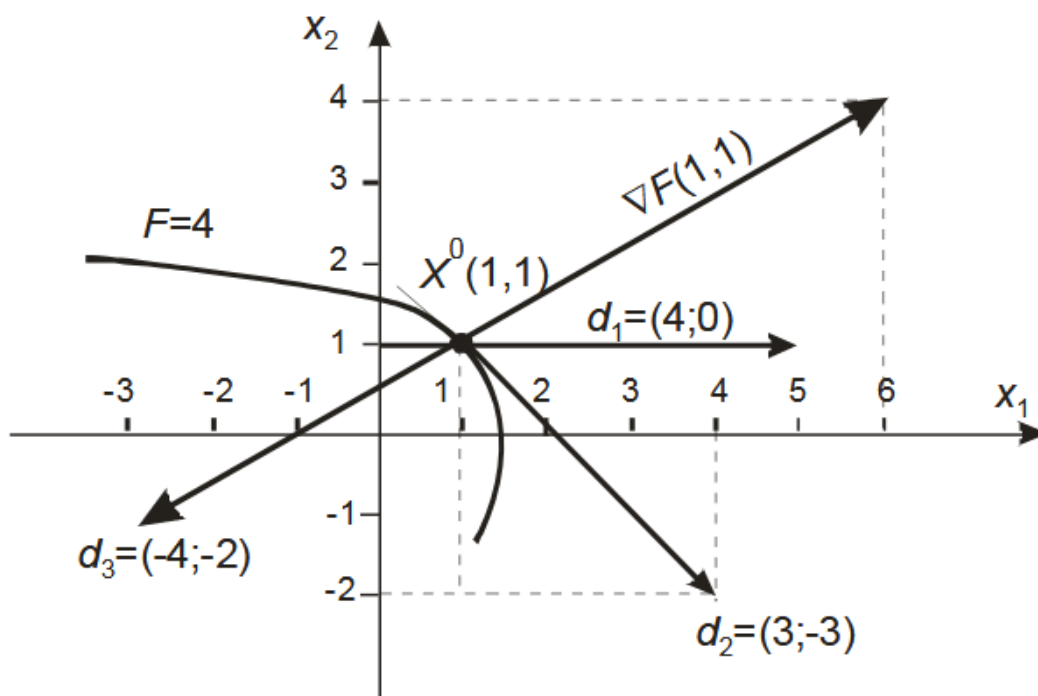
4 qadam. Echim bahosini qayta hisoblash:

$$X^k = X^{k+1};$$

$$F(X^k) = F(X^{k+1});$$

$$k = k + 1.$$

1 qadamga qaytish.



4.13-rasm. $X^0(1,1)$ nuqtada $F = 2x_1^2 + x_2^2 + x_1 \cdot x_2$ 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_ρ , 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.

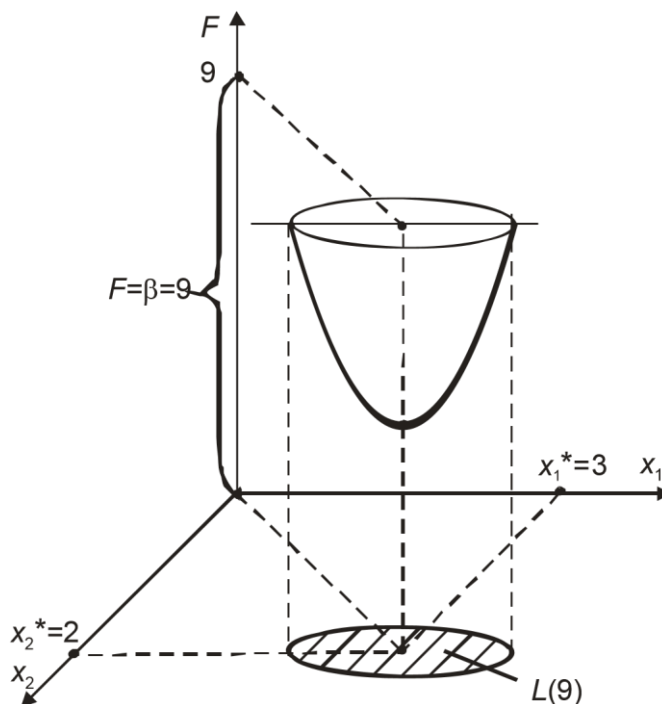
4. Sath ko'pligi $L(F(X^0))$ berk va chegaralangan (X^0 – tushishning boshlang'ich nuqtasi).

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 differensiallanishini 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:

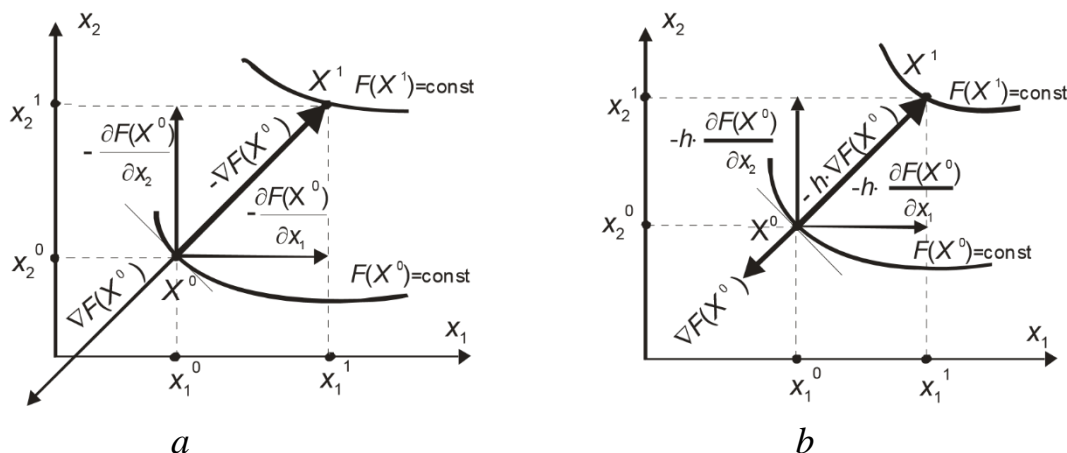
$$\frac{\partial F X^0}{\partial x_1}, \frac{\partial F X^0}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial F X^0}{\partial x_n}. \quad (4.24)$$

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 uzunligig bo‘yicha (a) va ma’lum bir qadam $h > 1$ (b) bilan o‘tishi

2 masala. Tushish yo‘nalishida qadam tanlash

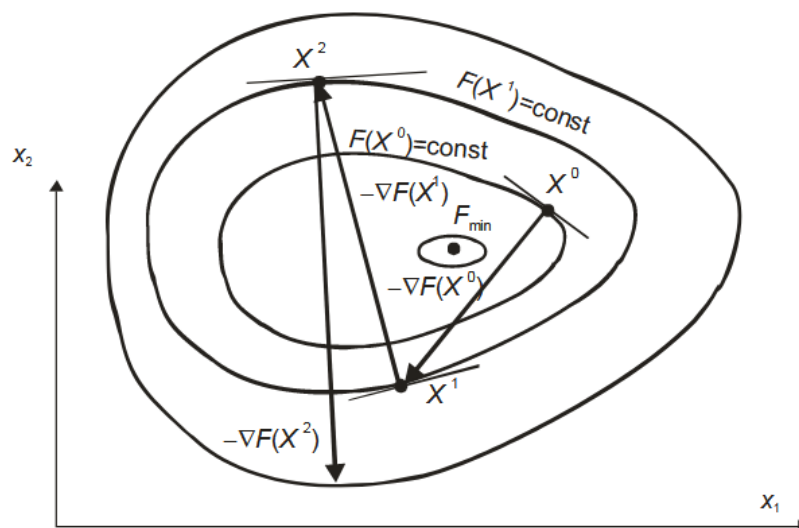
Antigradient bo‘ylab vektorning to‘liq uzunligig bo‘ylab o‘tishi optimallashtirish jarayonining tutashishmasligiga olib kelishi mumkin. Tushishning so‘ngi nuqtasidagi funksiya qiymati har bir iteratsiyada uning dastlabki nuqtadagi qiymatidan oshmasligi uchun qadamni antigradient yo‘nalishida o‘zgartirish 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-gradientini $\nabla F(X)$ aniqlanadi va antigradient yo'nalishida ushbu yo'nalishda maqsadli funksiya minimal qiymatga ega bo'lga nuqtasigacha 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'nalishda optimal qadam h^* aniqlanadi.

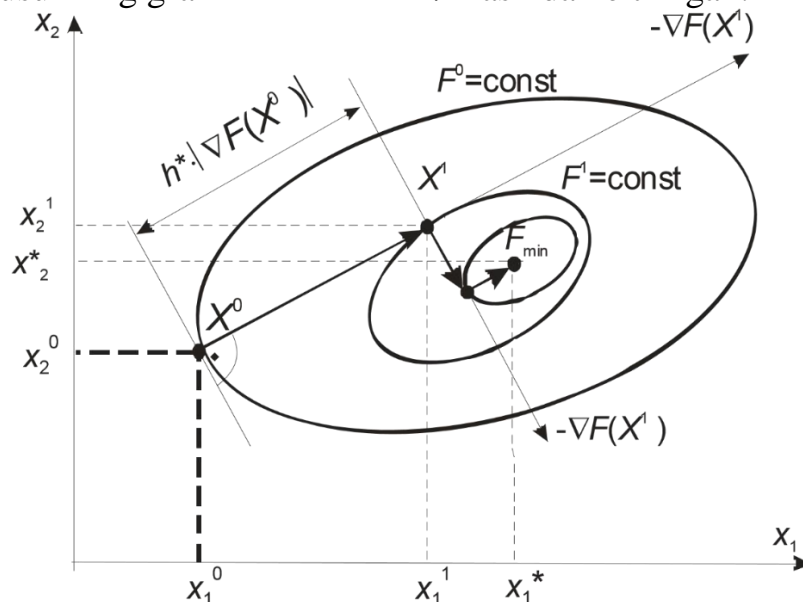
h ning optimaldan h^* birinchi yoki ikkinchi tomonga og'ishida (masalan, Δh qiymatga) vektor-antigradient $-\nabla F(X^k)$ yo'nalishida maqsadli funksiyaning qiymati oshadi:

$$F(X^j) > F(X^k - h^* \cdot \nabla F(X^k)),$$

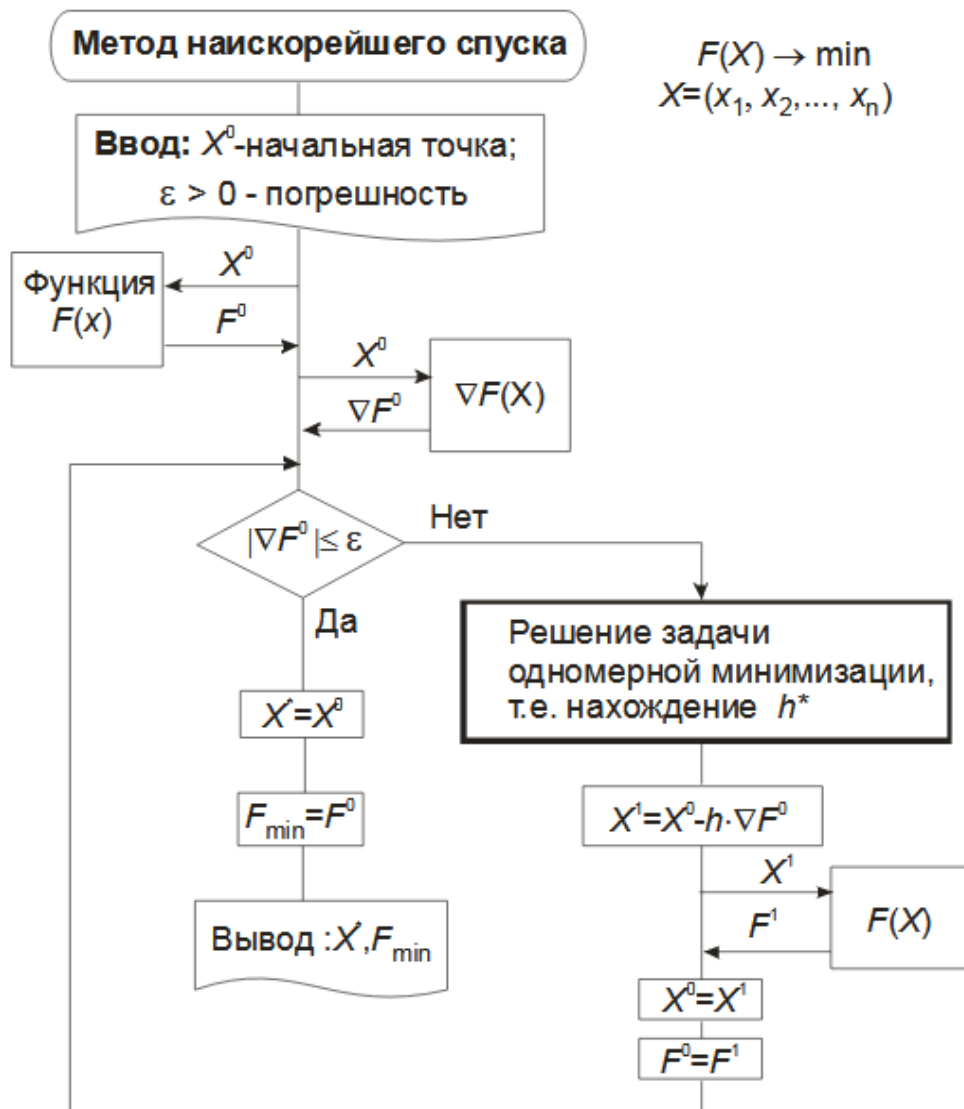
bu erda

$$X^j = X^k - (h^* \pm \Delta h) \cdot \nabla F(X^k).$$

Eng tez tushish usulining grafik ko'rinishi 4.7- rasmda keltirilgan.



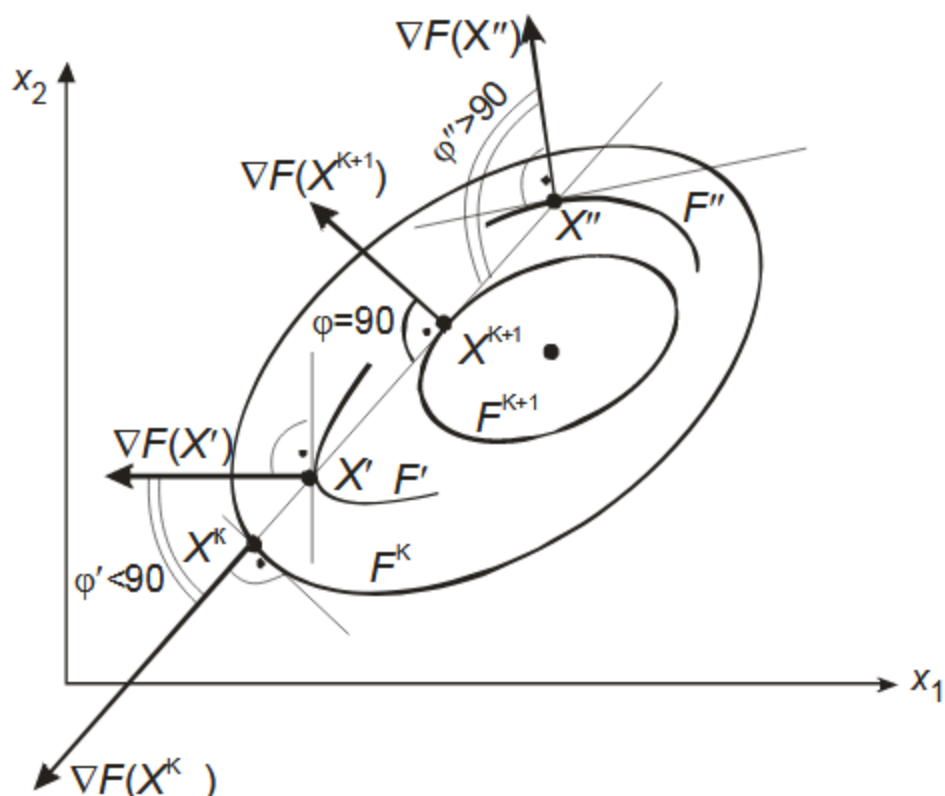
4.17- rasm. Eng tez tushish usulining grafik ko'rinishi



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

$$S = |\nabla F(X^k)| \cdot |\nabla F(X^{k+1})| \cdot \cos \phi,$$

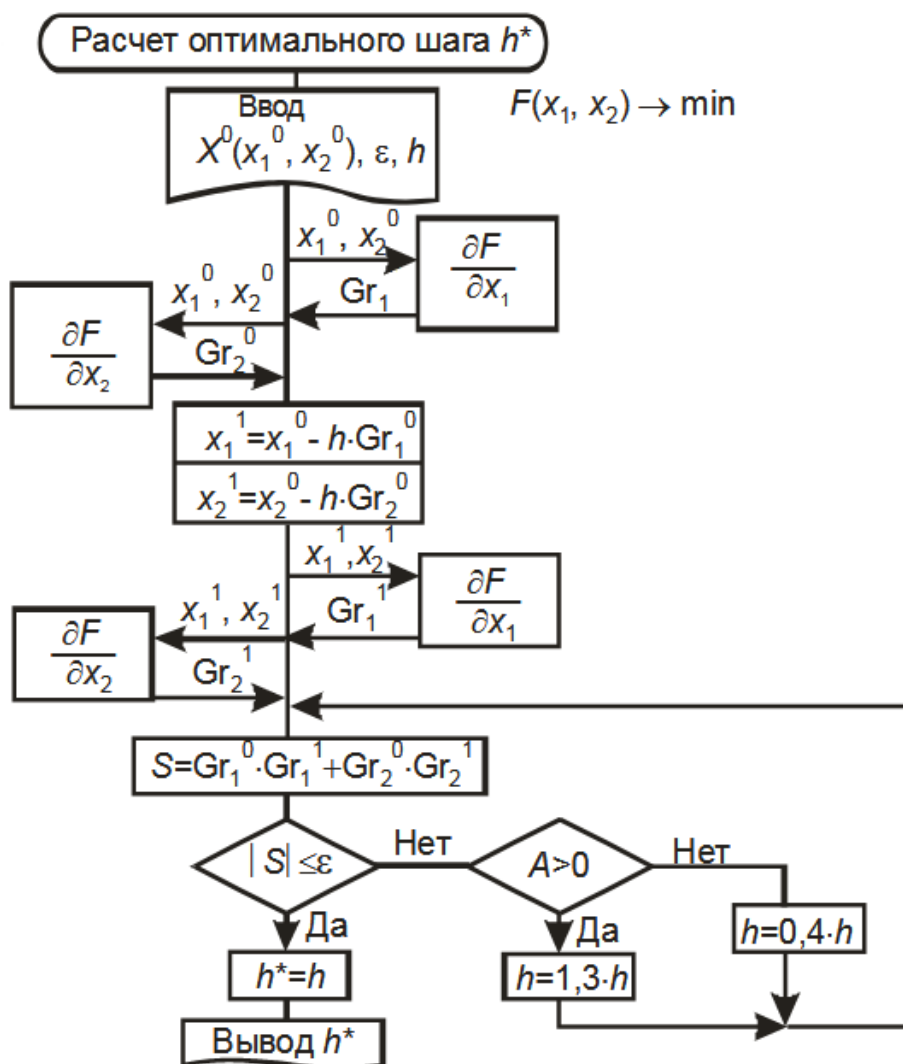
bu erda

$$|\nabla F(X^k)| = \sqrt{\left(\frac{\partial F(X^k)}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial F(X^k)}{\partial x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F(X^k)}{\partial x_n}\right)^2};$$

$$|\nabla F(X^{k+1})| = \sqrt{\left(\frac{\partial F(X^{k+1})}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial F(X^{k+1})}{\partial x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F(X^{k+1})}{\partial x_n}\right)^2};$$

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 nuqta koordinatalari:

$$x_1^1 = 4 \cdot h^* = 4 \cdot 0,2097 = 0,8387;$$

$$x_2^1 = 6 \cdot h^* = 6 \cdot 0,2097 = 1,2582.$$

$$X^1 = (0,8387, 1,2582).$$

Funksiya qiymati $F(X^1) = 1,5486$.

2 Iteratsiya

$$X^1 = (0,8387; 1,2582);$$

$$F(X^1) = 1,5486;$$

$$\nabla F(X^1) = (-2,323; 1,549);$$

$$x_1^2 = 0,8387 \cdot h;$$

$$x_2^2 = 1,258 - 1,549 \cdot h.$$

$$\varphi(h) = F(x_1^2; x_2^2) = (0,8387 + 2,323 \cdot h - 2)^2 + 3 \cdot (1,258 - 1,549 \cdot h - 1)^2 = 12,59 \cdot h^2 - 7,792 \cdot h + 1,548;$$

$$\varphi'(x) = 25,19 \cdot h - 7,792 = 0; h^* = 0,3094.$$

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'zgaranida funksii $F = F(x_1^{\text{opt*}}, x_2^{\text{opt*}}, \dots, x_{(n-1)f}^{\text{opt*}}, \dots, x_n(\text{var}))$ 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

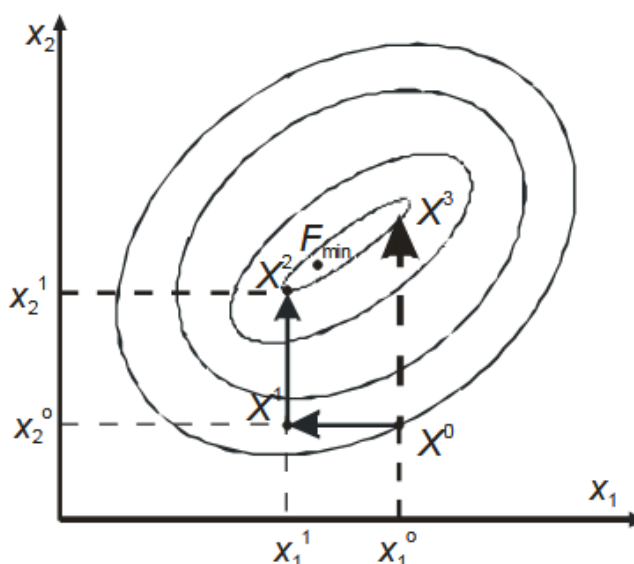
$$|x_i^{optk} - x_i^{opt(k-1)}| \leq \varepsilon_i,$$

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-pacm).

Gradiyent vektori funksiyaning tezkor ko'tarilish yo'nalishini aniqlaydi va $y = y(x_1, x_2, \dots, x_m)$ uchun quyidagiga teng:

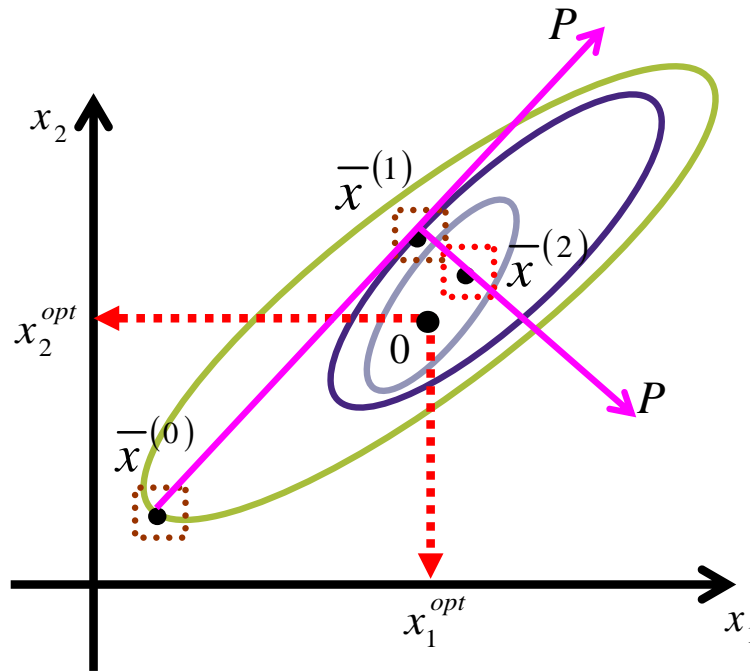
$$\text{grad } \bar{y} = \frac{\partial y}{\partial x_1} \bar{i} + \frac{\partial y}{\partial x_2} \bar{j} + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_m} \bar{m},$$

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-расм. 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 – tajribalashtirilayotgan 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:

$$x_j^{(0)} = \frac{x_j^{\min} + x_j^{\max}}{2}$$

$$j = 1, \dots, m$$

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,

$$z_j = \frac{x_j - x_j^{(0)}}{\Delta x_j}$$

$$j = 1, \dots, m$$

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 koeffitsiyentlaridan 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 ekvivasofali nuqtalari uchun bir xil bo'ladi.

Shuning uchun ham faktorli fazoda birorta ham ustuvor 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

$$x_i^{(s+1)} = x_i^{(s)} \pm h \frac{\frac{\partial y^{(s)}}{\partial x_i}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial y^{(s)}}{\partial x_j}\right)^2}}$$

$$s = 0, 1, 2, 3, \dots$$

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.

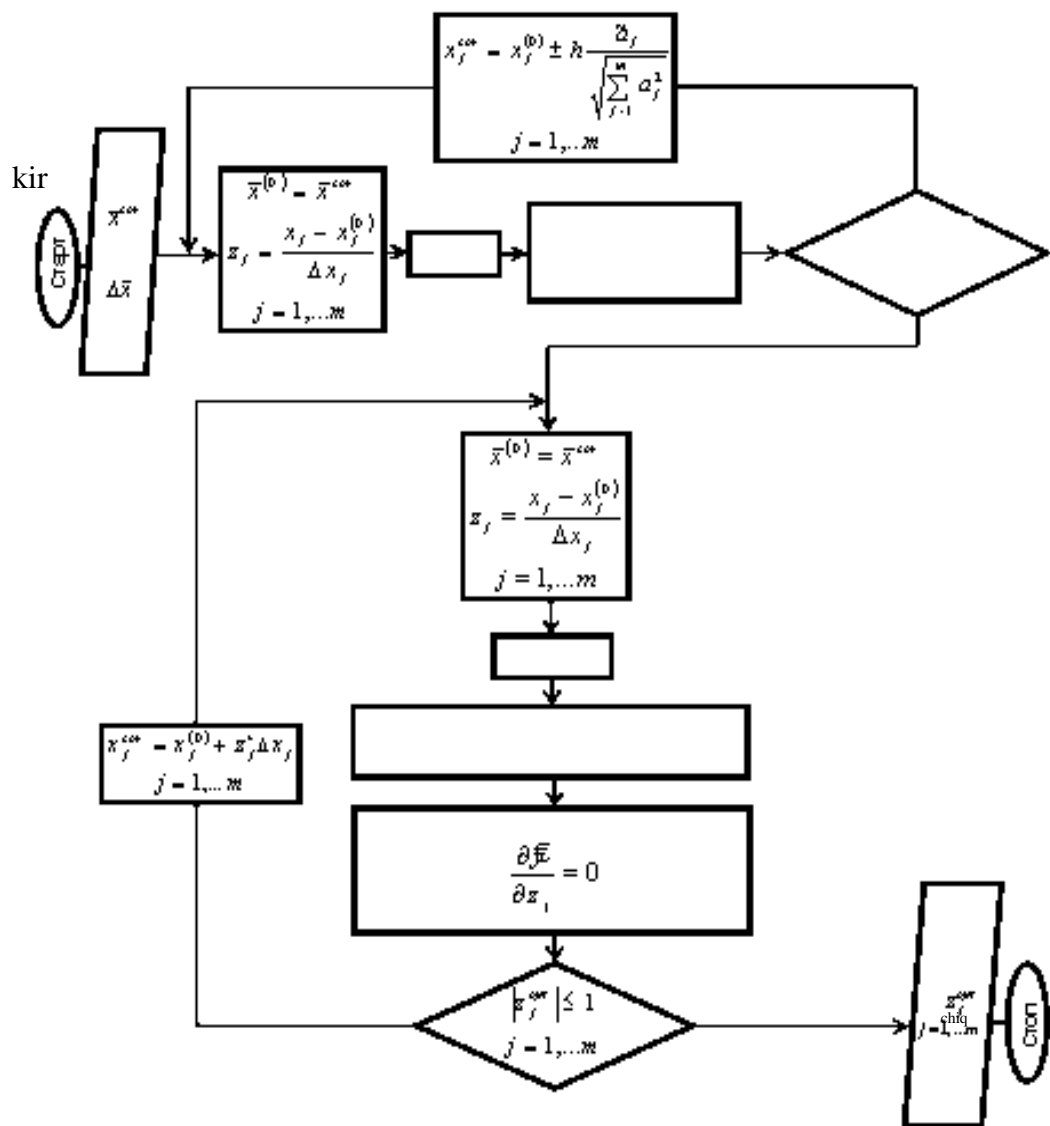
Agar quyidagi shart bajarilmasa, ekstremum holatini aniqlash masalasini yechish natijalarini muvaffaqiyatli deb hisoblab bo‘lmaydi:

$$\left| z_j^{opt} \right| \leq 1$$

$$j = 1, \dots, m,$$

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-pasm. 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-Мавзу: **KIMYOVIY TEXNOLOGIYA TIPIK APPARATLARINING KOMPYUTERLI MODELLARINI TUZISH**

Режа:

4.1. Issiqlik almashish apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish

4.1.2. Issiqlik almashish jarayonini tavsiflashda qatnashuvchi stoxastik tashkil etuvchilar hisobi

4.1.3. Rekuperativ issiqlik almashish apparatlarining ishlashini modellashtirish

4.1.4. Issiqlik almashish apparatlarini hisoblash va algoritmlashtirish

4.1.5 Quvurli reaktorlarni hisoblash va algoritmlashtirish

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) yuz (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 molekularlar 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'yi 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.

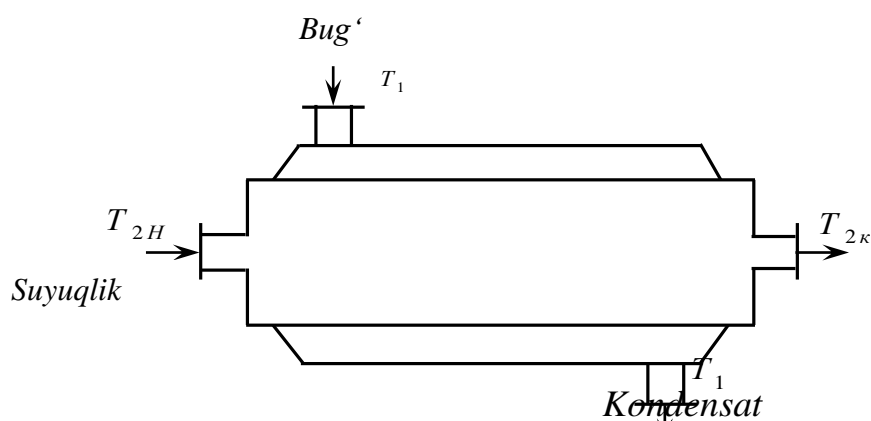
Modellarning matematik tavsiflari quyidagi ko‘rinishga ega:

$$v_2 \frac{dt}{dx} = \frac{KP (T_1 - T)}{Sc_{p_2}} \quad (5.7)$$

bu yerda, v_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:

$$T = T_1 - (T_1 - T_{2H}) \ell^{-\frac{KP}{Sc_{p_2} v_2}} \quad (5.8)$$



5.1-rasm. Issiqlik almashish apparatining sxemasi.

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

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

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

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

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

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

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

bu yerda, D_l - issiqlik tashuvchi oqimidagi bo'yлама aralashish koeffitsiyenti. (5.11) tenglamaning yechimi quyidagi ko'rinishga ega:

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

bu yerda,

$$s_{1,2} = \frac{-v_2 \pm \sqrt{v_2^2 + 4D_l \frac{KP}{Sc_{p_2}}}}{-2D_l}
\tag{5.13}$$

C_1, C_2 o'zgarmlarni quyidagi $X = 0$ da $T = T_{2H}$ chegara shartdan topish mumkin,

$$X = 0 \text{ da } \frac{dT}{dx} = 0
\tag{5.14}$$

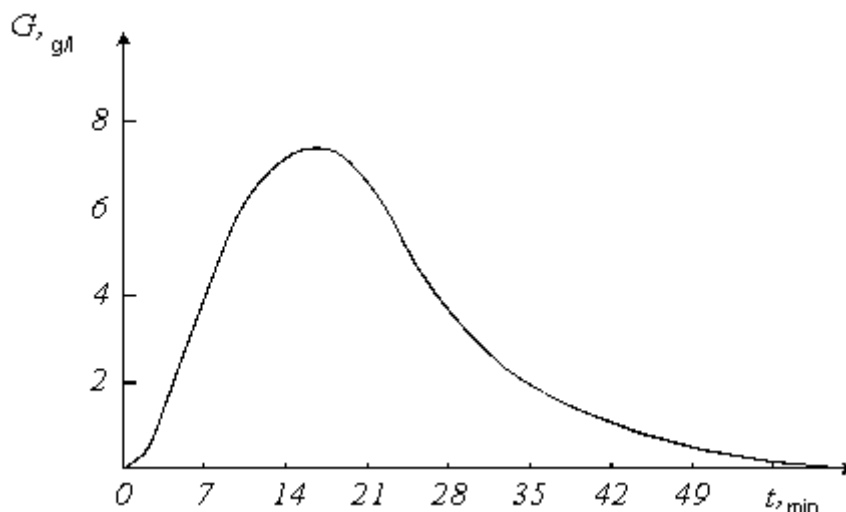
Natijada quyidagilarni olamiz

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

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

Misol. Endi sovuq agent harakatining turli modellaridan kelib chiqib, suyuqliklar kondensatsiyalanuvchi bug' bilan qizdiriladigan holatlar uchun sovuq agentning kesimlardagi haroratlarini baholaymiz. Issiqlik almashish sharoiti quyidagicha: suyuqlik sarfi $G_2 = 1000 \text{ kg/soat}$ ni tashkil qiladi; uning issiqlik

sig'imi $c_{p_2} = 2520 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; 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 $1,5 \text{ m}$.



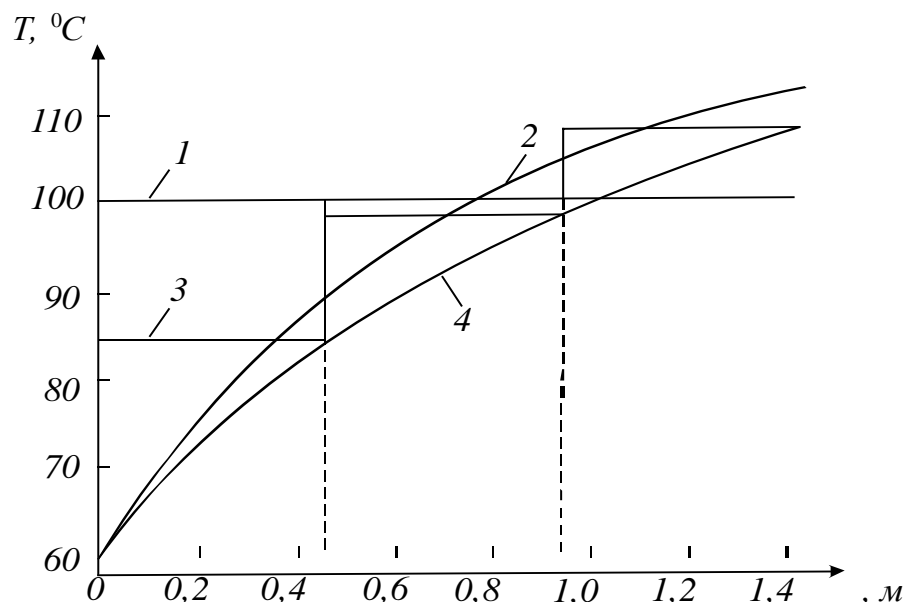
5.2-rasm. Tizim javobining S egri chizig'i.

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.



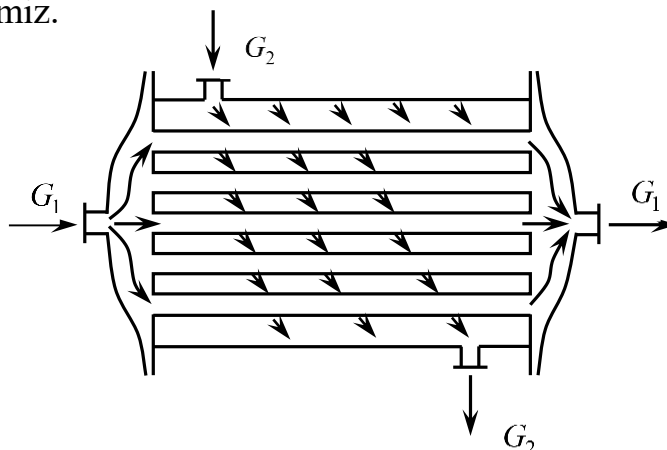
5.3-rasm. Turli modellar bo‘yicha harorat profilining hisobi:
 1-ideal aralashish; 2-ideal siqib chiqarish; 3-yacheykali model;
 4-diffuziyali model.

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'zgarmas 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 haroratlarining 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 haroratlarining o‘rtacha farqi $\Delta T_{o,r}$ hisoblaniladi ((5.23)tenglama). Suv ekvivalenti katta issiqlik tashuvchilar uchun apparaturalarning uzunligi bo‘yicha haroratlarining 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:

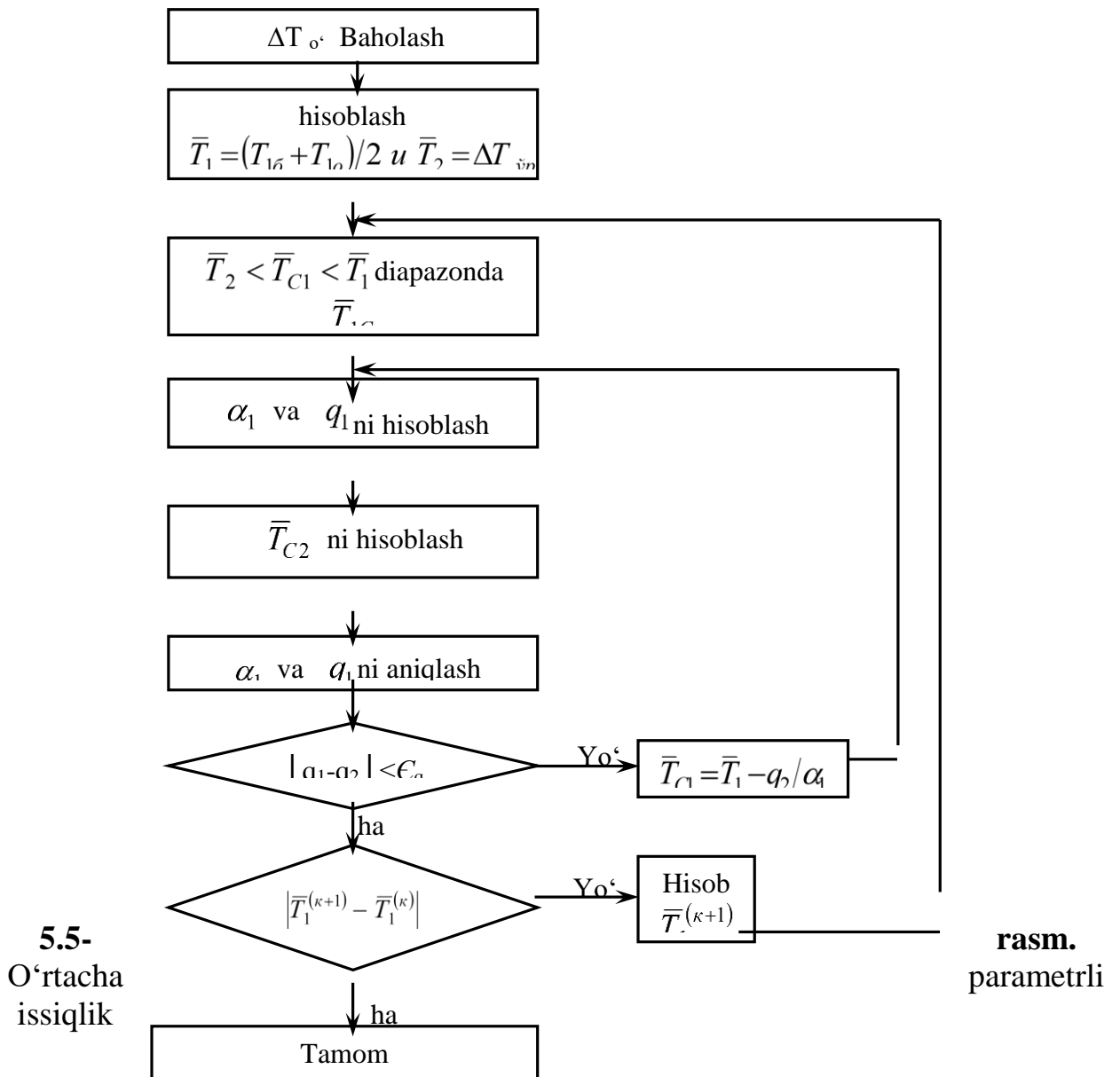
$$q_2 = \alpha_2 (\bar{T}_{C2} - \bar{T}_2) \quad (5.30)$$

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.



almashishning bo‘ylama yuzasi bo‘yicha issiqlik almashish apparatini hisoblash algoritmining blok – sxemasi.

Endi issiqlik sig‘imi va issiqlik berish koeffitsiyentlari o‘zgaruvchan bo‘lgan hollarni ko‘rib chiqamiz. Ko‘pgina amaliy hollarda issiqlik sig‘imi va issiqlik berish koeffitsiyentlari issiqlik tashuvchilarning harorati va devor yuzasiga bog‘liq bo‘ladi. Bularga bog‘liq holda ilgari ko‘rib o‘tilgan issiqlik almashishning o‘rtacha parametrlari bo‘yicha issiqlik almashish apparatlarini hisoblash algoritmini issiqlik tashuvchilar haroratlarining o‘zgarishi katta bo‘lmagan hollar uchun qo‘llab ko‘ramiz. Ko‘rsatilgan mulohaza issiqlik almashish apparaturalarini hisoblashning intervalli usuli deb ataluvchi usul sifatida o‘rganiladi. Usulning mohiyati quyida keltirilgan.

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

Birinchi issiqlik tashuvchining harorati tanlangan intervallarning birinчисini oxirida T_1^1 ni tashkil qilsin. Ushbu issiqlik tashuvchining birinchi interval chegaralaridagi haroratini doimiy va $\bar{T}_1 = 0.5(T_{1H} + T_1^1)$ ga teng deb qabul qilish mumkin. Ikkinchi issiqlik tashuvchining birinchi interval oxiridagi haroratini (misol to'g'ri oqim hollari uchun qaralmoqda) issiqlik balansi tenglamasidan oson aniqlash mumkin

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

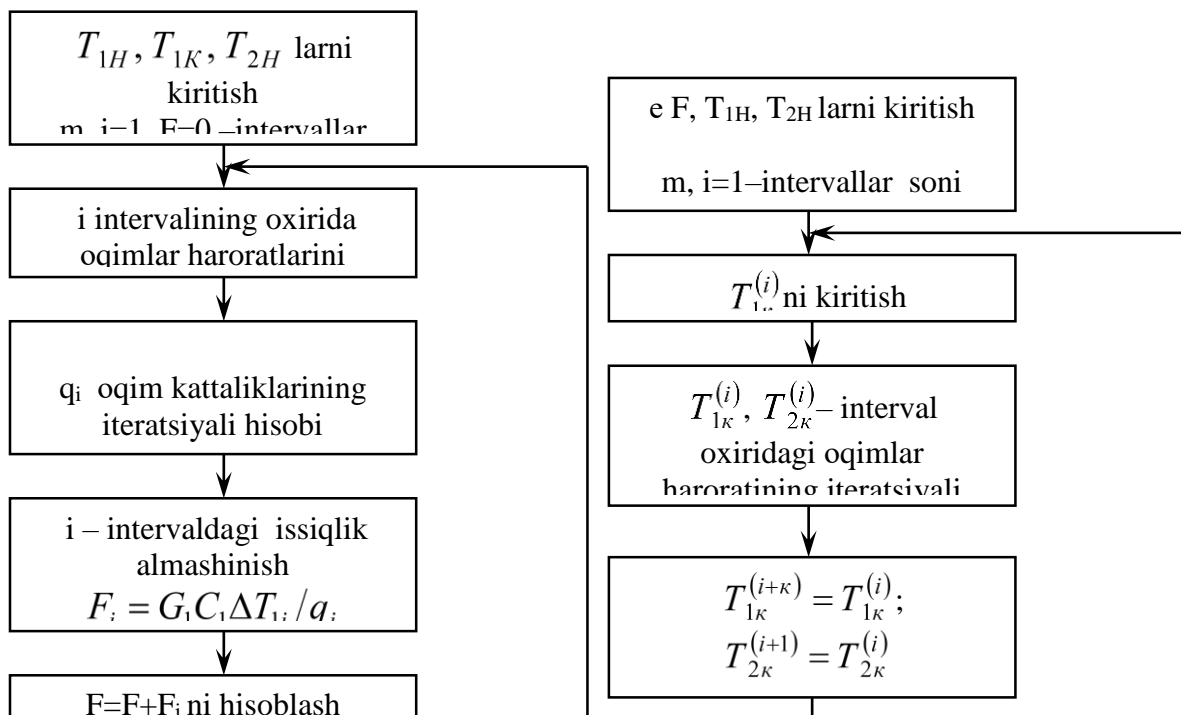
va mos ravishda ikkinchi issiqlik tashuvchining birinchi hududdagi harorati quyidagi tenglikni qabul qilishi mumkin

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

Endi birinchi intervalga yuqorida ko'rib o'tilgan issiqlik almashishni o'rtacha parametrlar bo'yicha hisoblash algoritmini qo'llash mumkin, ya'ni $\bar{T}_1^1 \div \bar{T}_2^1$ harorat intervalida devorning T_{C1}^1 haroratiga boshlang'ich yaqinlashish tanlanadi va $\alpha_1^1, q_1^1, T_{C2}^1, \alpha_2^1, q_2^1$ qiymatlar iteratsion usulda hisoblanadi.

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

Keyin ketma-ket ravishda issiqlik tashuvchi harorati o'zgarishining ikkinchi va undan keyingi intervallari T_{1K} gacha hisoblanadi. Har bir interval uchun olingan issiqlik almashish yuzalarining barchasi qo'shiladi va bu yig'indi issiqlik almashish apparatining oxirlarida issiqlik tashuvchilarning berilgan haroratida talab qilinadigan issiqlik almashish yuzasini beradi. 5.6-rasmda issiqlik almashish apparatini intervalli hisoblashning blok - sxemasi keltirilgan.



5.6-rasm. Issiqlik almashish 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'zgarmasdir.

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

Quvur devoridan qaynaydigan suyuqlik quvuriga issiqlik uzatish koeffitsiyenti

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; λ_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:

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

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:

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

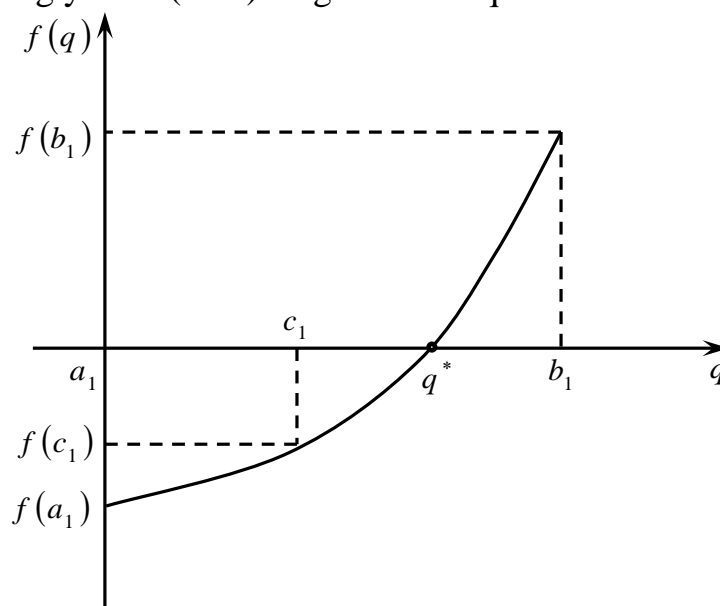
tekshirish sharti quyidagicha

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

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

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

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



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

1-misol. Kondensatning kondensatsiyalanish haroratidagi fizik xossalari: issiqlik o‘tkazuvchanligi $\lambda_k = 0.683 \text{ Wt}/(\text{m} \cdot \text{K})$, zichligi $\rho_k = 908 \text{ kg}/\text{m}^3$, solishtirma bug‘lanish issiqligi $r_k = 2095000 \text{ J}/\text{kg}$, qovushqoqligi $\mu_k = 0,000177 \text{ Pa} \cdot \text{s}$. Suyuqligining qaynash haroratidagi fizik xossalari: issiqlik o‘tkazuvchanligi $\lambda_j = 0,686 \text{ Wt}/(\text{m} \cdot \text{K})$, zichligi $\rho_j = 957 \text{ kg}/\text{m}^3$, issiqlik sig‘imi $c_j = 4190 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, qovushqoqligi $\mu_j = 0,00024 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, sirt tarangligi $\sigma_j = 0,0583 \text{ N}/\text{m}$, qaynash haroratidagi bug‘larning zichligi $\rho_p = 0,65 \text{ kg}/\text{m}^3$, solishtirma bug‘lanish issiqligi $r_j = 2253900 \text{ J}/\text{kg}$ bo‘lgan suv bug‘i bilan qizdiriladigan qaynatgich berilgan. Haroratlar farqi $\Delta T = 55,6^\circ\text{C}$, quvur devori va iflos cho‘kmalar termik qarshiliklarining yig‘indisi

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,0004787 \text{ m}^2 \text{XK}/\text{Wt}$$

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

Yechim—rektifikatsiya kolonnalarining qaynatgichlari sifatida odatda vertikal bir yo‘lli obi quvurli issiqlik almashish apparatlaridan foydalaniladi va quvurning tashqi yuzasini kondensatsiyalovchi, qizdiruvchi bug‘ning issiqlik berish koeffitsiyenti quvurning balandligiga bog‘liq, shuning uchun ham avval quvurning balandligi $H = 2 \text{ m}$ ni beramiz. Boshlang‘ich ma‘lumotlar asosida talab qilingan issiqlik almashish yuzasi F ni hisoblaymiz. Hisoblash natijalari quyidagicha:

$$\alpha_{quv} = 10478,2 \text{ Vt/ (m}^2\text{K)}, \quad \alpha_{quv.or} = 7073,6 \text{ Vt/ (m}^2\text{K)}, \quad K = 1395,9 \text{ Vt/ (m}^2\text{K)}, \quad F = 12,9 \text{ m}^2.$$

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: $\alpha_{quv} = 10596,5 \text{ Vt/ (m}^2\text{K)}$, $\alpha_{quv.or} = 7698,1 \text{ Vt/ (m}^2\text{K)}$, $K = 1422,3 \text{ Vt/ (m}^2\text{K)}$, $F = 12,7 \text{ m}^2$.

Dav.ST 15122—79 dagi issiqlik almashish apparatiga yaqin, 14 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:

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

bu yerda

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

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

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

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

bu yerda,

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

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

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

lekin

$$D = 2.02 \lambda_k^3 \sqrt[3]{\frac{\rho^2 L}{\mu_k G_P}} \quad (5.46)$$

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

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

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.

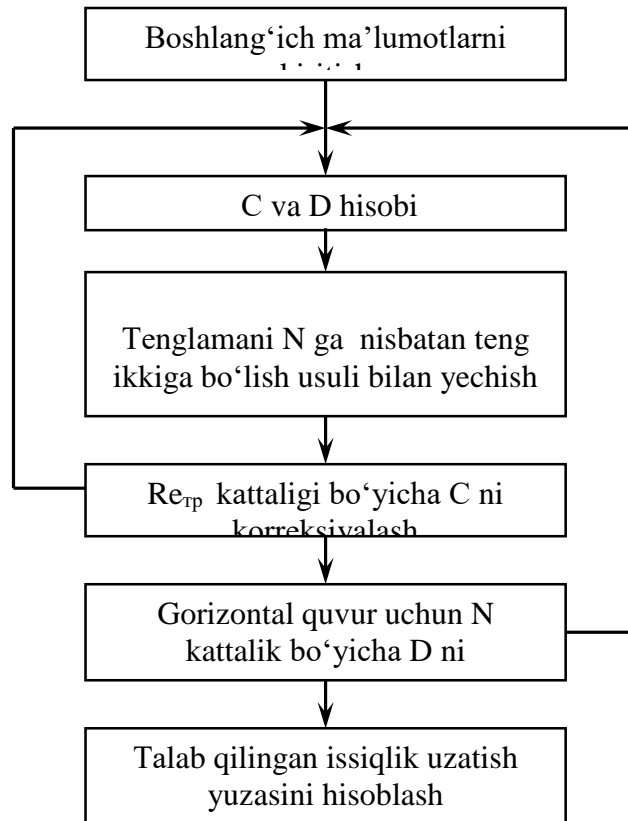
Issiqlik almashish yuzasini (5.47) tenglama bo‘yicha hisoblash uchun oldindan bir qator konstruktiv parametrlar berilgan bo‘lishi lozim, aynan: issiqlik almashish apparatining tipi (gorizontal, vertikal), quvurlarning diametri d_H , yo‘llar soni Z va quvurlarning balandligi (uzunligi) N . 5.9-rasmda 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 , 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 $\sum \frac{\delta}{\lambda} = 0,000479 \text{ m}^2 \text{K}/\text{Wt}$.

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



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

Echim. Quvurining tashqi diametri $d_H = 0.02$, yo'llari $Z = 1$ va quvur uzunligi $L = 3 \text{ m}$ bo'lgan gorizontal issiqlik almashish apparati ($T=1$) keltirilgan variantni ko'rib chiqamiz. **COND** bo'yicha boshlang'ich ma'lumotlarni kiritgandan so'ng $\alpha_{quv} = 865,1 \text{ Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\alpha_{quv.or} = 13118,3 \text{ Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $K = 584,5 \text{ Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $Re_{quv} = 4674,4$, $N = 31$ larni olamiz.

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

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

Issiqlik almashish apparatining uzunligini 2 m gacha kamaytiramiz va qolgan konstruktiv tavsiflarni o'zgarishsiz qoldiramiz. Hisoblash natijasida $\alpha_{quv} = 247,0$

Vt/(m²·K), $\alpha_{quv.or} = 15625,8 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $K = 217,2 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\text{Re}_{quv} = 1161,1$, $N=124$ larni olamiz.

Shunday qilib, quvurlar uzunligining kamayishi ularning sonini oshishi va 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 $d_H = 0,025 \text{ m}$ bo‘lgan quvurli issiqlik almashish apparatini hisoblaymiz. Hisoblash natijalari quyidagicha: $\alpha_{quv} = 740,9 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\alpha_{quv.or} = 12628,1 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $K = 524,2 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\text{Re}_{quv} = 5323,3$, $N = 41$.

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

Shunday qilib, quvurlar soni bo‘yicha zaxira $\Delta = \frac{52 - 41}{41} \cdot 100\% = 26.8\%$ ni

tashkil etadi. Bu natijani qoniqarli deb hisoblash mumkin. Tanlangan gorizontal issiqlik almashish apparatining qobig‘i diametri 0,325 m, $d_H = 0,025 \text{ m}$, yo‘llar soni 2, quvurlar soni 52, quvurlar uzunligi 2 m va issiqlik almashish yuzasi 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 haroratlariga 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:

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

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

(*quv.or* – quvurlar orasidagi fazo)

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

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

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

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

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:

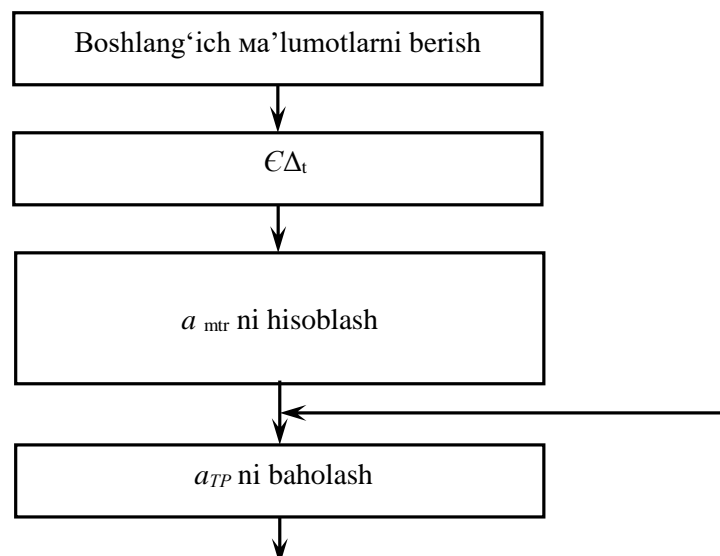
$$\Delta T_{o'r} = \varepsilon_{\Delta T} \Delta T_{o'r \log} \quad (5.58)$$

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-rectifikatsiya kolonnalarining kub qoldiqlari sovitgichini hisoblash. Umumiy issiqlik yuklamasi $Q = 402\,980$ Vt. Quvur bo'yicha harakatlanuvchi kub qoldiqlari $G_{quv} = 1,24$ kg/s, uning issiqlik o'tkazuvchanligi $\lambda_{quv} = 0,662$ Vt/(m·K), zichligi $\rho_{quv} = 986$ kg/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 haroratlarining o'rtacha logarifmik farqi $\Delta T_{o'r \log} = 25,4^\circ\text{C}$ ga teng. Quvur devorlari va ifloslanishning termik qarshiliklari yig'indisi $\sum \delta/\lambda = 0,00042 \text{ m}^2 \text{ K}/\text{Vt}$.

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

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

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

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

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

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

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

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 $L = 2 \text{ m}$ va obi diametri $D= 0,6 \text{ m}$ ga ega. Yuza zaxirasi

$$\Delta = \frac{41 - 40,7}{40,7} \cdot 100 \% = 0,7\% \text{ ni tashkil etadi.}$$

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;

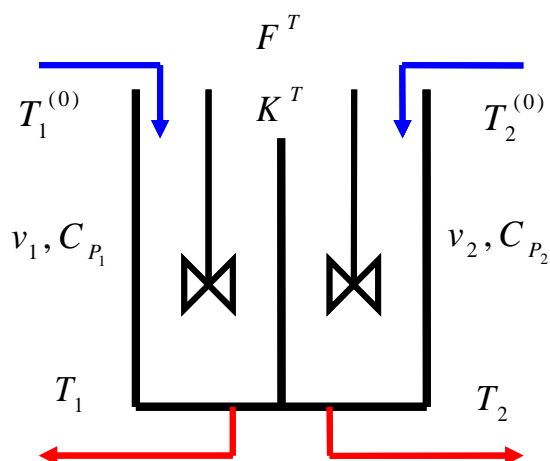
zmeevikli va h.z.

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:

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

Ikkinchi xususiy hol:

$K^T = const$ ning 1), 2), 3) tenglamalariga 4), 5), 6) tenglamalar qo‘shiladi

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

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

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

$a, b, c, d - const$

(ma’lumlar)

$$T_1 - ? \quad T_2 - ? \quad \Delta q^T - ? \quad K^T = ? \quad C_{P_1} - ? \quad C_{P_2} - ?$$

larni aniqlash zarur.

Nochiziqli tenglamalar tizimi (NCHTT):

$$\bar{f}(x) = 0$$

$$\begin{cases} f_i(x_1, \dots, x_n) = 0 \\ i = 1, \dots, n \end{cases}$$

Bu yerda $f - x$ ning nochiziqli funksiyasi.

Nochiziqli tenglamalar quyidagi usullar bilan yechilishi mumkin:

Nyuton-Rafson usuli;

Oddiy iteratsiyalar usuli;

Matematik dekompozitsiya usuli.

Birinchi va ikkinchi usullardan foydalanilganda bir vaqtda 6 o‘zgaruvchilar ketma-ket yaqinlashish usuli bilan (iteratsiyaviy) aniqlanadi. Uchinchi usuldan foydalanilganda iteratsiya yo‘li bilan kam sonli o‘zgaruvchilarni qidirish imkonini beruvchi shunday 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.

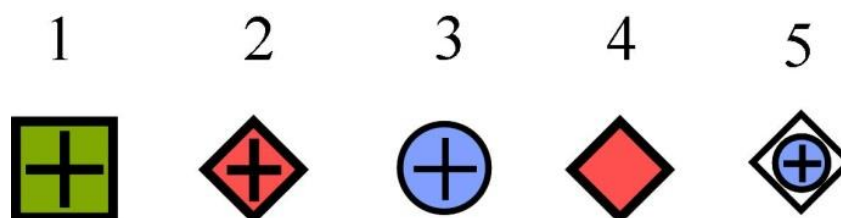
Axborot matritsasi

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 algoritmgiga 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.y.p.							4
3 Kop.y.p.							6
4							5
5							1
6							3

Belgilanishi:



- 1 – Boshlang'ich yaqinlashish topshirig'i
- 2 – o'zgaruvchi qiymatini aniqlash
- 3 – o'zgaruvchining qiymati ma'lum
- 4 – o'zgaruvchi qiymatiga to'g'rilash kiritish(korreksiyalash)
- 5 – o'zgaruvchi qiymatini aniqlashtirish

4- qadamda berilgan kattaliklardan ixtiyoriy birortasiga to‘g‘rilash kiritish mumkin.

Axborot matritsasidagi birinchi ustun – tenglamalarning tartib raqami.

Axborot matritsasidagi oxirgi ustun – tenglamani yechish tartibini ko‘rsatadi.

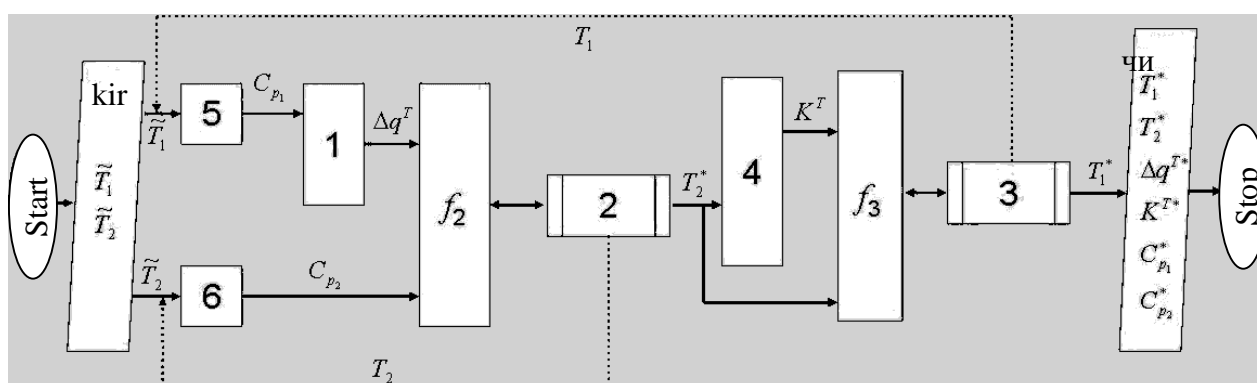
Ichki iteratsiya sikli:

$$v_2^{(0)} C_{P_2}^{(0)} T_2^{(0)} - v_2 C_{P_2} \{T_2\} + F^T (\Delta q^T \{T_2\}) = 0 \rightarrow T_2^*$$

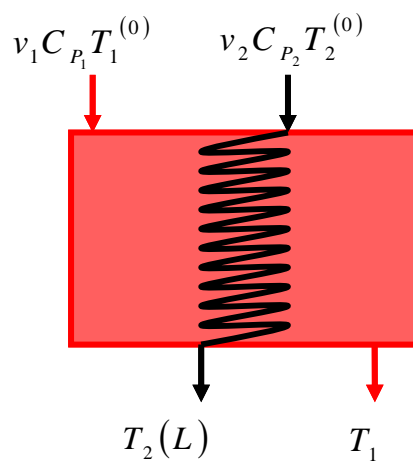
Tashqi iteratsiya sikli:

$$\Delta q^T \{T_1\} - K^T \{T_1\} (T_2 \{T_1\} - T_1) = 0 \rightarrow T_1^*$$

Algoritmning blok-sxemasi



5. 1.4.2. Zmeevikli issiqlik almashish apparatlari



L – zmeevikning uzunligi.

Asosiy qo‘yimlar:

Oqim ideal aralashish modeli (IAM) – rezervuarlar orqali oqib o‘tadi deb qabul qilamiz

Oqim ideal o‘rin almashish modeli (IO‘AM) – zmeevikda

Ish rejimini statsionar deb qaraymiz

Issiqlik uzatish koeffitsiyenti = const

Issiqlik uzatishdan boshqa hech qanday jarayon yuz bermaydi

Issiqlik sig‘imlari bir xil va harorat bilan almashmaydi

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

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

$$c) v_2 C_{P_2} \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{L} \Delta q_2^T$$

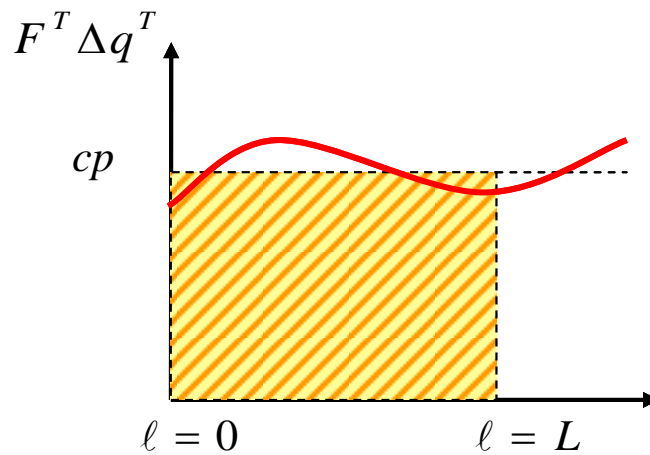
$$d) \Delta q_2^T = K^T (T_1 - T_2)$$

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

Umumiy issiqlik balansi tenglamasining natijasi:

$$v_1^{(0)} C_{P_1}^{(0)} T_1^{(0)} - v_1 C_{P_1} T_1 + [F^T \Delta q_1^T]_{o'r} = 0$$

$$\frac{F^T}{L} (-\Delta q_2^T) = v_2 C_{P_2} \frac{dT_2}{d\ell}$$



Issiqlik o'tkazish yuzasi shtrixlangan maydonga teng

$$T_2(\ell) = ?$$

$$0 \leq \ell \leq L$$

$$[F^T \Delta q^T]_{o'r} = \frac{1}{L} \int_0^L F^T \Delta q^T d\ell$$

$$[F^T \Delta q^T]_{o'r} = -v_2 C_{P_2} \int_0^L \frac{dT_2}{d\ell} d\ell = -v_2 C_{P_2} [T_2(L) - T_2(0)]$$

Matematik tavsifning tenglamalar tizimi:

$$1) -v_2 C_{P_2} [T_2(L) - T_2(0)] + v_1^{(0)} C_{P_1}^{(0)} T_1^{(0)} - v_1 C_{P_1} T_1 = 0$$

Yaqqol ko'rinishdagi oddiy differensial tenglama:

$$2) \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} (-\Delta q^T)$$

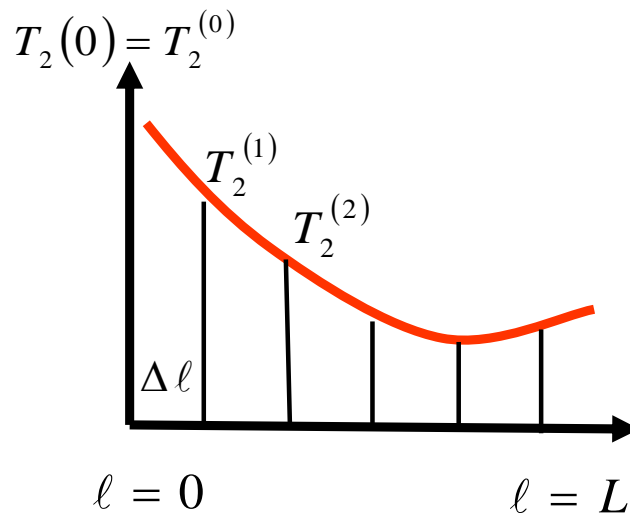
$$3) \Delta q^T = K^T (T_2 - T_1)$$

$$2') T_2(0) = T_2^{(0)}$$

Integral-differensial tenglamalar tizimi

$$T_2 = T_2(\ell) - ? \quad T_1 - ? \quad \Delta q^T - ?$$

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.



$$2) \frac{T_2(L) - T_2(0)}{\Delta \ell} \cong \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} (-\Delta q^T)$$

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

Axborot matritsasi

$n \backslash p$	T_1	$T_2(0)$	$T_2(L)$	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.

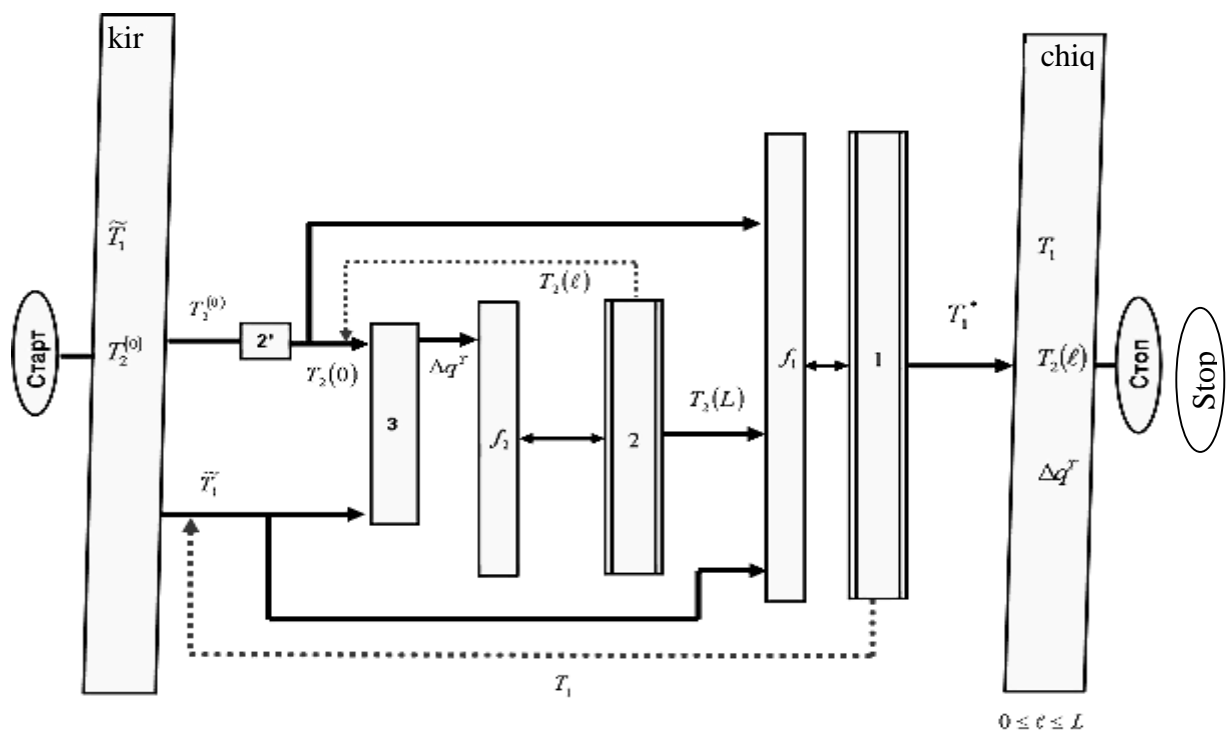
To‘g‘rilovchi tenglamalar:

$$v_1^{(0)} C_{P_1} T_1^{(0)} - v_1 C_{P_1} T_1 + v_2 C_{P_2} [T_2(L)\{T_1\} - T_2(0)] = 0$$

Tashqi siklda – yarmini bo‘lish usuli.

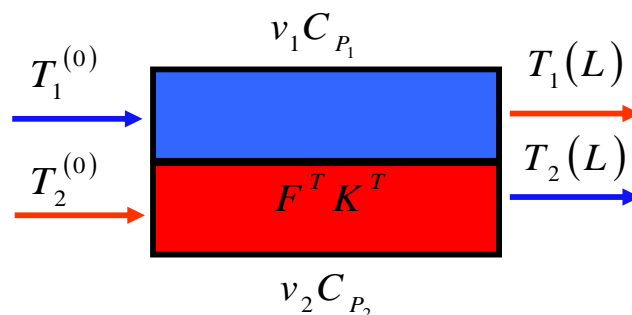
Ichki siklda har bir yaqinlashish T_1 da differensial 2 tenglama (Eylar usuli) yechiladi.

Algoritmnining 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:

$$1) \nu_1 C_{P_1} \frac{dT_1}{d\ell} = \frac{F^T}{L} \Delta q_1^T$$

$$2) \Delta q_1^T = K^T (T_2 - T_1)$$

Ikkinchi oqim uchun tenglama:

$$1) \nu_2 C_{P_2} \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{L} \Delta q_2^T$$

$$2) \Delta q_2^T = K^T (T_1 - T_2)$$

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

Matematik tavsifning tenglamalar tizimi:

(oddiy differensial tenglamalar tizimi)

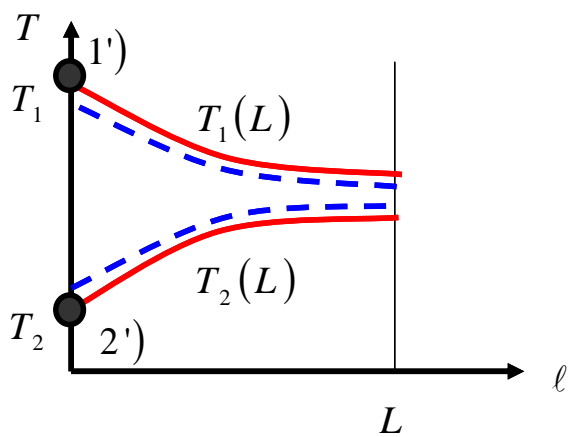
$$\left. \begin{array}{l} 1) \frac{dT_1}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_1 C_{P_1}} \Delta q_1^T \\ 2) \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} (-\Delta q^T) \\ 3) \Delta q^T = K^T (T_2 - T_1) \end{array} \right\}$$

Boshlang'ich shart:

$$\left. \begin{array}{l} 1) T_1(0) = T_1^{(0)} \\ 2) T_2(0) = T_2^{(0)} \end{array} \right\} \ell = 0$$

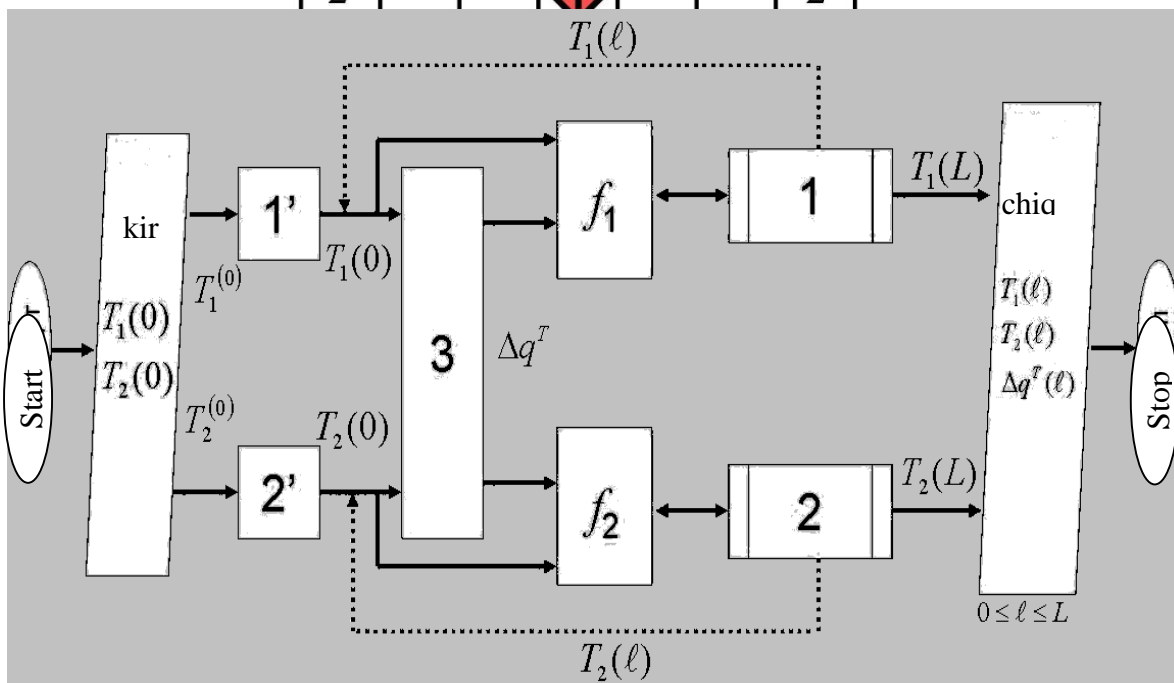
Xususiy yechimi olinadigan masala, qachonki masalaning qo'shimcha shartlari mustaqil o'zgaruvchining bitta qiymatida berilsa, Koshi masalasi deb ataladi.

Bu tizimni tahlilga asoslangan aniqlikda yechish mumkin.

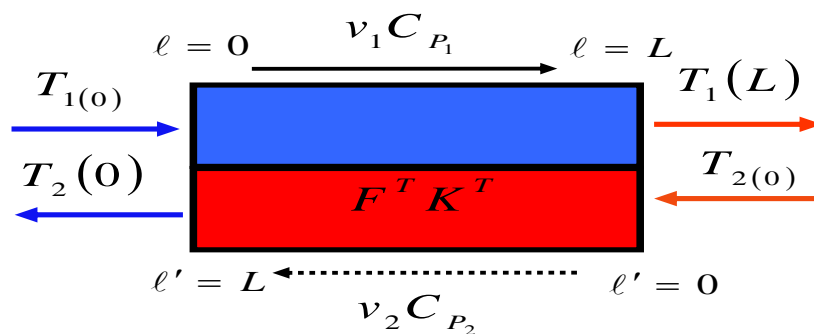


Axborot matritsasi

$n \backslash P$	$T_1(0)$	$T_1(L)$	$T_2(0)$	$T_2(L)$	Δq^T	N^o
1 Диф. ур.	+	+			+	4
2 Диф. ур.			+	+	+	5
3	+		+		+	3
1'	+					1
2'			+			2



Chegaraviy masalalarini yechish.



$$\left. \begin{array}{l} T_{1(0)} \\ T_{2(0)} \end{array} \right\} \ell = 0$$

$$\ell' = L - l$$

$$d\ell' = -d\ell$$

$$1) \frac{dT_1}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_1 C_{P_1}} \Delta q_1^T$$

$$2) \Delta q_1^T = K^T (T_2 - T_1)$$

.....

$$3) \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} \Delta q_2^T$$

$$4) \Delta q_2^T = K^T (T_1 - T_2)$$

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

Matematik tavsifning tenglamalar tizimi:

$$1) \frac{dT_1}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_1 C_{P_1}} \Delta q_1^T$$

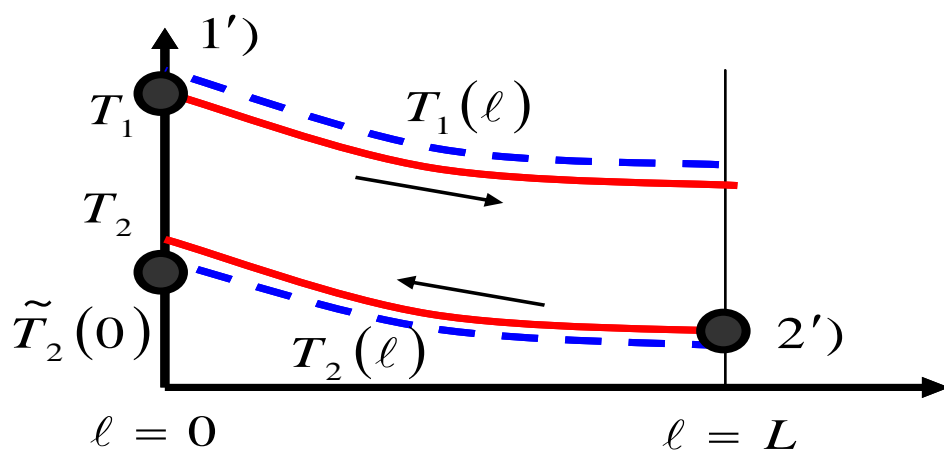
$$2) \frac{dT_2}{d\ell} = \frac{F^T}{Lv_2 C_{P_2}} \Delta q_2^T$$

$$3) \Delta q_1^T = K^T (T_2 - T_1)$$

$$T_1(0) = T_{1(0)}$$

$$T_2(0) = T_{2(0)}$$

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 berilagan 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:

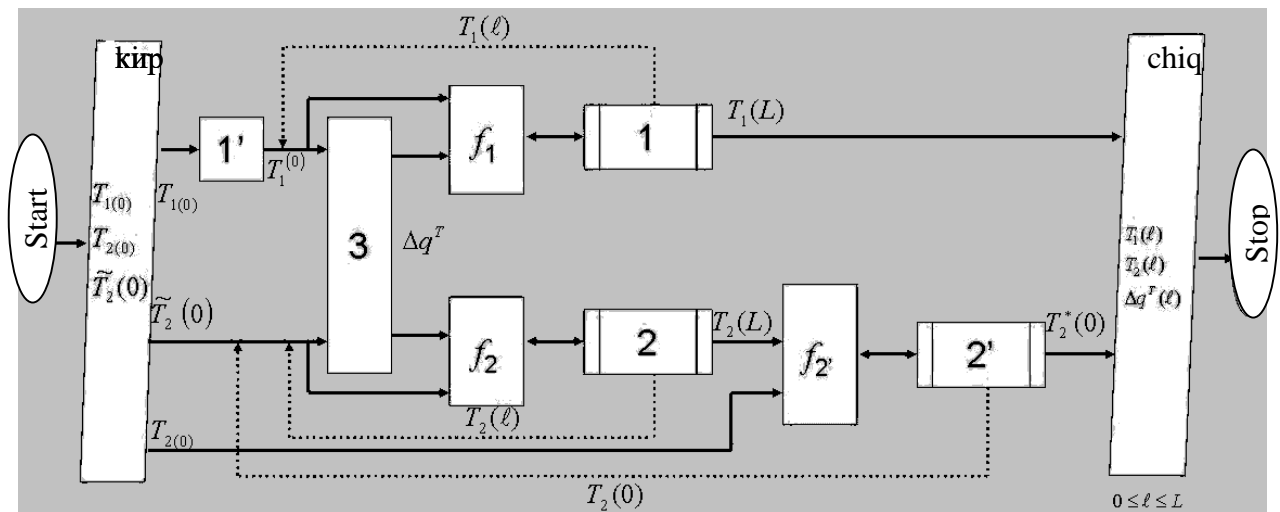
$$T_{2(0)} = ?$$

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



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 rezervardagi 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).

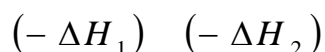
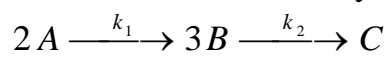


b) Issiqlik tashuvchi teskari oqim rejimida harakatlanadi (Chegaraviy masala).



Asosiy qo'yimlar:

– mikrokinetika: reaksiya

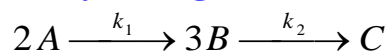


– oqimlar harakati ideal o'rin almashishning gidrodinamik modellari bilan keltiriladi;

– bosqichlarning issiqlik samaralari haroratlarga bog'liq emas;

- asosiy oqim va qobiqdagi oqimlar o‘rtasidagi issiqlik almashuvida faqat issiqlik uzatish ishtirok etadi;
- issiqlik uzatish koeffitsiyenti = const.

Jarayonning mikrokinetikasi



Aniqlanadi:

$$g_A^R, g_B^R, g_C^R, \Delta q^R,$$

$$\begin{bmatrix} g_A^R \\ g_B^R \\ g_C^R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 & 0 \\ 3 & -3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} k_1 x_A^2 \\ k_2 x_B^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2k_1 x_A^2 \\ 3k_1 x_A^2 + 3k_2 x_B^3 \\ k_2 x_B^3 \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}^R = \bar{\alpha} \cdot \bar{r}$$

$$g_A^R = -2 \cdot r_1$$

$$g_B^R = 3 \cdot r_1 - 3 \cdot r_2$$

$$\text{rang}(\bar{\alpha}) = 2$$

2 ta hal qiluvchi A va V komponentalarni tanlaymiz

$$g_C^R = -\frac{1}{2} g_A^R - \frac{1}{3} g_B^R$$

Muhim bo‘lmagan S komponenta uchun stexiometrik munosabat:

$$x_C = x_C^{(0)} - \frac{1}{2}(x_A - x_A^{(0)}) - \frac{1}{3}(x_B - x_B^{(0)})$$

$$\Delta q^R = \sum_{j=1}^2 |\alpha_{p_j}| (-\Delta H_{p_j}) \cdot r_j = 3(\Delta H_{B1}) \cdot r_1 + 1(-\Delta H_{C2}) \cdot r_2$$

Jarayonning matematik tavsifi (to‘g‘ri oqim).

$$1.1) x_A \frac{dv}{d\ell} + v \frac{dx_A}{d\ell} = \frac{V_R}{L} g_A^R \Rightarrow \frac{dx_A}{d\ell} = \frac{V_R}{vL} g_A^R - \frac{x_A}{v} \frac{dv}{d\ell}$$

$$1.2) \frac{dx_B}{d\ell} = \frac{V_R}{L} g_B^R - \frac{x_B}{v} \frac{dv}{d\ell}$$

$$1.3) x_C = x_C^{(0)} - \frac{1}{2}(x_A - x_A^{(0)}) - \frac{1}{3}(x_B - x_B^{(0)})$$

$$2.1) g_A^R = -2 \cdot r_1$$

$$2.2) g_B^R = 3 \cdot r_1 - 3 \cdot r_2$$

$$2.3) g_C^R = r_2$$

$$3.1) r_1 = k_1 x_A^2$$

$$3.2) r_2 = k_2 x_B^3$$

$$4.1) k_1 = A_1 \exp(-E_1/RT)$$

$$4.2) k_2 = A_2 \exp(-E_2/RT)$$

$$5) \frac{dv}{d\ell} = \frac{V_R}{L} (g_A^R + g_B^R + g_C^R)$$

$$\frac{d(vT)}{d\ell} = \frac{V_R}{C_p L} \Delta q^R + \frac{F_T}{C_p L} \Delta q^T \Rightarrow$$

$$6) \Rightarrow \frac{dT}{d\ell} = \frac{V_R}{vC_p L} \Delta q^R + \frac{F_T}{vC_p L} \Delta q^T - \frac{T}{v} \cdot \frac{dv}{d\ell}$$

$$7) \Delta q^R = 3(-\Delta H_{B1})r_1 + (-\Delta H_{C1})r_2$$

$$8) \Delta q^T = K^T (T_T - T)$$

$$9) C_p = C_{pA}^{ind} x_A + C_{pB}^{ind} x_B + C_{pC}^{ind} x_C$$

$$10.1) C_{pA}^{ind} = a_A + b_A T + c_A T^2 + d_A T^3$$

$$10.2) C_{pB}^{ind} = a_B + b_B T + c_B T^2 + d_B T^3$$

$$10.3) C_{pC}^{ind} = a_C + b_C T + c_C T^2 + d_C T^3$$

Issiqlik tashuvchilarning oqimlari uchun tenglama:

$$11) \frac{dT_T}{d\ell} = \frac{F^T}{C_{pT} L v_T} (-\Delta q^T)$$

$n+3$ differensial tenglama.

Boshlang'ich shart:

$$(1.1') x_A(0) = x_A^{(0)}$$

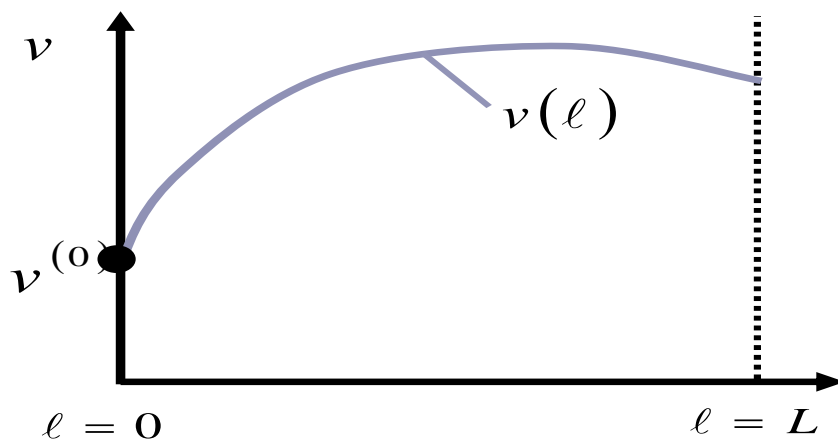
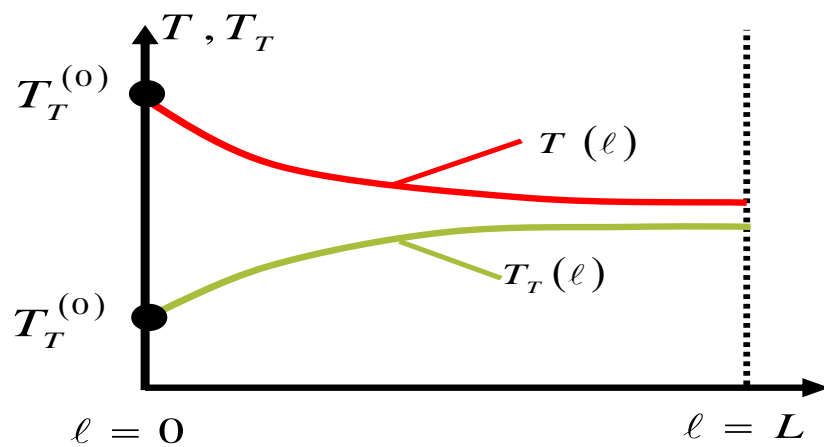
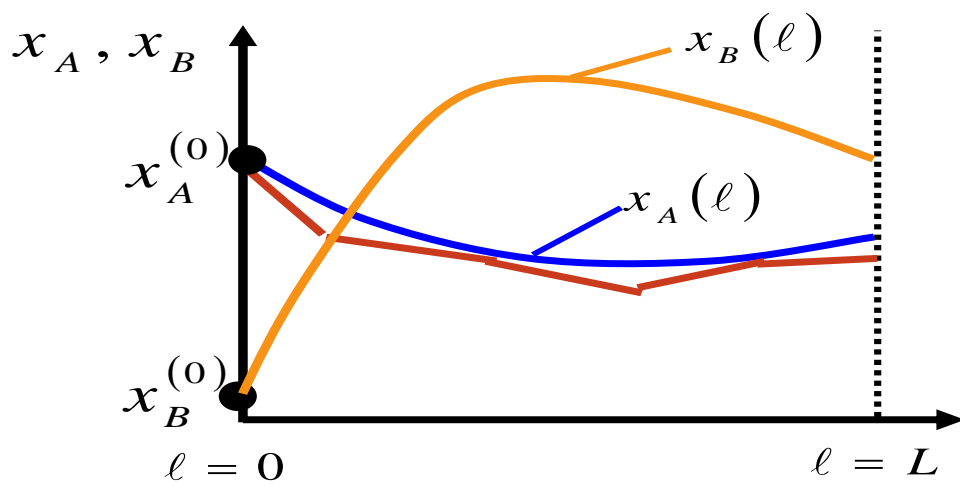
$$(1.2') x_B(0) = x_B^{(0)}$$

$$(5') v(0) = v^{(0)}$$

$$(6') T(0) = T^{(0)}$$

$$(11') T_T(0) = T_T^{(0)}$$

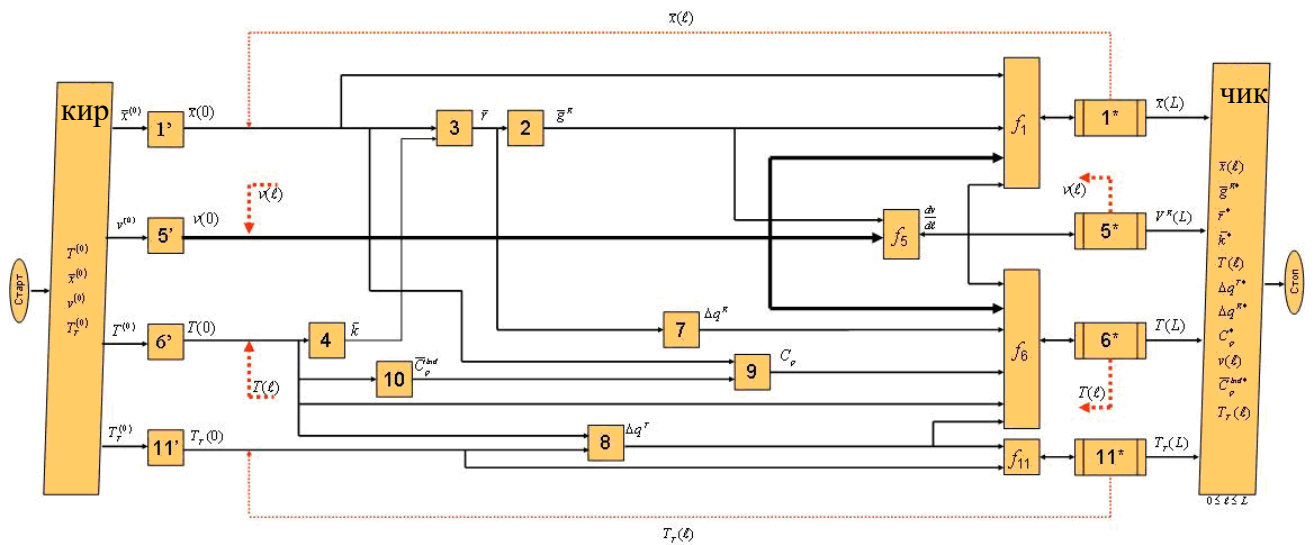
Kompyutyerda xususiy yechimni aniqlash uchun Koshi masalasi yoki boshlang'ich shartli masala yechiladi – «o‘rin almashish – urin almashish» issiqlik almashish apparatiga qarang (to‘g‘ri oqim).



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	$\bar{C}_{p(0)}$	$T_r(0)$	$T_r(L)$	N^o
$\bar{1}_{(n)}$ Диф. ур	+	+	+	+	+	+	+								+		+				14
$\bar{2}_{(n)}$							+	+													8
$\bar{3}_{(m)}$	+		+					+	+												7
$\bar{4}_{(m)}$									+	+											5
5^* Диф. ур															+	+	+				13
$5^* \cdot]$							+								+		+				12
6^* Диф. ур										+	+	+	+	+	+	+	+				15
7								+					+								10
8										+		+								+	9
9	+		+		+															+	11
$\bar{10}_{(n)}$										+										+	6
11^* Диф. 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:

$$1.1) \quad x_A \frac{dv}{dl} + v \frac{dx_A}{dl} = \frac{V_R}{L} g_A^R \Rightarrow \frac{dx_A}{dl} = \frac{V_R}{vL} g_A^R - \frac{x_A}{v} \frac{dv}{dl}$$

$$1.2) \quad \frac{dx_B}{dl} = \frac{V_R}{L} g_B^R - \frac{x_B}{v} \frac{dv}{dl}$$

$$1.3) \quad x_C = x_C^{(0)} - \frac{1}{2} (x_A - x_A^{(0)}) - \frac{1}{3} (x_B - x_B^{(0)})$$

$$2.1) \quad g_A^R = -2 \cdot r_1$$

$$2.2) \quad g_B^R = 3 \cdot r_1 - 3 \cdot r_2$$

$$2.3) \quad g_C^R = r_2$$

$$3.1) \quad r_1 = k_1 x_A^2$$

$$3.2) \quad r_2 = k_2 x_B^3$$

$$4.1) \quad k_1 = A_1 \exp(-E_1/RT)$$

$$4.2) \quad k_2 = A_2 \exp(-E_2/RT)$$

$$5) \quad \frac{dv}{d\ell} = \frac{V_R}{L} (g_A^R + g_B^R + g_C^R)$$

$$\frac{d(vT)}{d\ell} = \frac{V_R}{C_p L} \Delta q^R + \frac{F_T}{C_p L} \Delta q^T \Rightarrow$$

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:

$$(1.1') \quad x_A(0) = x_A^{(0)}$$

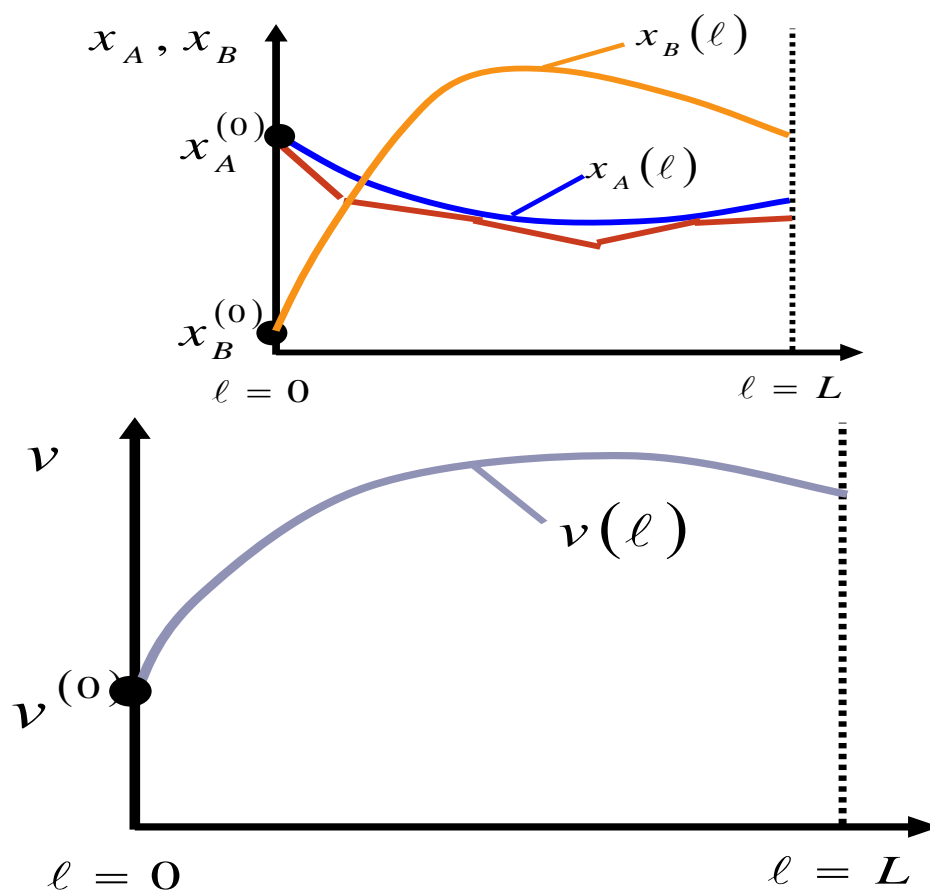
$$(1.2') \quad x_B(0) = x_B^{(0)}$$

$$(5') \quad v(0) = v^{(0)}$$

$$(6') \quad T(0) = T^{(0)}$$

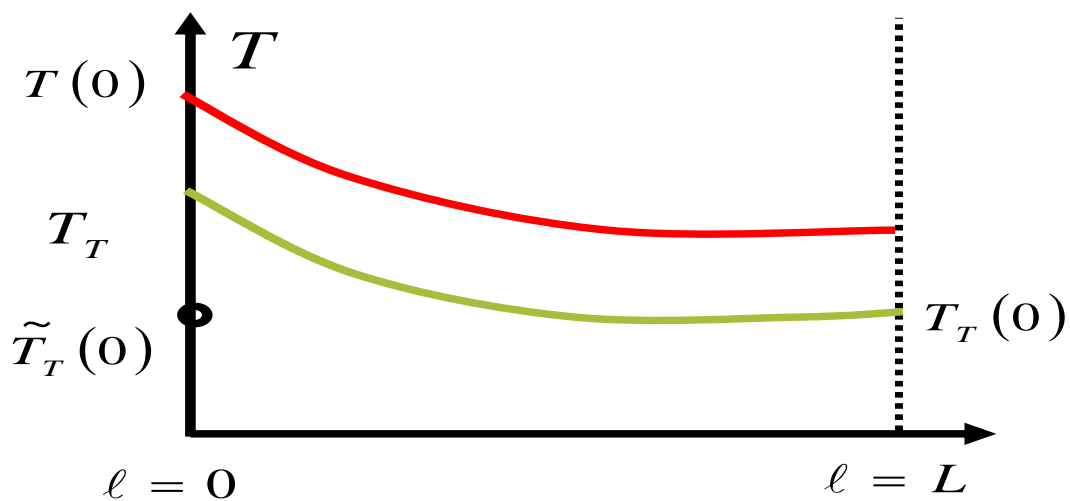
$$(11') \quad T_T(0) = T_T^{(0)}$$

Kompyuterda xususiy yechimni aniqlash uchun chegara shartli chegaraviy masala yechiladi – «o'rin almashish – o'rin almashish» issiqlik apparatiga qarang (teskari oqim).



Boshlang'ich yaqinlashish:

$\tilde{T}_T(0)$

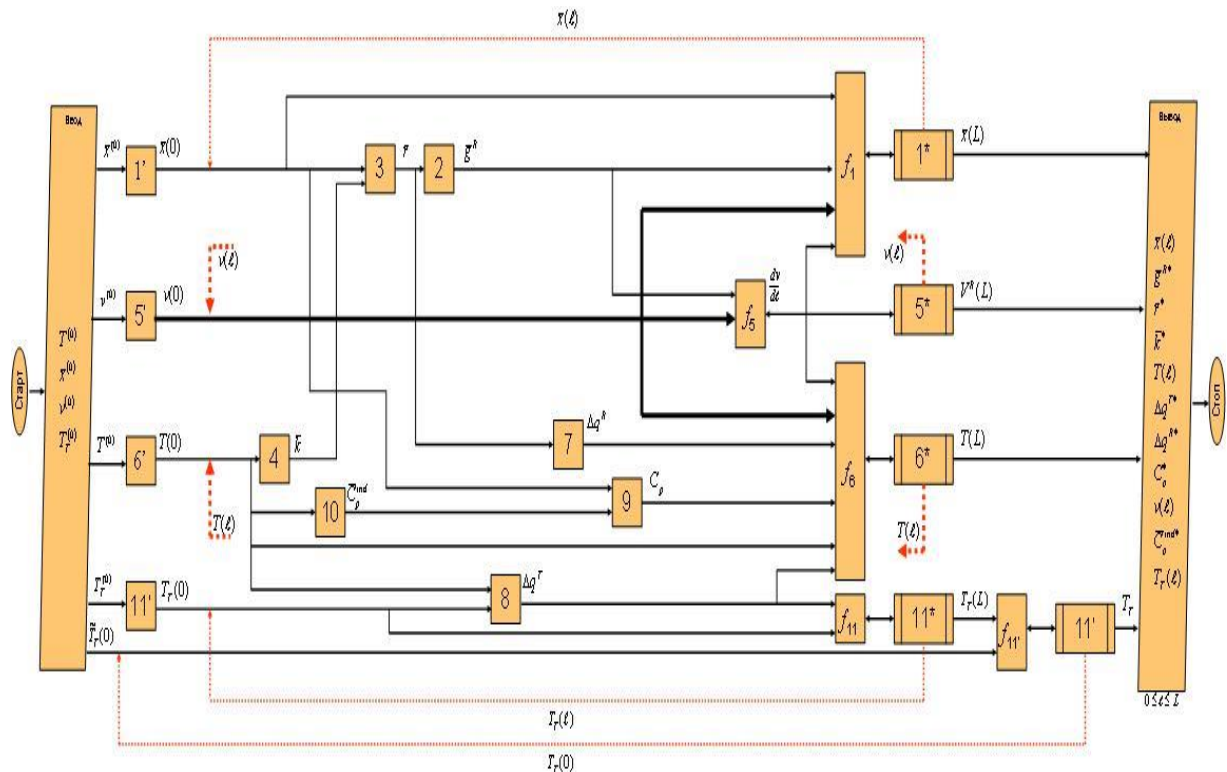


Tenglamada chegaraviy shart quyidagi kattalikka aylantiriladi: $\tilde{T}_T(0)$, ya'ni kirishga issiqlik tashuvchi haroratining kattaliklari.

Axborot matritsasi (teskari oqim)

n	P	$\bar{x}_{(n)}(0)$	$\bar{x}_{(n)}(L)$	$\bar{x}_{(n)}(0)$	$\bar{x}_{(n)}(L)$	$\bar{x}_{(n)}(0)$	$\bar{x}_{(n)}(L)$	$\bar{g}_{(n)}^R$	$\bar{r}_{(n)}$	$\bar{k}_{(n)}$	$\tau(0)$	$\tau(L)$	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	$\bar{1}_{(n)}$ 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	$\bar{1}_{(n)}$	+	+	+																		1
13	5'															+						2
14	6'										+											3
15	11'																				+	4

Hisoblash algoritmining blok-sxemasasi (teskari oqim)



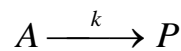
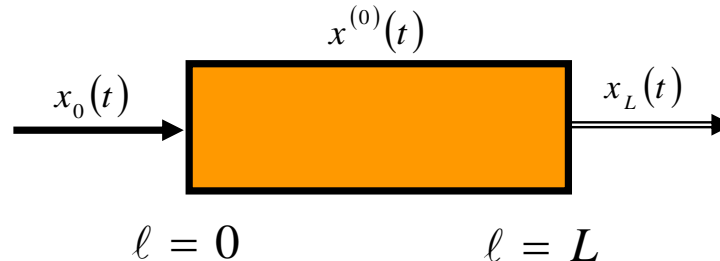
$$T_T(\ell = 0) \Rightarrow T_T(0)$$

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:

$$\frac{\partial x}{\partial t} \cong \frac{x_{j+1} - x_j}{\Delta t}$$

$$j = 1, \dots, m - 1$$

Natijada ℓ mustaqil o‘zgaruvchili 2 – tartibli oddiy differensial tenglamalar tizimi olinadi.

3) ℓ va t mustaqil o‘zgaruvchilar bo‘yicha:

$$\frac{\partial x}{\partial \ell} \cong \frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta \ell}$$

$$i = 1, \dots, n - 1$$

$$\frac{\partial x}{\partial t} \cong \frac{x_{j+1} - x_j}{\Delta t}$$

$$j = 1, \dots, m - 1$$

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:

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} \Big|_{\ell - \Delta \ell} \cong \frac{x_i - x_{i-1}}{\Delta \ell}$$

– «Ortiqchalik bo‘yicha» hosila:

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} \Big|_{\ell + \Delta \ell} \cong \frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta \ell}$$

– 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

$$\begin{bmatrix} \frac{dx_1}{dt} \\ \frac{dx_2}{dt} \\ \vdots \\ \frac{dx_{n-2}}{dt} \\ \frac{dx_{n-1}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b & c & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ a & b & c & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & a & b & c \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & a & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{n-2} \\ x_{n-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ax_0 \\ 0 \\ \vdots \\ cx_n \end{bmatrix},$$

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, Eyler 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.

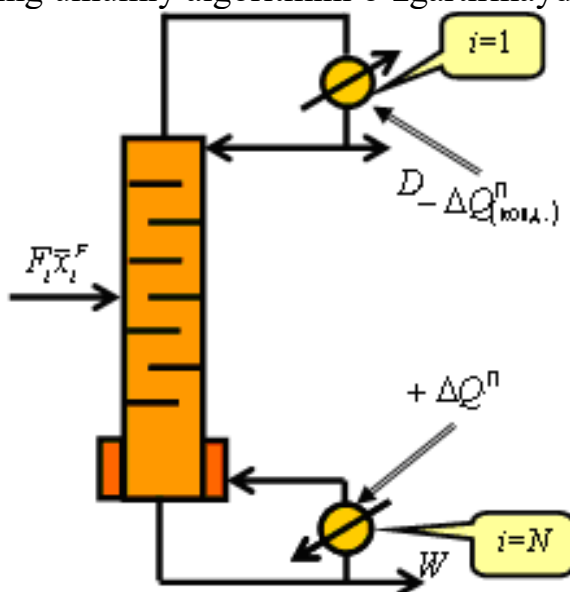
4.1.6. Tarelkali kolonnalardagi ko'p komponentli uzluksiz rektifikatsiya jarayonini kompyuterli modellashtirish, hisoblash va algoritmlashtirish

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 Merfening 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;

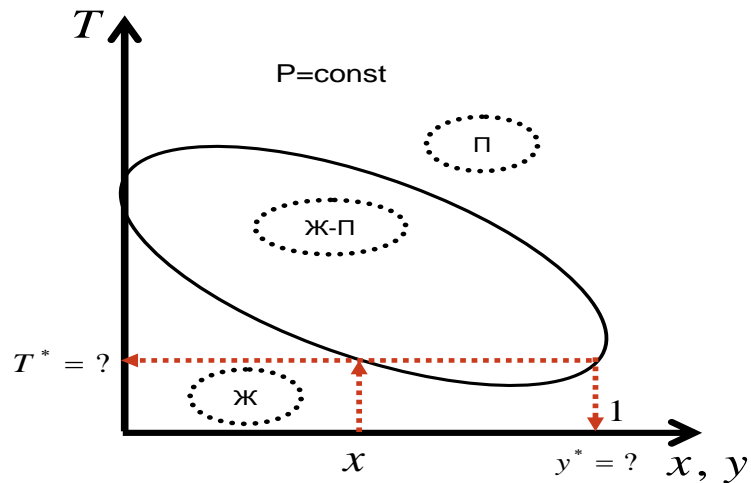
tarelkadagi ajralish jarayonining modelini uning samaradorligini hisobga olib (2), ya’ni ko‘p komponentli massa uzatishni hisobga olib qurish;

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:

$$K_j = \frac{P_j^0}{P}$$

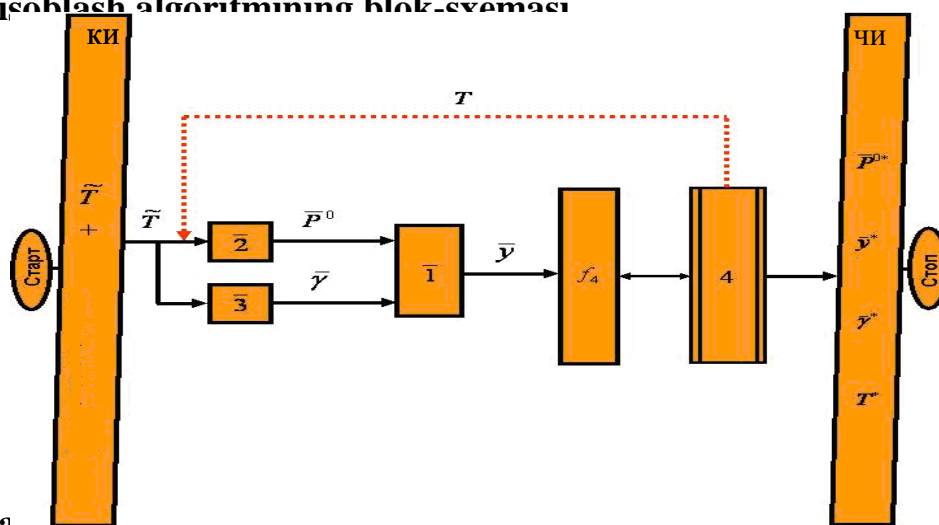
$$(j = 1, \dots, n)$$

va faqatgina haroratga bog‘liq, xuddi shunday Antuan tenglamasi P_j^0 faqat haroratga bog‘liq.

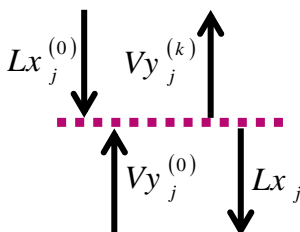
Natijada bug‘ fazasining muvozanat tarkibi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$y_j^* = K_j x_j \quad (j = 1, \dots, n)$$

Hisoblash algoritmining blok-sxemasi



Harakatlanuvchi oqimlar haroratlarini e'tiborga 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:

$$\bar{1}'n) \quad Lx_j^{(0)} - Lx_j + Vy_j^{(0)} - Vy_j^{(k)} = 0 \\ j = 1, \dots, n$$

$$\bar{3}n) \quad V \frac{dy_j}{dh} = \frac{F^M}{H} g_j^{M(v)} \\ j = 1, \dots, n;$$

$$\bar{4}'n) \quad g_j^{M(v)} = K_{jj}^{M(v)}(y_j^* - y_j) \\ j = 1, \dots, n$$

Oxirgi ifodani oldingisiga qo‘yib, integro - differensial tenglamalarning $2n$ tizimi olinadi:

$$\bar{1}'n) \quad Lx_j^{(0)} - Lx_j + Vy_j^{(0)} - Vy_j^{(k)} = 0 \\ j = 1, \dots, n$$

$$\bar{3}n) \quad V \frac{dy_j}{dh} = \frac{F^M}{H} K_{jj}^{M(v)}(y_j^* - y_j) \\ j = 1, \dots, n$$

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:

$$\bar{5}n) \quad K_j = \frac{P_j^{(0)}}{P}$$

$$j = 1, \dots, n$$

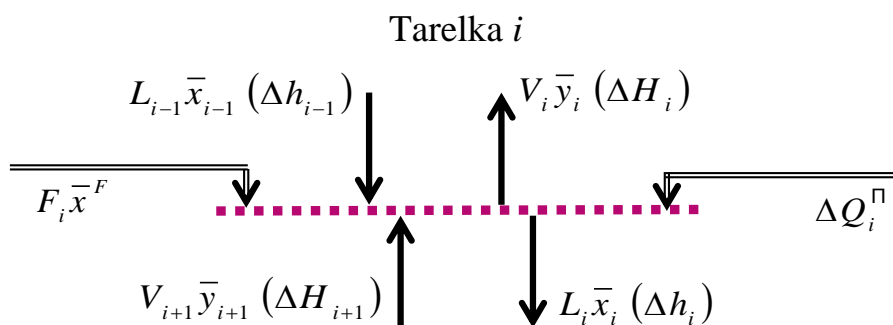
Ushbu holda individual modda to'yingan bug'ining bosimi Antuan tenglamasi bo'yicha aniqlanadi:

$$\bar{6}n) \quad P_j^{(0)} = \exp \left(A_j + \frac{B_j}{C_j + T} \right)$$

$$j = 1, \dots, n$$

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:

$\overline{x}_{N*n}; \overline{y}_{N*n}; \overline{E}_{N*n}; \overline{y}_{N*n}^*; \overline{K}_{N*n}; \overline{P}^{(0)}; \overline{T}_N; \overline{L}_N; \overline{V}_N; \overline{\Delta h}_N; \overline{\Delta H}_N; \overline{\Delta h}_{N*n}^{\text{ind}}; \overline{\Delta H}_{N*n}^{\text{ind}}$

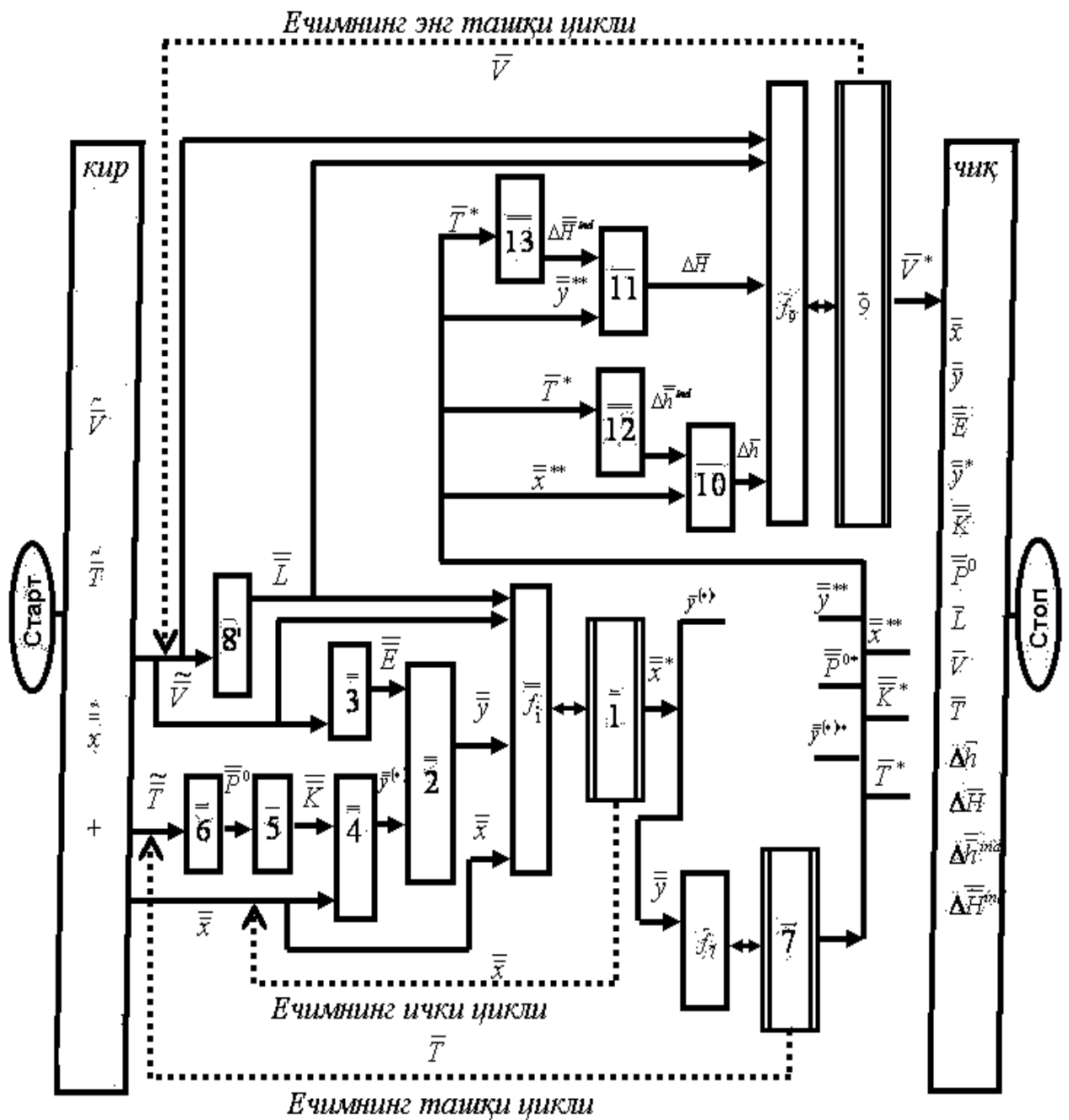
ya’ni yechish uchun quyida keltirilgan axborot matritsasidan foydalanib matematik dekompozitsiya usuli bilan yechiladigan nochiziqli tenglamalar tizimi (NTT) olinadi.

Axborot matritsasi

n	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
$\bar{8}^1$								◆	⊕						1
$\bar{9}$ <small>Kop. yp.</small>								⊕	◆		⊕	⊕			13
$\bar{10}$		⊕									◆		⊕		11
$\bar{11}$			⊕									◆		⊕	12
$\bar{12}$										⊕			◆		9
$\bar{13}$										⊕				◆	10

Tarekali rektifikatsiya kolonnasining statsionar rejimini VR (bubble point) usuli bilan hisoblash algoritmining blok – sxemasi

Yechimning eng tashqi sikli



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

$$L_{i-1}x_{i-1,j} - L_i x_{ij} + V_{i+1}K_{i+1,j}x_{i+1,j} - V_i K_{ij}y_{ij} + F_i x_{ij}^F = 0$$
$$i = 1, \dots, N$$
$$j = 1, \dots, n$$

Bu tenglamani har komponentning konsentratsiyasiga nisbatan n marta yozish mumkin (masalan, j komponentning):

$$f(x_{i-1,j}; x_{ij}; x_{i+1,j}) = 0$$
$$i = 1, \dots, N$$
$$j = 1, \dots, n$$

yoki(j komponent uchun):

$$f_1(x_{1,j}; x_{2,j}) = 0$$
$$f_2(x_{1,j}; x_{2,j}; x_{3,j}) = 0$$
$$f_{n-1}(x_{N-2,j}; x_{N-1,j}; x_{N,j}) = 0$$
$$f_n(x_{N-1,j}; x_{N,j}) = 0$$

Oxirgi tenglamalar tizimi uch diagonalli tenglamalar tizimini yechish usulidan foydalanilib, har bir komponent uchun n marta yechiladi.

$$f_1(x_{1,j}; x_{2,j}) = 0$$
$$f_2(x_{1,j}; x_{2,j}; x_{3,j}) = 0$$
$$f_{n-1}(x_{N-2,j}; x_{N-1,j}; x_{N,j}) = 0$$
$$f_n(x_{N-1,j}; x_{N,j}) = 0$$

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:

$$\bar{x}_{N \times n} = \begin{bmatrix} \text{Yech .1} & \text{Yech .2} & \dots & \text{Yech .n} \\ \text{Komp .1} & \text{Komp .2} & \dots & \text{Komp .n} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{Nn} \end{bmatrix}$$

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:

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} \{ \bar{T} \} = 1$$

$$i = 1, \dots, N$$

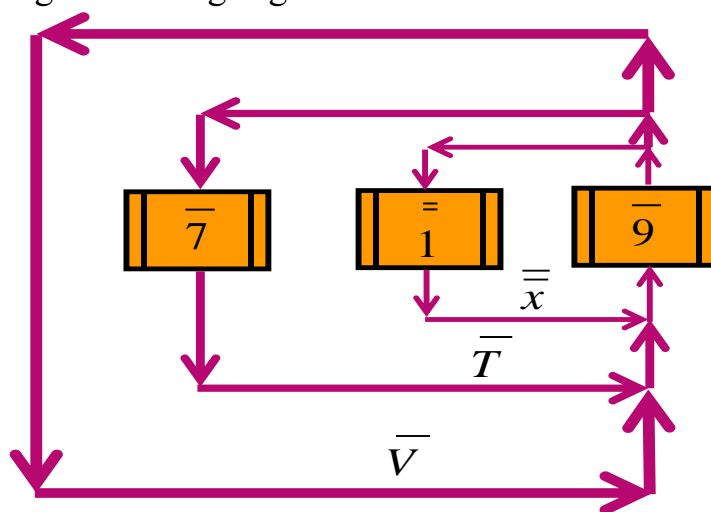
$$x_{ij}^{norm} \cdot (i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, n)$$

Eng tashqi iteratsion siklida $(\bar{9})$ nohiziqli tenglamalar tizimi \bar{V} ga nisbatan yechiladi:

$$F_i \Delta h_i^F + L_{i-1} \{ \bar{V} \} \Delta h_{i-1} \{ \bar{V} \} - L_i \{ \bar{V} \} \Delta h_i \{ \bar{V} \} + V_{i+1} \{ \bar{V} \} \Delta H_{i+1} \{ \bar{V} \} - V_i \{ \bar{V} \} \Delta H_i \{ \bar{V} \} + \Delta Q_i^H = 0$$

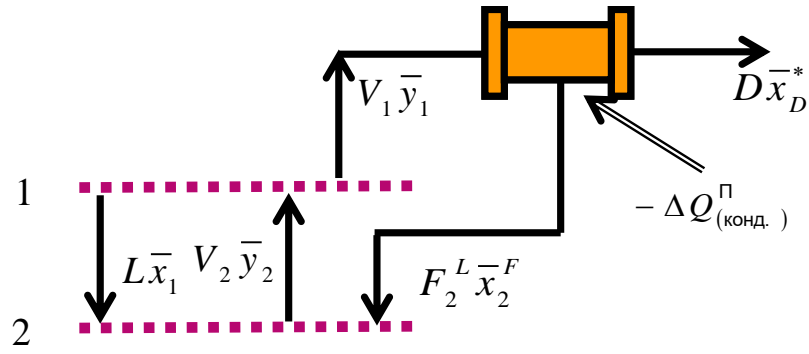
$$i = 1, \dots, N .$$

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:



$$\bar{1}n) \quad F_2^L x_{2j}^F = V_1 y_{1j} - Dx_{Dj}^*$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$\bar{2}n) \quad x_{Dj}^* = \frac{y_{1j}}{K_{1j}}$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$x_{2j}^F = \frac{V_1 y_{1j} - Dx_{Dj}^*}{V_1 - D}$$

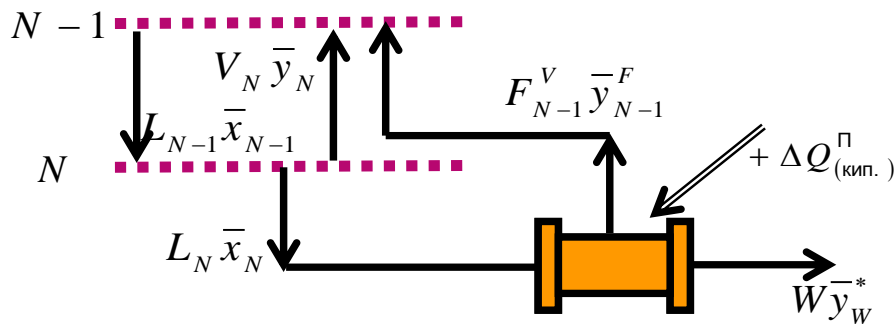
$$3) \quad F_{2j}^L = V_1 - D,$$

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:



$$\bar{1}n) \quad F_{N-1}^V y_{N-1,j}^F = L_N x_{N,j} - W y_{W,j}^*$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$\bar{2}n) \quad y_{Wj}^* = K_{N,j} x_{N,j}$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$y_{N-1,j}^F = \frac{L_N x_{N,j} - W y_{W,j}^*}{L_N - W}$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$3) \quad F_{N-1}^V = L_N - W ,$$

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. Modellarning monandligi qanday o‘rnatiladi?
12. Holat monandligi va xulq (xarakter) monandligi nima?
13. Qoldiq dispersiya, qayta tiklanish dispersiyasi va javob funksiyasining haqiqiy qiymatlari dispersiyalarining dispersiyaviy tahlili qanday va nima maqsadda amalga oshiriladi?
14. Regressiya tenglamasining monandligi qanday o‘rnatiladi?
15. Parallel sinovlar bo‘lmagandagi regressiya tenglamasining monandligi qanday o‘rnatiladi?
16. Regressiya koeffitsiyentlarining qo‘shma ishonchli sohasini qurish protsedurasi qanday?
17. Nima modellar monandligini tekshirish pozitsiyasiga ega regressiya koeffitsiyentlarining qo‘shma ishonchli sohasini o‘lcham va shakllari tahlilini

5-Мавзу: Ўлчаш тўғрисидаги умумий маълумотлар. Саноат корхоналарида қўлланиладиган технологик ўлчашлар ва асбоблар .

Режа:

1. Ўлчашлар.
2. Ўлчаш турлари.
3. Ўлчаш усуллари.
4. Метрология ҳақида тушунча.
5. Ҳалқаро (СИ) бирликлар тизими.
6. Бирликларнинг каррали ва улушли қийматлар.

Калит сўзлар: ўлчаш, технология, ўлчаш натижаси, бевосита ўлчаш, билвосита ўлчаш, бирлаштириб ўлчаш, мутлақ ўлчаш, нисбий ўлчаш.

1.1. Ўлчашлар.

Саноат қурилмаларини замонавий даражасининг ривожланиши катта бирлик қувватли мажмуалар қўлланиладиган технологик жараёнларнинг жадаллашуви билан тавсифланади. Масалан, иссиқлик энергетикасида бирлик қувват 30 йил мобайнида ўн баробар, атом энергетикасида эса юз баробар ошиб кетди. Технологик жараёнларнинг юз бериш тезлиги ҳам тахминан шунчага ўсди. Бугунги кунда битта мажмуада минглаб сондаги ўлчанадиган параметрларни аниқлаш мумкин. Кўпгина қолларда ўлчаш воситалари ва информацион – бошқарув тизимларининг ишончилиги бутун агрегатнинг ишончилиги билан белгиланади. Автоматик назорат ва параметрларнинг ишончили қийматларини билмасдан туриб улар орқали жараёнлар ва агрегатларни бошқариб бўлмайди. Жараён ва агрегатларни автоматлаштириш ва улар устида илмий изланишлар олиб боришда ўлчашлар муҳим роль ўйнайди.

Охириги ўн йиллик микропроцессорли техника нафақат иккиламчи ўзгартиргичларга балки бевосита технологик объектларга ўрнатилган бирламчи ўзгартиргичларга ҳам жадал ўрнатилаётганлиги билан тавсифланади. Микропроцессорли (интеллектуал) ўлчаш воситалари орқали ўлчаш натижаларига ишлов бериш, ўзгартириш ва уларни акс эттириш усуллариининг функционал имкониятлари ўзгартирилмоқда. Ушбу асбоблар асосан саноатнинг микропроцессорли бошқарув тизимлари ва илмий тадқиқотларнинг информацион – бошқарув тизимларини яратиш учун хизмат қилади. Микроэлектрон технология асосида бир қатор сезгир элементлар (сенсорлар) ишлаб чиқилган бўлиб, улар саноат шароитларида эритма ва газларнинг таркибидаги моддаларнинг микроконцентрацияларини назорат қилиш имконини беради. Улардан фойдаланиб технологик объектларнинг қолатини тезкор диагностика ва тақлил қилиш учун турли кўринишли асбоблар яратилган.

Дарсликда сертификацияланган ўлчаш воситаларининг ишлаши асос қилиб олинган физик қодиса ва ўлчаш принциплари кўриб чиқилган ва ўлчаш ўзгартиргичлари ва иккиламчи ўлчаш асбобларининг принципиал схемалари, уларнинг техник тавсифларини регламентлаштирувчи стандартлар

келтирилган. Саноатда қўлланиладиган ўлчов ва бошқарув тизимлари кўриб чиқилган ва улар ёрдамида инфор­мацион функцияларни амалга оширилиш усуллари ва сифати тақлил қилинган. Ўлчаш турли ташқи факторлар таъсир қилувчи сезгир элементлар, ўзгартиргичлар ва иккиламчи ўлчаш қурилмаларининг биргаликда ишла­шини акс эттирувчи ягона жараён кўринишида ифодаланган.

Сўнгги йиллардаги ўлчаш воситаларининг ишлаш принципларини эволюциясига нисбатан замонавий ўлчаш воситаларининг конструкциясини узлуксиз такомиллашиш тезлигини юқорилигидан келиб чиққан қолда дарсликда маълумотларни баён қилиш услуби ўлчаш воситаларининг ишлаш принци­пи ва уларнинг принципиал схемаларини тақлил қилишни ўз ичига олган. Шундан келиб чиққан қолда ўқувчи ўлчаш воситаларининг конструкцияси, уларни ўрнатиш ва созлаш қоидаларини тажриба ишларини бажариш давомида, шунингдек автоматлаштириш воситаларини лойиқалаш, ўрнатиш ва ишлатиш билан боғлиқ бўлган фанларни ўзлаштириш давомида ўрганади.

Ўлчаш — физик катталиқлар қийматларини тажрибада махсус техник воситалар ёрдамида аниқлаш.

Кўп ҳолларда ўлчаш жараёнида ўлчанаётган катталиқни шундай физик катталиқ билан таққосланадики, унга 1 га тенг бўлган қиймат берилади ва у физик катталиқ бирлиги ёки *ўлчов бирлиги* дейилади.

Ўлчаш натижаси — катталиқнинг ўлчаш усули билан, масалан, катталиқни ўлчов бирлиги билан таққослаш ёрдамида топилган қийматидан иборат. Ўлчаш натижасини тенглама кўринишида қуйидагича ёзиш мумкин:

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

бу ерда, Q —ўлчанаётган физик катталиқ, U — ўлчаш натижаси ёки ўлчанаётган катталиқнинг сон қиймати, q — физик катталиқ бирлиги.

(2.1) тенглама ўлчашнинг асосий тенгламаси дейилади. Унинг ўнг томони ўлчаш натижаси деб юритилади. Ўлчаш натижаси доимо ўлчамли катталиқ бўлиб, у ўз номига эга бўлган q бирликдан ҳамда айна бирликдан ўлчанаётган катталиқда нечта борлигини англатадиган U сондан ташкил топган.

Ўлчанаётган катталиқнинг сон қиймати бевосита, билвосита, бирлаштириб ва биргаликда ўлчаш усуллари ёрдамида топилади. Лаборатория амалиётида ва илмий текширишларда бирлаштириб ва биргаликда ўлчаш усуллари­дан фойдаланилади.

1.2. Ўлчаш турлари.

Бевосита ўлчаш деб шундай ўлчашга ай­тиладики, унда ўлчанаётган катталиқнинг изланаётган қиймати тажриба маълумотларидан бевосита аниқланади. Масалан, ҳароратни термометр билан, босимни манометр билан, узунликни чизғич билан ўлчаш ва ҳоказо бевосита ўлчашдан иборат.

Бевосита ўлчаш тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

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

бу ерда, $Q_{\text{бев}}$ — ўлчанаётган катталнкнинг унинг учун қабул қилинган ўлчов бирликларидаги қиймати; C —рақамли ҳисоблаш қурилмаси шкаласи бўлинмаларининг ёки бир марта кўрсатишининг ўлчанаётган катталик бирликларидаги қиймати; n — шкала бўлинмаларининг ҳисобида индикаторли қурилма бўйича олинган санок.

Билвосита ўлчаш деб шундай ўлчашга айтиладики, унда ўлчаш натижаси ўлчанаётган катталик билан маълум муносабат ёрдамида боғланган катталикларни бевосита ўлчашга асосланган бўлади. Билвосита ўлчаш тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

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

бу ерда, $Q_{\text{бил}}$. — ўлчанаётган катталикнинг изланган қиймати; Q_1, Q_2, \dots, Q_n бевосита ўлчанадиган катталикларнинг сон қийматлари.

Билвосита ўлчашга ўтказгичнинг солиштирма электр қаршилигини унинг қаршилиги, узунлиги ва кундаланг кесимини юзи бўйича топиш; модда зичлигини унинг массаси ва ҳажмини ўлчаш натижаси бўйича топиш ва бошқалар мисол бўла олади. Билвосита ўлчашлар бевосита ўлчашларнинг иложи бўлмаган ишлаб чиқариш жараёнларини назорат қилишда кенг қўлланади.

Бирлаштириб ўлчаш бир неча бир номли катталикларни бир вақтда ўлчашдан иборатки, унда изланган катталикларнинг қийматлари бевосита ўлчашда ҳосил қилинган тенгламалар тизимидан топилади.

Бир вақтда икки ёки бир неча номли турли катталикларни, уларнинг орасидаги функционал муносабатларни топиш учун олиб борилган ўлчашлар биргаликда ўлчаш дейилади. Жумладан ўлчаш резисторининг 20°C даги электр қаршилиги ва ҳарорат коэффицентлари унинг қаршилигини турли ҳароратларда бевосита ўлчаш маълумотлари бўйича топилади.

1.3. Ўлчаш усуллари.

Ўлчашлар яна мутлақ ва нисбий ўлчашларга бўлинади.

Битта ёки бир неча асосий катталикларни физик константалар қийматларидан фойдаланиб ёки фойдаланмасдан бевосита ўлчаш **мутлақ ўлчаш** деб аталади. Масалан, штангенциркуль ёрдамида бажарилган ўлчашлар мутлақ ўлчашдир, чунки унда ўлчанаётган катталик қийматини бевосита олинади.

Бирор катталикнинг шу исмли бирлик вазифасини бажараётган катталикка нисбатини ўлчаш ёки катталикни шу исмли бирлик катталик деб қабул қилинган катталик бўйича ўлчаш **нисбий ўлчаш** деб аталади. Масалан, ҳароратни термоэлектр эффектдан фойдаланишга асосланган ўлчаш ёки массани тортиш усули билан, яъни массага мутаносиб бўлган оғирлик кучидан фойдаланиш усули билан ўлчаш нисбий ўлчашдан иборат. Нисбий ўлчашдан катта аниқлик зарур бўлган ҳолларда фойдаланилади.

1.4. Метрология ҳақида тушунча.

Метрология — ўлчашлар, уни таъминлаш усуллари ва воситалари ҳамда талаб этилган аниқликка эришиш йуллари ҳақидаги фан. Метрологиянинг асосини ўлчашнинг умумий масалалари, физик катталиклар бирлиги ва уларнинг тизимлари ҳақидаги маълумотлар, ўлчашнинг усул ва воситалари, ўлчаш натижасининг тўғрилигини аниқлаш усуллари ва ҳоказолар ҳосил қилади. Ўлчашга доир физик катталиклар механик, электр, иссиқлик, оптик, акустик бўлиши мумкин. Бу катталикларнинг бир тури технологик жараён ривожланишининг бевосита кўрсаткичи бўлса, бошқалари шу жараён билан функционал боғланган бўлади.

Физик ходисаларни ўрганиш ва улардан амалда фойдаланиш турли физик катталикларни ўлчаш, яъни маълумот олиш билан боғлиқ. Маълумот қанча тўла ва холисона бўлса, физик ходисаларнинг туб маъносини тушуниш шунчалик чуқур бўлади. Физик катталиқнинг муайян қиймати технологик жараённинг ривожланиши ҳақидаги маълумотнинг муҳим қисмидир. Турли усул ва асбоблар орқали ифодаланган технологик жараённинг ҳолати ҳақидаги ахборотларни *маълумот*, яъни *информация* деб биламиз. Информациялар, асосан, ўлчаш асбоблари ва қурилмалари ёрдамида олинади.

Физик объектнинг сифат жиҳатдан умумий, лекин миқдор жиҳатдан ҳар бир объект учун алоҳида хусусияти *физик катталиқ* деб аталади. Шундай қилиб, ҳар бир физик катталиқ айнан шу катталиқнинг сонли қиймати бирлигига купайтмасидан иборат бўлган индивидуал қиймати билан ифодаланади.

Бир-бирига муайян эрксизлик билан боғланган катталиклар йиғиндиси *физик катталиклар тизими* дейилади. Физик катталиклар тизими асосий, кўшимча ва ҳосила катталиклардан иборат. Тизимга кирган ва бошқа тизимларга нисбатан шартли равишда эркин ҳисобланган физик катталиқ *асосий физик катталиқ* деб аталади.

1.5. Ҳалқаро (СИ) бирликлар тизими.

Ҳалқаро бирликлар тизими — СИ (Sisteme International - SI) фан ва техниканинг барча соҳалари учун физик катталикларнинг универсал тизими бўлиб, 1960 йилнинг октябрь ойида Ўлчов ва тарозилар XI Бош конференциясида қабул қилинган.

СИ нинг жорий этилиши шу тизимда назарда тутилган ва унинг таркибига кирмайдиган (аммо ҳозир ўлчов бирликлари сифатида қўлланилаётган) бирликларнинг илмий-тадқиқот натижаларини ҳисоблашда, ишлаб чиқариш воситалари ва асбоб ускуналарини лойиҳалашда, қурилиш ҳамда қурилган объектлардан фойдаланишда, шунингдек ўқув-таълим ишларида кўп қийинчиликлар туғдираётган ўлчов бирликларидаги турли ҳилликка барҳам беради. СИ нинг ҳозирги қўлланилаётган айрим ўлчов тизимларига нисбатан муҳим афзаллиги шундаки, у —универсал; ўлчов бирликларини бирхиллаштирган; асосий, кўшимча ва ўз ҳосилавий бирликларини амалиёт учун қулай ўлчамларга мужассамлаштирган; когерент, яъни ҳосилавий бирликлар ўлчамларини аниқловчи физик тенгламалардаги

мутаносиблик коэффицентларини тугатган тизимидир. Унинг татбиқи билан хисоблаш тенгламаларининг ёзилиши анча соддалашди.

Халқаро бирликлар тизими (СИ) да еттита асосий ва иккита қўшимча катталик қабул қилинган. Шунингдек, улар асосида кўпгина ҳосилавий катталиклар ва уларнинг бирликлари ҳам тасдиқланган. 1.1-жадвалда халқаро бирликлар тизими (СИ) да ифодаланган асосий ва қўшимча ҳамда ўқув жараёнида тез-тез учраб турадиган муҳим ҳосилавий катталикларнинг ўлчов бирликлари, белгилари келтирилган.

1.1 жадвал.

Халқаро (СИ) бирликлар тизими

Тартиб №	Катталиклар	Ўлчов бирлиги	Қисқартирилган белгилари		Ҳосила бирликлар ўлчови
			Ўзбекча	халқаро	
Асосий бирликлар					
1	Узунлик	Метр	М	m	-
2	Масса	Килограмм	Кг	kg	-
3	Вақт	Секунд	С	S	-
4	Ток кучи	Ампер	А	A	-
5	Термодинамик	Кельвин градуси	К	K	-
6	Ёруғлик кучи	Кандела	Кд	cd	-
7	Модда миқдори	моль	Моль	mol	-
Қўшимча бирликлар					
1	Ясси бурчак	радиан	Рад	rad	-
2	Фазовий бурчак	стерадиан	Ср	sr	-
Ҳосила бирликлар					
1	Юза	метр квадрат	м ²	m ²	i (м) ²
2	Ҳажм	метр куб	м ³	m ³	I (м) ³
3	Частота	Герц	Гц	Hz	I:(с)
4	Зичлик	Килограмм тақсим метр куб	кг/м ³	kg/ m ³	(1кг):(1м ³)
5	Тезлик	метр тақсим секунд	м/с	m/s	(1м):(1с)
6	Бурчак тезлик	радиан тақсим секунд	рад/с	rad/s	(1рад):(1с)
7	Тезланиш	метр тақсим секунд квадрат	м/с ²	m/s ²	(1м):(1с) ²
8	Бурчак тезланиш	радиан тақсим секунд квадрат	рад/с ²	rad/s ²	(1рад):(1с) ²
9	Куч	Ньютон	Н	N	(1кг):(1м):(1с) ²

10	Босим	ньютон тақсим метр квадрат	H/m^2	N/m^2	$(1\text{H}):(1\text{m})^2$
11	Динамик қовушоқлик	Ньютон кўпайтирилган секунд тақсим метр	$\text{H}\cdot\text{с}/\text{m}^2$	$\text{N}\cdot\text{S}/\text{m}^2$	$(1\text{H})\cdot(1\text{с}):(1\text{m})^2$
12	Кинематик қовушоқлик	метр квад. тақсим секунд	$\text{m}^2/\text{с}$	m^2/s	$(1\text{m})^2:(1\text{с})$
13	Иш, энергия, иссиқлик миқдори	жоуль	Ж	J	$(1\text{Ж}):(1\text{с})$
14	Қувват	ватт	Вт	W	$(1\text{Ж}):(1\text{с})$
15	Электр миқдори	кулон	Кл	G	$(1\text{A}):(1\text{с})$
16	Электр кучланиш, жлектр потенциаллар айирмаси, электр юритувчи куч	вольт	В	V	$(1\text{Вт}):(1\text{A})$
17	Электр майдони нучланганлиги	вольт тақсим метр	$\text{В}/\text{м}$	V/m	$(1\text{В}):(1\text{м})$
18	Электр қаршилик	Ом	Ом	Ω	$(1\text{Вт}):(1\text{A})$
Тартиб №	Катталиклар	Ўлчов бирлиги	Қисқартирилган белгилари		Ҳосила бирликлар ўлчови
			Ўзбекча	халқаро	
19	Электр сиғим	Фарада	Ф	F	$(1\text{К}):(1\text{В})$
20	Магнит индукцияси оқими	Вебер	ВБ	Wb	$(1\text{к}):(1\text{Ом})$
21	Индуктивлик	генри	Гн	H	$(1\text{Вб}):(1\text{A})$
22	Магнит индукцияси	тесла	Тл	T	$(1\text{Вб}):(1\text{м})^2$
23	Магнит майдони кучланганлиги	ампер тақсим метр	A/M	A/m	$(1\text{A}):(1\text{м})$
24	Магнит юритувчи куч	Ампер	A	A	(1A)
25	Ёруғлик оқими	Люмен	Лм	Lm	$(1\text{қд}):(1\text{ср})$
26	Равшанлик	кандела тақсим метр квадрат	$\text{кд}/\text{м}^2$	cd/m^2	$(1\text{кA}):(1\text{м})^2$

		метр квадрат ёки нит люкс			
27	Ёритилиш даражаси	Люкс	ЛК	Lk	(1лм):(1м) ²

1.6.Бирликларнинг каррали ва улушли қийматлар.

Шундай соҳалар борки, унда СИ бирликларини ишлатиш ҳисоблашларда бир оз қийинчиликлар туғдиради. Масалан, СИ га биноан массани доимо килограммларда ўлчаш ноқулай. У гоҳ грамм (г) ларда ифодаланса, гоҳ тонна (т) ларда ўлчанади. Шу сабабли массани грамм (г), миллиграмм (мг), тонна (т) каби бирликларда ифодалаш қулай. Улар асосида масса ҳисобини шу бирликларда олиб бориш хато ҳисобланмайди.

Шунинг учун, баъзи ҳисоблашларда қулайлик яратиш мақсадида бирликларнинг ўнлик каррали ва улушли қийматларидан фойдаланилади.

Бирликларнинг ўнлик каррали ва улушли қийматлари барча бирликлардан эмас, балки амалий ҳисобларда қулайлик яратадиган бирликлардангина ҳосил қилинади. Шундай соҳалар ҳам борки, уларда доимо каррали ёки улушли бирликлардангина ишлатилади (масалан, чизмачиликда уларнинг ўлчамлари фақат миллиметр — мм да ифодаланади).

1.2-жадвал.

Бирликларнинг каррали ва улушли қийматлар

№№	Катталиқ номи	Белгилари		
		СИ бирликлари	СИ нинг каррали ва улушли бирликлари	СИ га кирмаган бирликлар
1	Узунлик	м (метр)	км; см; мм; мкм; нм.	
2	Юза	м ² (метр квадрат)	км ² ; дм ² ; см ² мм ²	
3	Ҳажм ва сиғим	м ³ (метр куб)	дм ³ ; см ³ ; мм ³	л (литр)
4	Ясси бурчак	рад (радиан)	мрад; мкрад	... ⁰ , (градус) ...' ['] (минут) ...'' ^{''} (секунд)
5	Вақт	с (секунд)	кс; мс; мкс;	Сут (сутка) Соат (соат, мин)
6	Тезлик	м/с	-	км/соат
7	Айланишлар такрорлиги	с ⁻¹	-	мин ⁻¹
8	Масса	кг (килограмм)	Мг; г; мг; мкг	т (тонна)
9	Куч, оғирлик	Н (ньютон)	МН; кН; мкН	
10	Куч моменти	Н·м	МН·м; кН·м; мкН·м	
11	Босим	Па (паскаль)	ГПа; МПа; кПа;	

			мкПа	
12	Динамик ковушқоқлик	Па·с	мПа·с	
13	Кинетик ковушқоқлик	м ² /с	мм ² /с	
14	Энергия, иш	Ж (жоуль)	ТЖ; ГЖ; МЖ; кЖ; мЖ	ЭВ (электрон вольт)
15	Қувват	Вт (ватт)	ГВт; МВт; кВт; мкВт	
16	Ҳарорат	К (кельвин)	МК; кК; мкК	
17	Электр токи (электр токининг кучи)	А (ампер)	кА; МА; мкА; нА; пА	
18	Электр миқдори, электр заряд	Кл (Кулон)	мКл; мкКл; нКл; пКл	
19	Модда миқдори	моль	кмоль; ммоль; мкмоль	
20	Моляр масса	кг/моль	г/моль	

1.1 ва 1.2- жадвалларда фан, техника ва халқ хўжалигининг турли соҳаларида кенг қўлланиладиган бирликларнинг ўнлик каррали ва улушли қийматлари келтирилган.

6-Мавзу: Ўлчаш хатоликлари. Ўлчаш воситаларининг структуравий схемаси тўғрисида умумий тушунчалар.

Режа:

1. Ўлчаш хатоликлари, уларнинг табақаланиши.
2. Мунтазам хатоликлар ва уларни камайтириш усуллари.

Таянч сўз ва иборалар: ўлчаш хатоликлари, абсолют хатолик, ўлчаш асбобларининг хатолиги, статистик ва динамик хатоликлар, мунтазам хатоликлар.

1. Ўлчаш хатоликлари, уларнинг табақаланиши.

Ўлчаш натижасида, одатда, ўлчанаётган катталиқнинг ҳақиқий қийматидан фарқ қиладиган қиймати топилади. Қўпинча, физик катталиқнинг ҳақиқий қиймати номаълум бўлади ва шу катталиқнинг қиймати ўрнида унинг тажриба ёрдамида топилган қийматларидан фойдаланилади. Бу қиймат катталиқнинг ҳақиқий қийматига шунча яқин бўладики кўзда тутилган мақсад учун ундан фойдаланиш мумкин. Катталиқнинг ўлчаш усули билан топилган қиймати **ўлчаш натижаси** дейилади. Ўлчаш натижаси билан ўлчанаётган катталиқнинг ҳақиқий қиймати орасидаги фарқ **ўлчаш хатолиги** дейилади.

Ўлчанаётган катталиқ бирликларида ифодаланган ўлчаш хатолиги ўлчашнинг **мутлақ хатолиги** дейилади:

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

бу ерда, ΔX — мутлақ хатолик; X — ўлчаш натижаси; X_x — ўлчанаётган катталиқнинг хақиқий қиймати.

Ўлчаш мутлақ хатолигининг ўлчанаётган катталиқнинг хақиқий қийматига нисбати ўлчашнинг **нисбий хатолиги** дейилади.

Ўлчаш хатоликлари уларнинг келиб чиқиши сабабларига кўра мунтазам, тасодифий ва қўпол хатоликларга бўлинади.

Мунтазам хатолик дейилганда фақат битта катталиқни қайта-қайта ўлчаганда ўзгармас бўлиб қоладиган ёки бирор қонун бўйича ўзгарадиган ўлчаш хатолиги тушунилади. Улар аниқ қиймат ва ишорага эга бўлади, уларни тузатмалар киртиш билан йўқотиш мумкин.

Катталиқни ўлчаш натижасида олган қийматга мунтазам хатоликни йўқотиш мақсадида кўшиладиган қиймат тузатма деб аталади. Одатда, мунтазам хатоликлар инструментал (ўлчаш асбоблари), ўлчаш усуллари, субъектив (ноаниқ ўқиш), ўрнатиш, услубий хатоликларга бўлинади.

Инструментал хатолик дейилганда қўлланаётган ўлчов асбоблари хатоликларига боғлиқ бўлган ўлчаш хатоликлари тушунилади. Юқори аниқликда ўлчайдиган асбоблар қўлланганда ўлчов асбобларининг такомиллашмагани орқасида келиб чиқадиган инструментал хатоликлар тузатма киритиш усули билан йўқотилади. Техник ўлчов асбобларининг инструментал хатоликларини йўқотиб бўлмайди, чунки бу асбобларни текширилганда тузатмалар билан таъминланмайди.

Ўлчаш усули хатолиги дейилганда усулнинг такомиллашмаганлиги орқасида келиб чиқадиган хатолик тушунилади. Улар, кўпинча, янги усуллар қўллаганда, қийматлар орасидаги хақиқий боғланишни тахминий аппроксимация қилувчи тенгламалардан фойдаланилганда пайдо бўлади. Ўлчаш усули хатолиги ўлчов воситаси, хусусан, ўлчаш қурилмаси, баъзида эса, ўлчаш натижаси хатоликларини баҳолашда эътиборга олиниши лозим.

Субъектив хатоликлар кузатувчининг шахсий хусусиятларидан масалан, бирор сигнал берилган пайтда қайд қилишда кечикиш ёки шошилишдан, шкала бир бўлими чегарасида кўрсатувни нотўғри ёзиб олишдан, параллаксдан ва ҳоказодан келиб чиқади. Параллаксдан ҳосил бўлган хатолик дейилганда санаш хатолигига кирадиган, шкала сиртидан бирор масофада жойлашган стрелка шу сиртга перпендикуляр бўлмаган йўналишда визирлаш (белгилаш) натижасида келиб чиқадиган хатолик тушунилади.

Ўрнатиш хатолиги ўлчов асбоби стрелкасининг шкала бошланғич белгисига нотўғри ўрнатилиши натижасида ёки ўлчаш воситасини эътиборсизлик билан, масалан, вертикал ёки горизонтал бўйича ўрнатилмаслиги натижасида келиб чиқади.

Ўлчаш услуби хатоликлари катталиқларни (босим ҳарорат ва б. ни) ўлчаш услуби билан боғлиқ бўлган ва қўлланаётган ўлчаш асбобларига боғлиқ бўлмаган хатоликларидан иборат.

Ўлчашларни, айниқса, аниқ ўлчашларни бажаришда ўлчаш натижасини мунтазам хатоликлар анчагина бузиши мумкин. Шунинг учун, ўлчашларни бажаришга киришишдан аввал бу хатоликларнинг барча манбаларини аниқлаш ва уларни йўқотиш чораларини кўриш зарур. Аммо мунтазам хатоликларни топиш ва йўқотиш учун узил-кесил қоидалар бериш амалда мумкин эмас, чунки турли катталикларни ўлчаш усуллари ғоятда турли-тумандир.

Тасодифий хатолик дейилганда фақат битта катталикни қайта-қайта ўлчаш мобайнида тасодифий ўзгарувчи ўлчаш хатолиги тушунилади. Тасодифий хатоликнинг борлигини фақат битта катталикни бир хил синчковлик билан қайта-қайта ўлчангандагина сезиш мумкин. Агар хар бир ўлчаш натижаси бошқалардан фарқ қилса, у ҳолда тасодифий хатолик мавжуд бўлади. Шу хатоликларни баҳолаш эҳтимоллар назарияси ва математик статистика назариясига асосланган бўлиб, улар ўлчаш натижаси ўлчанаётган катталикнинг ҳақиқий қийматига яқинлашиш даражасини баҳолаш усуллари, хатоликнинг эҳтимолий чегарасини баҳолаш имконини беради, яъни натижани аниқлаш, бошқача айтганда, ўлчанаётган катталикнинг ҳақиқий қийматига анчагина яқин қийматини топиш ва кузатиш натижасини топиш имконини беради.

Ўлчашнинг кўпол хатолиги дейилганда берилган шартлар бажарилганда юз берадиган, кутилган натижадан тубдан фарқ қиладиган ўлчаш хатолиги тушунилади.

Ўлчашдан кўзда тутилган мақсад ва ўлчаш аниқлигига қўйиладиган талабларга қараб ўлчашлар *аниқ (лаборатория)* ва *техник ўлчашларга* бўлинади. Ўлчаш натижасининг ўлча-наётган катталик ҳақиқий қийматига яқинлигини ифодаловчи ўлчаш сифати ўлчаш аниқлиги деб аталади. Аниқликни оширишга интилиб, биз ўлчаш хатолигини камайтиришимиз лозим. Аммо аниқликни ошириш усуллари, кўпинча, мураккаб бўлади ва қиммат туради. Шунинг учун, аввал ўлчашнинг конкрет шарт-шароитлари ва мақсадларга боғлиқ бўлган мақбул аниқликни баҳолаб олиш ва зарур бўлса, сўнгра аниқликни ошириш чораларини кўриш лозим. Ўлчашни бажарувчи асбобларнинг кўрсатиши ўлчанаётган катталикнинг ҳақиқий қийматидан фарқ қилади. Шунинг учун, ўлчов асбобининг кўрсатиши ва ҳақиқий кўрсатиши деган тушунчалар мавжуд.

Катталикнинг санокқа кўра топилган қиймати ўлчов асбобининг кўрсатиши дейилади. Бу катталикнинг намуна асбоблар орқали аниқланган кўрсатиши ҳақиқий кўрсатиши дейилади.

Асбобнинг кўрсатиши ва ўлчанаётган катталикнинг ҳақиқий қиймати орасидаги фарқ ўлчов асбобининг хатоси дейилади. Катталикнинг ҳақиқий қийматини аниқлаш мумкин бўлмагани сабабли, ўлчов техникасида намуна асбобнинг кўрсатиши шу катталикнинг ҳақиқий қиймати деб қабул қилинади.

Агар X_k билан санок кўрсатишидаги қийматни, X_x билан ҳақиқий қийматни белгиласак, қуйидаги ифодадан ΔX мутлақ хатоликни топамиз:

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

Ўлчов асбобининг мутлақ хатолиги деб, шу асбобнинг кўрсатиши билан ўлчанаётган катталиқнинг ҳақиқий қиймати орадаги фарққа айтилади. Бу ерда, хатоликлар плюс ёки минус ишораси билан катталиқнинг бирликларида ифодаланади. Мутлақ хатолик катталигининг ҳақиқий қийматига нисбати нисбий хатолик деб аталади. Нисбий хатолик орқали ўлчашнинг аниқлик даражасини ифодалаш жуда қулай.

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

Одатда, ҳақиқий қиймат — X_k ва топилган қийматлар X_x га нисбатан ΔX жуда кичик бўлади, яъни

$$\Delta X \ll X_x \quad \text{ва} \quad \Delta X \ll X_k$$

Шунинг учун, қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

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

Шундай қилиб, нисбий хатоликни ҳисоблашда мутлақ хатоликнинг асбобнинг кўрсатишига нисбатини олиш мумкин. Нисбий хатолик % ларда ифодаланади.

Катталиқнинг ҳақиқий қийматини аниқлаш учун ўлчов асбобининг кўрсатишига тузатиш киритилади. Унинг сон қиймати тесқари ишора билан олинган мутлақ қийматга тенг:

$$T = X_x - X_k \quad \text{ёки} \quad T = -\Delta X \quad (2.5)$$

бу ерда, T -тузатма.

Асбобнинг хатолиги шкала диапазонининг фоизларида ифодаланади. Бундай хатоликлар келтирилган хатолик дейилади ва мутлақ хатоликнинг асбоб ўлчаш чегарасига нисбатига тенг, яъни

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

бу ерда, N — асбобнинг ўлчаш чегараси.

Мисол. Юқориги ўлчаш чегараси 3000 С бўлган потенциометрнинг кўрсатиши $X_k = 2400\text{С}$ ва ўлчанаётган ҳароратнинг ҳақиқий қиймати $X_x = 241,2^\circ\text{С}$ бўлганидаги мутлақ, нисбий, келтирилган хатоликлари топилсин.

Мутлақ хатолик (2.2) ифода бўйича $\Delta X = -1,2^\circ\text{С}$, нисбий хатолик (2.4) ифода бўйича $b = -0,5\%$, келтирилган хатолик (2.6) ифода бўйича $j = 0,4\%$.

Хатолик қиймати ўлчаш асбоби аниқлигини, демак, ўлчаш натижасини ҳам характерлайди. Ўлчаш аниқ бўлиши учун хатоси кичик бўлган асбоблардан фойдаланиш лозим. Аммо хатосиз асбоблар тайёрлаш мумкин эмас. Хатоси кичик бўлган асбоблар билан ишлашда катта эҳтиёткорлик талаб этилади. Техник ўлчашлар учун белгиланган қийматдан ошмайдиган йўл қўйиладиган хатоси бор асбоблардан фойдаланилади.

Асбоб кўрсатишининг стандарт йўл қўядиган энг катта хатолиги йўл қўйиладиган хатолик дейилади. Хатолик миқдори ўлчашлар олиб борилаётган ташқи муҳитга (атроф муҳит ҳарорати, атмосфера босими, тебраниш ва

бошқаларга) боғлиқ бўлгани сабабли асосий ва қўшимча хатоликлар тушунчалари киритилади.

Ўлчаш асбоби учун техник шароитлар имкон берган, махсус яратилган нормал иш шароитида йўл қўйилган хато асосий хатолик дейилади. Атроф-муҳитнинг нормал ҳолати деб 20°C ҳарорат ва 101325 Н/м² (760 мм сим. уст) атмосфера босими қабул қилинган. Ташқи шароит ўзгаришининг асбобларга бўлган таъсиридан келиб чиққан хато қўшимча хатоликдир. Ўлчов асбобларининг сифати уларнинг хатоликларидан ташқари асбоблар вариацияси, сезгирлиги ва сезгирлик чегараси билан характерланади.

Бир катталикни кўп марта такрорий ўлчашлар натижасида асбоб кўрсатишлари орасидаги энг катта фарқ ўлчов асбобининг вариацияси дейилади. Вариация ўлчанаётган катталикни маълум бир миқдоргача аста-секин ошириб ва камайтириб аниқланади. Вариация ўлчов асбобининг механизми, оралиқлари, гистерезиси ва бошқа қисмлардаги ишқаланиши сабабли келиб чиқади. Вариация (V) ўлчов асбоби шкаласи максимал қийматининг фоизи ҳисобида ифодаланиб, асосий йўл қўйиладиган хатолик қийматидан ошиб кетмаслиги лозим:

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

бу ерда, $\Delta N'$ — асбоб кўрсатишидаги энг катта фарқ; N_{\max} ва N_{\min} — асбоб шкаласининг юқори ва қуйи қийматлари.

Ўлчаш воситалари ўлчашларда ишлатилади ва улар нормаллашган метрологик хоссаларга, яъни катталикларнинг маълум сонли қийматларига ҳамда ўлчаш натижаларининг аниқлиги ва ишончилигини ифодаловчи хоссаларига эга бўлади.

Ўлчаш воситаларининг асосий турларига ўлчовлар, ўлчаш асбоблари, ўлчаш ўзгарткичлари ва ўлчаш қурилмалари киради.

Ўлчов — берилган ўлчамдаги физик катталикни қайта ўлчаш учун мўлжалланган ўлчаш воситаси. Масалан, қадоктош — масса ўлчови; ўлчов резистори — электр қаршилик ўлчови; ёритиш лампаси — ёруғлик ўлчови ва ҳоказо.

Бир хил ўлчамли турли физик катталикни қайта ўлчайдиган бир қийматли ҳамда турли ўлчамдаги қатор бир номли катталикларни қайта ўлчайдиган кўп қийматли ўлчовлар бор. Кўп қийматли ўлчовларга бўлинмали чизғичлар, индуктивлик вариометри ва бошқалар мисол бўла олади. Махсус танланган, фақат алоҳидагина эмас, балки турли бирикмаларда турли ўлчамли қатор бир номли катталикларни қайта ўлчаш мақсадида қўлланиладиган ўлчовлар комплекти ўлчовлар тўпламини ташкил этади. Масалан, қадоктошлар тўплами, учликли узунлик ўлчовлари тўплами, ўлчов конденсаторлари тўплами ва ҳоказо. Ўлчовлар магазини—саноқ қурилмалари билан боғланган махсус қайта улагичларга эга бўлган битта конструктив бутун қилиб бирлаштирилган ўлчовлар тўплами. Ўлчовлар магазини электротехникада кенг қўлланилади: қаршилик магазини, сиғимлар магазини, индуктивликлар магазини.

Ўлчовларга стандарт намуналар ва намуна моддалар ҳам киради.

Стандарт намуна — модда ва материалларнинг хоссаларини ёки таркибини характерловчи катталикларнинг бирлигини қайта тиклаш учун ўлчов. Масалан, таркибидаги кимёвий элементлари кўрсатилган ферромагнит материаллар хоссаларнинг стандарт намунаси.

Намуна модда — тасдиқланган спецификацияда кўрсатилган, тайёрлаш шартларига риоя қилинганда тикланадиган маълум хоссаларга эга бўлган моддадан иборат ўлчов. Масалан, «тоза» газлар, «тоза» металлар, «тоза» сув.

Кузатувчи идрок қилиши учун қулай шаклдаги ўлчов ахбороти сигналини ишлаб чиқувчи ўлчаш воситаси ўлчов асбоби дейилади. Ўлчов асбобида кузатувчи ўлчанаётган катталикнинг сон қийматини ўқийди ёки санайди. Ўлчов асбоблари аналог ва рақамли бўлиши мумкин. Аналог ўлчов асбобларида асбобнинг кўрсатиши ўлчанаётган катталик ўзгаришининг узлуксиз функциясидан иборат бўлади, рақамли ўлчов асбобларида эса кўрсатишлар ўлчов ахбороти сигналини дискрет ўзгартириш натижасидан иборат бўлган рақамли шаклда ифодаланган бўлади.

Кейинги вақтларда рақамли асбоблар борган сари кенгроқ қўллана бошланди, чунки уларнинг кўрсатувлари осонгина қайд қилинади, уларни ЭҲМ га киритиш қулай. Рақамли асбобларнинг тузилиши ўлчашда аналог асбобларга қараганда катта аниқликка эришишга имкон беради. Шу билан бирга рақамли асбоблар қўлланганда ўқиш хатолиги бўлмайди. Аммо аналог асбоблар рақамли асбобларга қараганда анчагина содда ва арзондир.

Ўлчов асбоблари кўрсатувчи, қайд қилувчи, комбинацияланган, интегралловчи ва жамловчи асбобларга бўлинади. Кўрсатувчи асбобларда рақамли қийматлар шкала ёки рақамли таблодан ўқилади. Қайд қилувчи асбобларда кўрсатувларни диаграмма қоғозиде ёзиб олиш ёки рақамли тарзда чоп этиш кўзда тутилади. Комбинацияланган асбоблар ўлчанаётган катталикни бир вақтнинг ўзида кўрсатади ҳамда қайд қилади. Интегралловчи асбобларда ўлчанаётган катталик вақт бўйича ёки бошқа эркили ўзгарувчи бўйича интегралланади. Жамловчи асбобларда кўрсатишлар турли каналлар бўйича унга келтирилган икки ёки бир неча катталикнинг йиғиндиси билан функционал боғланган бўлади.

Ўлчашга доир ахборотни узатиш, ўзгартиш, ишлов бериш ва сақлаш учун қулай бўлган, аммо кузатувчи бевосита идрок қилиши мумкин бўлмайдиган шаклдаги сигнални ишлаб чиқувчи ўлчаш воситаси ўлчаш ўзгарткичи деб аталади. Инсон ўзининг сезги органлари билан ўлчаш ўзгарткичи сигналларини қабул қила олмайди. Ўзгартириладиган физик катталик — кириш катталиги, унинг ўзгартирилгани эса чиқиш катталиги дейилади. Кириш ва чиқиш катталиклари орасидаги боғланишни ўзгарткич функцияси қарор топтиради. Ўлчаш ўзгарткичлари ўлчов асбобларининг, турли ўлчов тизимларининг, бирор жараёнларни автоматик назорат қилиш ёки бошқариш тизимларининг таркибий қисми ҳисобланади. Ўлчанаётган катталик берилган ўлчаш ўзгарткичи бирламчи ўзгарткич дейилади. Бирламчи ўлчаш ўзгарткичлари, кўпинча, датчик деб юритилади. Унинг бевосита ўлчанаётган физик катталик таъсиридаги қисми сезгир элемент дейилади.

Масалан, термоэлектрик термометрда термоджувфт, манометрик термометрда тармобаллон ана шундай элементлардир. Ўлчов асбоблари ва ўзгарткичлари ўлчанаётган катталиқнинг турига қараб тегишли номларга эга бўлади, масалан, термометрлар, манометрлар, дифманометрлар, сарф ўлчагичлар, сатх ўлчагичлар, газ анализаторлари, концентратометрлар, нам ўлчагичлар ва ҳоказо.

Айрим ўлчов воситалари ва ўлчов тизимларидан ташқари мураккаб ахборот-ўлчов тизимлари ҳам қўлланади. Улар кўплаб технологик ускуналарда автоматик ўлчашни амалга оширишнигина таъминлаб қолмай (ўлчов каналлари сони минг-минглаб бўлиши мумкин), балки ўлчаш натижаларини берилган алгоритмлар бўйича зарур қайта ишлашни ҳам бажаради. Шу муносабат билан ўлчаш ўзгарткичларининг ахборот-ҳисоблаш машиналари ва қурилмалари киришига келадиган сигналларини унификациялаштириш (бир хиллаштириш) зарурати туғилади. Сигналларни унификациялаштириш ўлчов асбоблари турларини минимумга келтириш имконини беради.

Ўлчов воситалари ўлчаш жараёнидаги бажараётган вазифасига қараб иш, намуна ва эталон ўлчов асбобларига бўлинади.

Иш ўлчов асбоблари халқ хўжалигининг барча тармоқларида амалий ўлчашлар учун мўлжалланган. Улар аниқлиги орттирилган ўлчов асбобларига ва техник ўлчов асбобларига бўлинади.

Намуна ўлчов асбоблари иш ўлчов асбобларини текшириш ва уларни ўзлари бўйича даражалашга хизмат қилади.

Эталон асбоблари физик катталиқ бирикларини қайта тиклаш ва сақлаш, уларнинг ўлчамларини намуна ўлчов асбоблари орқали халқ хўжалигида қўлланадиган иш ўлчов воситаларига ўтказишга хизмат қилади. Физик катталиқларнинг бирликлари ўлчами шу усул билан эталонлардан намуна ўлчов асбоблари ёрдамида бошқа ўлчов асбобларига ўтказилади.

Ўлчаш воситаларининг кўрсатишларидаги хатоликларни аниқлаш ёки уларнинг кўрсатишларига тузатиш киритиш мақсадида ўлчов воситалари кўрсатишларини намуна ўлчов асбобларининг кўрсатишларига таққослаш деб аталади.

Шкала асбобни текшириш бўлинмаларига қабул қилинган ўлчов бирликларида ифодаланган қийматлар бериш операцияси даражалаш деб аталади.

Ўлчаш воситалари ёрдамида ўлчанаётган физик катталиқлар ўлчаш ахбороти сигнали фойдаланиладиган бирор чиқиш катталигига ўзгартирилади.

Физик катталиқни ўлчашда ўлчов қурилмаси (асбоби) физик катталиқни кўрсаткичнинг мутаносиб силжитади:

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

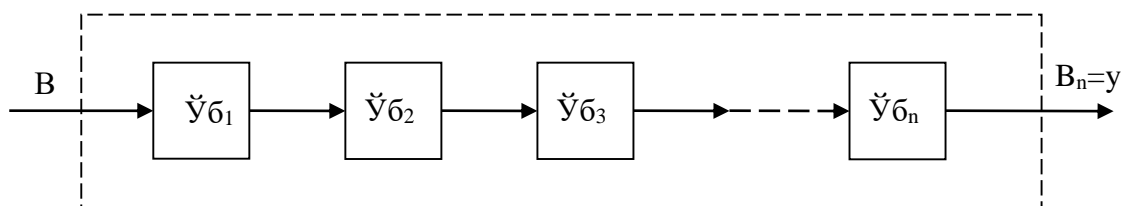
бу ерда, φ — асбоб кўрсаткичининг бурчакли ёки чизикли силжиши, B — ўлчанаётган физик катталиқ.

(2.8) боғланиш асбоб шкаласининг тенгламаси ёки характеристикаси дейилади.

Ҳар қандай ўлчов асбобининг иши оқибат натижада ўлчанадиган катталиқни кўрсаткичнинг силжишига мослаб ўзгариришга келтирилади. Шу сабабли ўлчаш асбобини схематик равишда, ўлчанаётган физик катталиқ V ни кўрсаткичнинг механик силжиш миқдори φ га ўзгартирадиган ўзгарткич деб караш мумкин.

Оралик ўзгарткишлар сонига қараб асбобни бўғинларга бўлиш мумкин, бу бўғинларнинг ҳар бири асбоб ичида V миқдорни маълум тарзда ўзгартиради. Ана шу бўғинлар мажмуаси ўлчанаётган катталиқнинг талаб этилган ўзгаришини кўрсаткичнинг силжиши φ га ўзгартиради.

Ўлчов асбоби



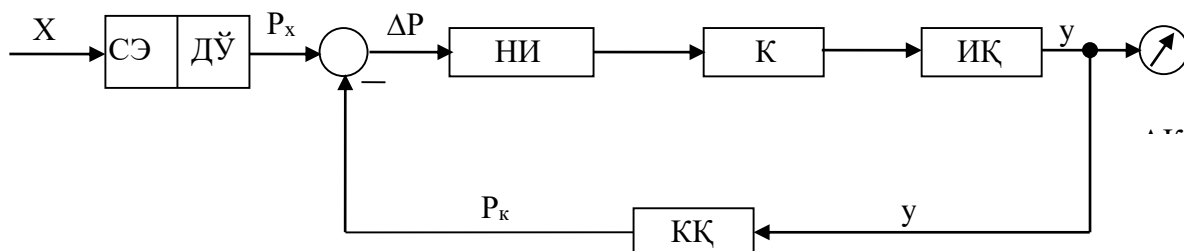
2.1– расм. Ўлчов асбобининг умумлашган структураси схемаси

Исталган ўлчов асбобининг структура схемаси, унинг ишлаш, принципидан қатъи назар, кетма-кет уланган ўлчаш бўғинлари ЎБ1, ЎБ2, ЎБ3, ..., ЎБn, (2.1-расм) қаторидан тузилган занжир каби тасвирланиши мумкин. Биринчи бўғин ЎБ1 учун кириш қиймати бўлиб V катталиқ хизмат қилади. Ҳар бир бўғиннинг чиқиш қиймати кейинги бўғин учун кириш қиймати бўлиб хизмат қилади. Охириги ЎБn бўғиннинг чиқиш қиймати кўрсаткичнинг $V_n = \varphi$ силжишини англатади.

Умумий ҳолда ўлчов воситаларининг структура схемасини куриш принципига қараб икки гуруҳга бўлиш мумкин: тўғри ўзгартирадиган ўлчаш схемаси ва сигнали мослаштириладиган ўлчаш схемалари. Тўғри ўзгаририш принципи бўйича қурилма ўлчов воситаларида ўлчанаётган катталиқ дастлабки ўзгарткичга ёки унинг ўлчаш занжири қисмидан иборат бўлган сезгир элементга келади. Ўлчаш занжирида, одатда, ўлчанаётган катталиқни ахборотнинг бирор элтувчиси (электр токи кучи ёки кучланиши, сиқилган ҳаво босими ва бошқалар) сигналига ўзгаририш киритиш бўйича амалга оширилади. Сўнгра мазкур сигнал кучайтирилади ва санаш қурилмасига узатилади. Энг содда вариантда шу схемадан фақат сезгир элемент ва санаш қурилмаси қолиши мумкин. Тўғри ўзгарткич схемалари содда, ишончли, етарли тезкорликка эга ҳамда унча қимматга тушмайди. Аммо улардан, амалда, кичик сигналларини ўлчашда фойдаланиб бўлмайди. Дефференциал ўзгарткичлар ва улар билан ўлчаш схемалари сигнали тўғри ўзгарткич схемалари турларидан биридир.

Сигнални мувозанатлаштирадиган ўлчаш схемалари структураси 2.2-расмда келтирилган. Ўлчанаётган катталиқ X дастлабки ўзгарткич $DУ$ га ёки унинг сезгир элементи $CЭ$ га келади ва Px сигналга айлантирилади, бу сигнал

компенсация қурилмаси КҚ дан чиққан Р сигнал билан мослаштирилади. Компенсация қурилмаси КҚ чиқиш сигнали φ ни компенсация қилувчи Рк сигналга ўзгартиради.



2.2– расм. Сигнални мувозанатлаштирувчи ўлчов асбобларининг структура схемаси.

Нобаланс сигнали ΔP номувофиклаштириш индикатори НИ орқали кучайтиргич К киришига берилади. Кучайтиргичнинг чиқиш сигнали интегралловчи қурилма ИҚ га (масалан, реверсив двигателига) таъсир қилади ёки чиқиш сигнали φ кучайтиргич чиқишидан олинандиган сигнал йўқ бўлганда ўзгармай қолаверади. Сигнал асбоб кўрсаткичи АК ва компенсация қурилмаси КҚ га берилади. Шундай қилиб, чиқиш сигнали φ ўлчанаётган X катталиқ қийматини аниқлайди. Сигнални мувозанатлаштирувчи асбоблар юқори аниқликка эга бўлиб, кичик сигналларни ўлчаш имконини беради, аммо уларнинг тезкорлиги кам, баҳоси юқори, ишончлилиги эса тўғри ўзгарткич асбоблариникига қараганда паст.

7-Мавзу: Ҳароратни назорат қилиш. Умумий тушунчалар. Ҳарорат шкаласи. Ҳарорат ўлчаш воситаларининг таснифи

Режа:

1. Умумий тушунчалар.
2. Ҳарорат шкаласи.
3. Ҳарорат ўлчаш воситаларининг таснифи.

Температура – технологик жараёнларнинг муҳим параметри бўлиб, амалда ҳам паст, ҳам юқори температуралар билан иш кўришга тўғри келади.

Жисмнинг температураси молекулаларнинг иссиқлик ҳаракатида ҳосил бўладиган ички кинетик энергияси билан белгиланадиган қиздирилганлик даражаси билан характерланади. Температурани ўлчаш амалда иккисидан бирининг қиздирилиш даражаси маълум бўлган икки жисмнинг қиздирилишини таққослаш ёрдамидагина мумкин бўлади. Жисмларнинг қиздирилганлик даражасини таққослашда уларнинг температурага боғлиқ бўлган ва осонгина ўлчанадиган физик хоссаларидан бирортасини ўзгартишдан фойдаланилади.

Молекулаларнинг ўртача кинетик энергияси ва идеал газ температураси орасидаги боғланиш қуйидаги формула билан ифодаланади:

$$E = \frac{3}{2} kT \quad (4.1)$$

бунда $K = 1,380 \cdot 10^{-25}$ Ж. К⁻¹ — Больцман доимийси; T — жисмнинг абсолют температураси, К.

Агар жисмнинг температураси турлича бўлса, улар бир-бирига тегиб турганида энергияларнинг тенглашуви рўй беради; юқорироқ температурага, яъни молекулалари кўпроқ ўртача кинетик энергиясига эга бўлган жисм ўз иссиқлигини (энергиясини) камроқ температурага, яъни молекулалари камроқ ўртача кинетик энергиясига эга бўлган жисмга беради. Шундай қилиб, температура иссиқлик алмашиш, иссиқлик ўтказиш жараёнларининг ҳам сифат, ҳам миқдорий томонларини характерлайдиган параметрдир. Аммо температурани бевосита ўлчаш мумкин эмас, уни жисмнинг температурага бир қийматли боғлиқ бўлган қандайдир бошқа физик параметрлари бўйичагина аниқлаш мумкин. *Температурага боғлиқ параметрларга* масалан, **ҳажм, узунлик, электр қаршилик, термоэлектр юритувчи куч, нурланишнинг энергетик равшанлиги** ва ҳоказолар киради.

Температура ўлчайдиган асбобни 1598 йилда Галилей биринчи бўлиб тавсия этган. Сўнгра М.В. Ломоносов, Фаренгейтлар термометр ишлаб чиқишди.

Ўлчанаётган температуранинг сон қийматини топиш учун температуралар шкаласини ўрнатиш, яъни санок бошини ва температура оралиғининг ўлчов бирлигини танлаш лозим.

Кимёвий тоза моддаларнинг осон тикланадиган (асосий репер ва таянч) қайнаш ва эриш нуқталари билан чегараланган температура оралиғидаги қатор белгилар температура шкаласини ҳосил қилади. Бу температураларга t' ва t'' қийматлар берилган. У ҳолда ўлчов бирлиги

$$1 \text{ градус} = \frac{t'' - t'}{n}. \quad (4.2)$$

бу ерда t' ва t'' — осон тикланадиган ўзгармас температуралар; n — t'' , t' таянч нуқталар орасидаги температура оралиғи бўлинадиган бутун сон.

Температура шкаласининг тенгламаси

$$t = t' + \frac{v - v'}{v'' - v'} \cdot (t'' - t'), \quad (4.3)$$

бу ерда t' ва t'' — модданинг таянч нуқталари (760 мм сим. уст. босимида ва оғирлик кучининг $980,665 \text{ см/с}^2$ тезланишида музнинг эриш ва сувнинг қайнаш температуралари); v' ва v'' — t' , t'' температуралардаги модданинг (суюқликнинг) ҳажми; $v - t$ температурадаги модданинг (суюқликнинг) ҳажми.

Табиатда ҳажмий кенгайиши ва температураси чизиқли боғланган суюқликлар бўлмайди. Шунинг учун температураларнинг кўрсатиши термометрга солинадиган модданинг (симоб, спирт ва бошқалар) табиатига боғлиқ. Фан ва техниканинг ривожланиши билан ягона термометрга солинадиган модданинг бирорта хусусияти билан боғланмаган температура шкаласини яратиш зарурияти пайдо бўлади. 1848 йилда инглиз физиги Кельвин термодинамиканинг иккинчи қонуни асосида янги температура шкаласини тузишни таклиф қилди. Термодинамик температуралар шкаласининг тенгламаси:

$$T = \frac{Q}{Q_{100} - Q_0} \cdot 100 \% \quad (4.4)$$

бу ерда Q_{100} ва Q_0 – сувнинг қайнаши ва музнинг эриш температураларига мос иссиқлик микдорлари; $Q - T$ температурага мос иссиқлик микдори.

Ўлчов ва вазнлар бўйича 1960 йил ўтказилган XI халқаро конференция қарорларида, ГОСТ 8550 – 61 да икки температура шкаласи; Кельвин градуси (К) ўлчов бирлиги билан ўлчанадиган термодинамик шкала ва Цельсий градуси (°С) ўлчов бирлиги билан ўлчанадиган халқаро амалий шкалаларнинг қўлланиши кўзда тутилган. Кельвин термодинамик шкаласидаги пастки нуқта – абсолют ноль нуқта (А) бўлиб, ягона экспериментал асосий нуқта эса сувнинг учлик нуқтасидир. Бу нуқтанинг сон қиймати 273.15 К. Сувнинг муз, суюқ ва газ фазаларидаги мувозанат нуқтаси бўлган сувнинг учлик нуқтаси муз эриш нуқтасидан 0,01 К юқорироқ туради. Термодинамик температура T ҳарфи билан, сон қийматлари эса К билан ифодаланади.

Амалий ўлчашларда ишлатиладиган халқаро амалий температура шкаласи термодинамик шкала кўринишида ишланган. Бу шкала кимёвий тоза моддаларнинг бир қадар осон тикланадиган ўзгармас қайнаш ва эриш нуқталари асосида тузилган. Уларнинг сонли қиймати газли термометрлар орқали аниқланган бўлиб, Халқаро амалий температура шкаласи ўлчов ва вазнлар бўйича ўтказилган XI умумий конференцияда қабул қилинган.

Халқаро амалий шкала бўйича ўлчанадиган температура t ҳарфи билан, сонли қиймати эса °С белгиси билан ифодаланади. Абсолют термодинамик шкала бўйича ифодаланган температура билан шу температуранинг халқаро шкала бўйича ифодаси орасидаги муносабат қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$T = t + 273,15; \quad (4.5)$$

бу ерда T – абсолют термодинамик шкаладаги K температура; t – халқаро амалий шкаладаги °С температура.

Англия ва АҚШ да 1715 йилда таклиф қилинган Фаренгейт шкаласи ($^{\circ}F$) қўлланади. Бу шкалада икки нуқта: музнинг эриш нуқтаси ($32^{\circ}F$) ва сувнинг қайнаш нуқтасига ($212^{\circ}F$) асосланган Халқаро амалий шкала, абсолют термодинамик шкала ва Фаренгейт шкаласи бўйича ҳисобланган температура муносабати қуйидагича:

$$t^{\circ}C = T^{\circ}K - 273,15 = 0,556 (n^{\circ}F - 32), \quad (4.6)$$

бу ерда n — Фаренгейт шкаласи бўйича градуслар сони.

Ҳозир 1968 йилда қабул қилинган ва 1971 йил 1 январдан мажбурий жорий эгилган Халқаро амалий температура шкаласи (МПТШ-68) қўлланилади. У абсолют термодинамик температура шкаласининг амалда қўлланишидан иборат. Бу шкала шундай танланганки, у бўйича ўлчанган температура термодинамик температурага яқин бўлади ва улар орасидаги айирма замонавий ўлчаш аниқлиги чегараларида бўлади. МПТШ-68 ўзгармас, аниқ тикланадиган турғунлик температуралари системасига асосланган бўлади. Уларнинг сон қийматлари берилган бўлади. МПТШ-68 нинг энг муҳим ўзгармас нуқталари (температуралари) 3.1-жадвалда берилган.

МПТШ- 68 нинг энг муҳим ўзгармас нуқталари

Мувозанат ҳолатлари	Халқаро амалий температуранга берилган қиймат		
	1	2	3
Водороднинг қаттиқ, суюқ ва газсимон фазалари орасидаги мувозанат (водороднинг учламчи нуқтаси)	13,81	—	259,34
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

МПТШ-68 температурани 13,81 дан 6300 К гача ораликда ўлчашни таъминлайди.

МДХда МПТШ-68 дан ташқари температурани 0,01 дан 100 000 К чегарада бир хил ўлчашни амалга ошириш учун мўлжалланган амалий температура шкалалари (ГОСТ 8.157 – 75) ишлатилади.

Температура ўлчаш воситаларининг таснифи

Замонавий термометрия ўлчашнинг турли усул ва воситаларига эга. Ҳар бир усул ўзига хос бўлиб, универсаллик хусусиятига эга эмас. Берилган шароитда оптимал ўлчаш усули ўлчашга қўйилган аниқлик шарти ва ўлчашнинг давомлилиги шарти, температурани кайд қилиш ва автоматик бошқариш зарурати ёрдамида белгиланади.

Энг қулай, аниқ ва ишончли ўлчаш усуллари температуранинг бирламчи датчиклари сифатида қаршилиқнинг термоўзгарткичи ва термоэлектр ўтгарткичлардан фойдаланадиган контактли усуллардан иборат.

Назорат қилинадиган муҳитлар ташқи шароитни ўзгартирганда физик хоссаларининг турли агрессивлиги ва турғунлиги даражаси билан суюқ, сочилувчан, газсимон ёки қаттиқ бўлиши мумкин.

Температурани назорат қилиш воситаларининг мавжудлиги назорат қилинаётган муҳит, объект, ишлатилиш шароитлари ва техник талабларнинг турли туманлигидадир.

ГОСТ 13417–76 бўйича **температурани ўлчаш асбобларининг ишлаш принципи**га қараб уларни қуйидаги гуруҳларга бўлинади:

1. *Кенгайиш термометрлари*. Бу термометрлар температура ўзгариши билан суюқлик ёки қаттиқ жисмлар ҳажми ёхуд чизикли ўлчамларнинг ўзгаришига асосланган;

2. *Манометрик термометрлар*. Бу асбоблар моддалар ҳажми ўзгармас бўлганда температура ўзгариши билан босимнинг ўзгаришига асосланган;

3. Температура таъсирида ўзгарган термоэлектр юритувчи кучнинг ўзгаришига асосланган *термоэлектр термометрлар*;

4. Ўтказгич ва ярим ўтказгичларнинг температураси ўзгариши сабабли электр қаршилиқнинг ўзгаришига асосланган *қаршилиқ термометрлари*;

5. *Нурланиш термометрлари*. Улар орасида энг кўп тарқалганлари: а) оптик пирометрлар – иссиқ жисмнинг равшанлигини ўлчаш асбоби; б) рангли пирометрлар (спектрал нисбат пирометрлари), жисмнинг иссиқликдан нурланиш спектридаги энергиянинг тақсимланишини ўлчашга асосланган; в) радиацион пирометрлар – иссиқ жисм нурланишининг қувватини ўлчашга асосланган.

4.2-жадвалда саноатда энг кўп тарқалган ўлчаш воситалари келтирилган ва серияли ўлчаш воситаларининг қўлланиш чегаралари кўрсатилган.

4.2-жадвал

Ўлчаш воситаси тури	Ўлчаш воситаларининг турли туманлиги	Давомли фойдаланиш чегараси, °C	
		3	4
1	2	3	4
Кенгайиш термометрлари	Суюқликка оид шиша термометрлар	-200	600
	Дилатометрик ва биметалли термометрлар	-150	700
Манометрик термометрлар	Газли	-150	1000
	Суюқликли	-150	600
	Буғ-суюқликли(конденсацион)	-50	300
Термоэлектрик термометрлар	Термоэлектрик термометрлар	-200	2500
Қаршилик термометрлари	Металл (ўтказгичли) қаршилик термометрлари	-260	1100
	Ярим ўтказгичли қаршилик термометрлари	-272	600
Пирометрлар	Квазимонохроматик приометрлар	700	6000
	Спектрал нисбатли приометрлар	300	2800
	Тўлиқ нурланиш пирометрлари	-50	3500

КЕНГАЙИШ ТЕРМОМЕТРЛАРИ. СУЮҚЛИКЛИ, ДИЛАТОМЕТРИК ВА БИМЕТАЛЛИ ТЕРМОМЕТРЛАР

Суюқликли термометрлар. Суюқликли термометрлар -200°C дан $+600^{\circ}\text{C}$ гача оралиқдаги температурани ўлчаш учун ишлатилади. Шиша термометрларнинг ишлатилиш усули содда, аниқлиги етарли даражада юқори ва арзон бўлгани сабабли лаборатория ва саноатда кенг тарқалган. Суюқликли термометрларнинг ишлаш принципи термометр ичига ўрнатилган термометр суюқлигининг ҳажми температура кўтарилиши ёки пасайишида ўзгаришига асосланган. Шиша термометрларнинг суюқлиги сифатида симоб, толуол, этил спирт (этанол), керосин, петролей эфир, пентан ва бошқалар ишлатилади. Уларнинг қўлланилиш чегаралари 5.1-жадвалда келтирилган.

Суюқликли термометрлар орасида энг кўп тарқалгани симобли термометрлардир.

5.1-жадвал

Термометрларга солинадиган суюқликлар

Суюқлик	Қўлланилиш чегаралари, °С	
	пастки	юқори
Симоб	–35	600
Толуол	–90	200
Этил спирти (этанол)	–80	70
Керосин	–60	200
Петролей эфир	–120	25
Пентан	–200	20

Симобнинг кенгайиш коэффициентини кичиклиги термометрия нуқтаи назардан унинг камчилиги ҳисобланади. Суюқликнинг иссиқликдан кенгайиши ҳажмий кенгайиш коэффициенти билан характерланади. Бу коэффициент қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$\beta_{t_1 t_2} = \frac{v_{t_2} - v_{t_1}}{v_0 (t_2 - t_1)}, \quad 1 / \text{град} , \quad (5.1)$$

бу ерда v_{t_1} ва v_{t_2} — суюқликнинг t_1 ва t_2 температуралардаги ҳажми; v_0 — шу суюқликнинг 0°C даги ҳажми.

β коэффициент қанча катта бўлса, ҳажмий кенгайиш температурасининг 1°C га ўзгаришига шунча кўпроқ мослашади. Термометрларда ҳажмий кенгайиш температура коэффициенти юқори бўлган суюқликлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқ. Ўлчашнинг мақсади ва диапазонига қараб термометрлар кенгайиш коэффициенти кичик бўлган турли маркали (ГОСТ 1224 — 71) шишалардан тайёрланади. Техникада қўлланиладиган суюқликли шиша термометрлар қуйидаги **хилларга** бўлинади:

1. *Кўрсатишларига тузатиш киритилмайдиган термометрлар* (кенг миқёсда қўлланиладиган термометрлар): **а)** симобли термометрлар (-35 дан $+600^\circ\text{C}$ гача); **б)** органик суюқликли термометрлар (-200 дан $+200^\circ\text{C}$ гача);

2. *Кўрсатишларига паспортга биноан тузатиш киритиладиган термометрлар*: **а)** аниқлик даражаси юқори симобли термометрлар (-35 дан $+600^\circ\text{C}$ гача); **б)** аниқ ўлчовларга мўлжалланган симобли термометрлар (0 дан $+500^\circ\text{C}$ гача); **в)** органик суюқликли термометрлар (-80 дан $+100^\circ\text{C}$ гача).

Конструкцияларининг хилма-хиллигига карамай барча суюқликли термометрлар икки асосий турнинг бирига: *таёқча шаклидаги ёки шкаласи ичига ўрнатилган термометрлар* турига тегишли бўлади. Таёқча шаклидаги термометр (5.1-расм, а) қалин деворли, ташқи диаметри 6 ... 8 мм га тенг қилиб тайёрланган капилляр найчадан иборат. Найчанинг пастки қисми суюқлик сақланадиган резервуар ҳосил қилади. Уларнинг шкаласи бевосита капиллярнинг сиртида даражаланади.

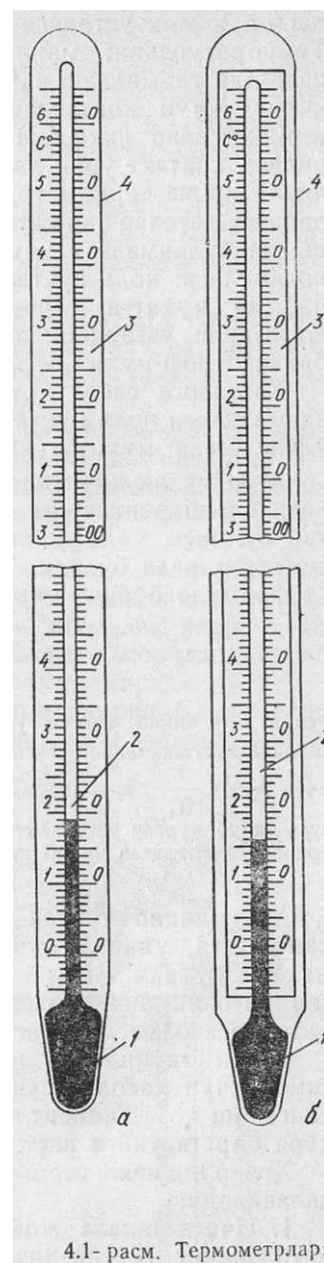
Шкаласи ичига ўрнатилган термометрларда (5.1-расм, б) капилляр найчаси ингичка деворли бўлиб, симоб резервуари кенгайтирилган. Шкала даражалари сут ранг ясси шиша пластинкада жойлашган ва капилляр билан биргаликда резервуарга ёпишган шиша қобик ичига олинган. Ҳозирги вақтда шкаласи ичига ўрнатилган ёки бурчакли (термометрнинг пастки қисми 90°, 120° ва 135° ли бурчак ҳосил қилади) техник термометрлар тайёрланади. Юқори даражали термометрларда капиллярдаги суюқлик устидаги бўшлиқ инерт газ билан тўлдирилади. Температуранинг маълум даражада сақланишини автоматик равишда таъминлаш ва унинг маълум қийматини сигнализация қилиш учун контактли термометрлар қўлланилади. Бундай термометрлар икки ёки ундан кўпроқ контактли бўлиб, юқоридаги контакт ўрни ўзгарувчан бўлади. Температурани суюқликли шиша термометр билан ўлчаш аниқлигидаги йўл қўйиладиган хатолар бир қатор факторларга боғлиқ: текширилмаган шкала бўлинмалари учун киритиладиган тузатиш қийматининг ноаниқлиги; ноль нуқтасининг ўзгариши; термометрнинг ўлчанаётган муҳитга кириш чуқурлигининг ҳар хиллиги, ташқи босимнинг ўзгариши; термометр инерциясининг ва резервуар билан атроф-муҳит иссиқлигининг мувозанати.

Хатоларга сабаб бўладиган келтирилган факторлардан энг аҳамиятлиси ноль нуқтасининг ўзгариши ҳамда термометрнинг ўлчанаётган муҳитга кириш чуқурлигининг ҳар хиллигидир.

Агар тўлиқ киритилганда даражаланган термометрни ишлатилиш шароитларига кўра ўлчанаётган муҳитга тўлиқ киритиб бўлмаса, унда унинг резервуари ва суюқлик устуни турли температурада бўлади. Чикиб турган устунга тузатма қуйидаги формула бўйича киритилади:

$$\Delta t = n\beta_{t_1 t_2}(t_2 - t_1), \quad (5.2)$$

бунда n – чикиб турган устундаги даражалар (градуслар) сони, $\beta_{t_1 t_2}$ — шишадаги суюқликнинг кенгайтириш коэффициентини (симоб учун 0,00016, спирт



учун 0,001), $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$; t_2 — термометр кўрсатаётган температура $^{\circ}\text{C}$; t_1 — резервуар чиқиб турган устуннинг ўртасига бириктирилган ёрдамчи термометр орқали ўлчанадиган чиқиб турган устуннинг ўртача температураси.

Агар чиқиб турган устун температураси ўлчанаётгандан кам бўлса, унда Δt тузатма ишораси мусбат, ортиқ бўлса, “—” манфий бўлади. Чиқиб турган устун ҳисобига пайдо бўладиган хатолик анча катта бўлиши мумкин ва шунинг учун уни эътиборга олмасликнинг иложи йўқ.

Шуни таъкидлаш лозимки, чиқиб турган устун ҳисобига симоб учун хатолик суюқликларникига қараганда температура кенгайиш коэффициентлари қийматининг катта фарқ қилишига кўра бир тартибга паст.

Ҳозир шишали **термометрларнинг** қуйидаги **турларидан** фойдаланилади:

1. Ичига шкала жойлаштирилган техник симобли термометрларнинг (тўғри чизикли ва бурчакли) 11 хили чиқарилади:

-90 ... +30; -60 ... +50; -30 ... +50; 0 ... 100; 0...160; 0...200; 0... 300; 0... 350, 0... 450; 0... 530 ва 0...600 $^{\circ}\text{C}$.

Шкала бўлинмасининг қиймати 0,5 $^{\circ}\text{C}$ (шкаласи -30... +50 $^{\circ}\text{C}$) дан 5 ва 10 $^{\circ}\text{C}$ гача (шкаласи 0 ... 600 $^{\circ}\text{C}$).

2. Таёқли, ичига шкала жойлаштирилган лаборатория симобли термометрлари -30 дан +600 $^{\circ}\text{C}$ гача температурани ўлчашга мулжалланган, шкала бўлинмасининг қиймати 0,1 ва 2 $^{\circ}\text{C}$;

3. Суюқликли (симобли эмас) термометрлар (ГОСТ 9177 — 74) таёқли, ўлчаш чегараларини -200 дан + 200 $^{\circ}\text{C}$ гача қилиб чиқарилади. Шкала бўлинмасининг қиймати 0,2 дан 5 $^{\circ}\text{C}$ гача.

4. Симобли юқори аниқликдаги ва намунавий (ГОСТ 13646—68) термометрлар ўлчаш чегараси тор (4 дан 59 $^{\circ}\text{C}$ гача) ва шкала бўлинмасининг қиймати 0,01 дан 0,1 $^{\circ}\text{C}$ гача қилиб чиқарилади.

5. Симобли электр контактли (ГОСТ 9871 —75) термометрлар -30 дан 300 $^{\circ}\text{C}$ гача ўлчашга мўлжаллаб чиқарилади.

6. Махсус термометрлар: медицина (максимал), метеорологик (максимал, минимал, психометрик, тупроққа оид ва х,) ва бошқа мақсадларга мўлжалланган.

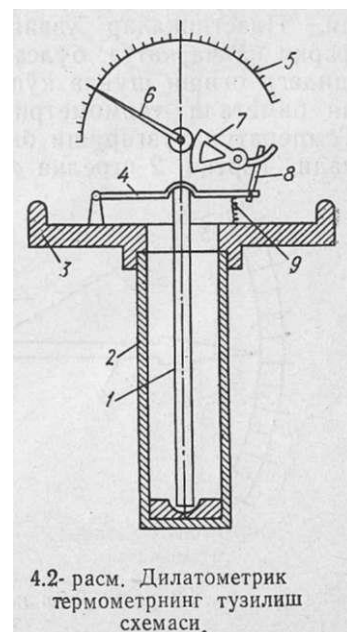
Суюқликли шиша термометрларнинг камчилигига шкала бўйича ҳисоблаш ноқулайлиги, кўрсатишларни қайд қилиб, уларни масофага узатиб бўлмаслиги, иссиқлик инерциясининг катталиги (кўрсатишларнинг кечикиши) ва асбобларнинг механик нуктаи назардан мустаҳкам эмаслиги киради.

Дилатометр ва биметалли термометрларнинг ишлаш принципи температура ўзгаришида қаттиқ жисм чизикли микдорининг ўзгариши асосланган. Температура ўзгаришига боғлиқ бўлган қаттиқ жисм чизикли микдорининг ўзгариши формула орқали қуйидагича ифодаланади:

$$l_t = l_0(1 + \beta_r t), \quad (5.3)$$

бу ерда l_t — t температурада қаттиқ жисмнинг узунлиги; l_0 — шу жисмнинг 0°C даги узунлиги; β_r — ўртача чизиқли кенгайиш коэффициент (0°C дан $t^\circ\text{C}$ гача бўлган температуралар оралиғида).

5.2- расмда дилатометрик термометрнинг тузилиш схемаси тасвирланган. Бу асбобда сезгир элемент сифатида катта чизиқли кенгайиш коэффициентига эга бўлган материалдан (жез ва мис) тайёрланган найча 2 қўлланилган. Корпус 3 га кавшарланган найча ичида стержень 1 жойлашган. Стержень чизиқли кенгайиш коэффициенти кичик бўлган материал (масалан, инвар) дан ишланган. Ўлчанаётган муҳитнинг температураси кўтарилиши билан найча 2 узаяди. Бу ҳол стержень 1 нинг силжишига олиб келади. Шунда пружина 9 шайн 4 нинг бўш томонини пастга туширади, ўз навбатида у тортки 8 ва тишли сектор 7 орқали стрелка 6 ни унинг ўқи атрофида айлантиради. Стрелка эса шкала 5 да ўлчанаётган температура қийматини кўрсатади.

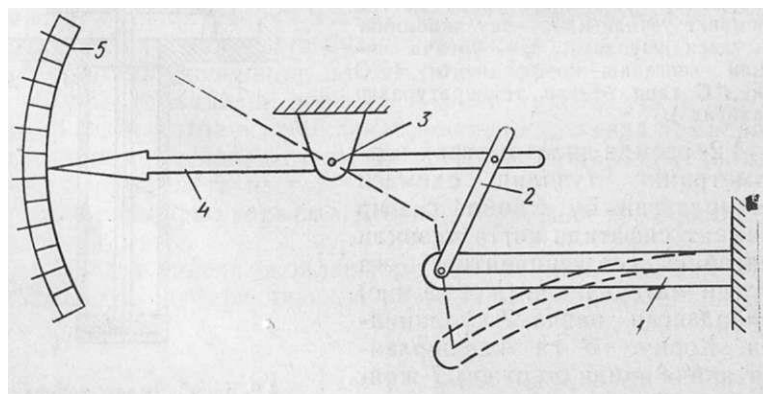


Дилатометрик термометрлар суyoқликлар температурасини ўлчашда ҳамда температурани маълум даражада автоматик равишда сақлаш учун ва сигнализацияда қўлланади. Дилатометрик термометрлар 1,5 ва 2,5 аниқлик классларида чиқарилади, уларнинг юқориги ўлчаш чегараси 500°C гача. 150°C дан ошмаган температуралар учун найча жездан, стержень эса инвардан ишланади, ундан юқори температуралар учун найча зангламас пўлатдан, стержень эса кварцдан ишланади.

Афзалликлари: ишончилиги ва сезгирлиги юқори.

Камчиликлари: асбоб ўлчамларининг катталиги, температуранинг бир нуқтада эмас, балки ҳажмда ўлчаниши, иссиқлик инерциясининг катталиги, кўрсаткичларни масофага узатиш мумкин эмас.

Биметалл термометрларнинг сезгир элементи кавшарланган иккита пластинкадан тайёрланган пружинадан иборат. Бу пластинкалар иссиқликдан кенгайиш температура коэффициенти турлича бўлган металллардан тайёрланади. Температура ўзгарганда пластинкалар узаяди. Пластинкалар бир-бирига нисбатан силжий олмаганлиги сабабли пружина иссиқликдан кенгайиш температура коэффициенти кам бўлган пластинка томонга оғади. Пластинкалар узайишининг температура коэффициенти фарқи қанча катта бўлса, пружинанинг температура ўзгаришидаги оғиши шунча кўп бўлади. 4.3- расмда ясси пластинкали биметалл термометрнинг тузилиш схемаси кўрсатилган. Температура ўзгариши билан биметалл пружина 1 пастга эгилади. Тортки 2 стрелка 4 ни ўқ 3 атрофида айлантиради.



5.3-расм. Ясси пластинкали биметалл термометрнинг тузилиш схемаси.

Стрелка шкала 5 да ўлчанаётган температура қийматини кўрсатади.

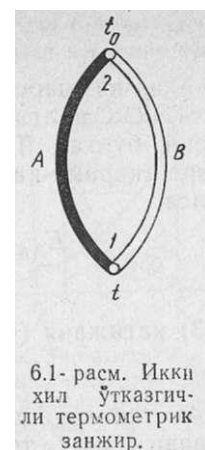
Биметалл пластинка қўлланилганда ўлчашнинг юқориги чегараси пастки пластинка тайёрланган материалнинг қайишқоқлиги чегараси билан чегараланади. Сезгир элементлар сифатида ёйсимон ёки винтсимо спираллар қўлланилади. Биметалл термометрлар билан температуранинг ўлчаш чегараси — 150°C дан +700°C гача, хатоси 1...1,5%. Бу турдаги термометрлар температуранинг маълум даражада автоматик равишда сақлаш ва сигнализация учун қўлланилади.

Термоэлектрик термометрлар. Магнитоэлектрик милливольтметрлар. Потенциометрлар. Автоматик потенциометрлар.

Назарий асослар ва термоэлектр занжирлар

Температуранинг ўлчашнинг термоэлектр усули термоэлектр термометр (термопара) термо ЭЮК ининг унинг температурасига боғлиқлигига асосланган. Бу асбоб —200° С дан +2500° С гача бўлган температураларни ўлчашда техниканинг турли соҳалари ва илмий-текшириш ишларида кенг қўлланилади.

Термоэлектр термометрлар ёрдамида температуранинг ўлчаш 1821 йилда Зеебек кашф этган термоэлектр ҳодисасига асосланган. Бу ҳодисанинг температураларни ўлчашда қўлланилиши икки хил металл симдан иборат занжирда уларнинг кавшарланган жойида температуралар фарқи ҳисобига ҳосил бўладиган ЭЮК эффекига асосланган. Ҳар хил *A* ва *B* ўтказгичлардан иборат занжирни кўриб чиқамиз (6.1-расм). Термопаранинг ўлчанаётган муҳитга тегиб турган жойи кавшарланган учи 1 (иссиқ уланма), ўзгармас t_0 температурали муҳитдаги жойи 2 эса эркин учи (совуқ уланма) дейилади. *A* ва *B* ўтказгичлар термоэлектродлар дейилади. Бундай



6.1-расм. Икки хил ўтказгичли термометрик занжир.

кавшарланган ўтказгичлар эса термопара деб аталади, уларда ҳосил бўладиган электр юритувчи куч термоэлектр юритувчи куч (ТЭЮК) дейилади. ТЭЮК ҳосил бўлишининг сабаби эркин электронлар зичлигикўпроқ металлнинг эркин электронлар зичлиги камроқ металлга диффузияси билан изоҳланади. Шу пайтда икки хил металлнинг бирикиш жойида пайдо бўладиган электр

майдон диффузияга қаршилиқ кўрсатади. Электронларнинг диффузион ўтиш тезлиги электр майдон таъсирида уларнинг қайта ўтиш тезлигига тенг бўлганда ҳаракатли мувозанат ҳолати қарор топади. Бу мувозанатда A ва B металллар орасида потенциаллар айирмаси пайдо бўлади. Электронлар диффузиясининг жадаллиги ўтказгичлар бириккан жойнинг температурасига ҳам боғлиқ бўлгани сабабли биринчи ва иккинчи уланмаларда ҳосил бўлган ТЭЮК ҳам турлича бўлади.

Агар кавшарланган ўтказгичлар бир хил бўлса ва уларнинг икки учи турлича температурада қиздирилса, у ҳолда ўтказгичнинг иссиқроқ қисмидан совуқроқ қисмига бўш электронларнинг диффузияланиши тескари йўналишдаги диффузияси жадалроқ бўлади. Потенциаллар айирмаси электронларнинг иссиқлик диффузиясига тескари йўналишда таъсир қилади, бунинг натижасида мувозанат ҳолати қарор топгунча ўтказгичнинг иссиқроқ учи мусбат ишорада зарядланади. Бинобарин, ҳар хил A ва B ўтказгичлардан ташкил топган энг содда термоэлектр занжирда тўртта турлича ТЭЮК ҳосил бўлади. Яъни иккита ТЭЮК A ва B ўтказгичларнинг кавшарланган учида; битта ТЭЮК A ўтказгичнинг учида; битта ТЭЮК B ўтказгичнинг учида. Шунинг назарда тутиб, 6.1-расмда тасвирланган занжирдаги ТЭЮК катталиги аниқлаш мумкин. Занжирни соат стрелкаси ҳаракатига тескари йўналишда кузатсак, қуйидаги натижа чиқади:

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

бр ерда $E_{AB}(t_1 t_0)$ — иккала фактор таъсиридаги жамланган ТЭЮК; $e_{AB}(t)$ ва $e_{BA}(t_0)$ — A ва B ўтказгичлар учндаги потенциаллар ҳамда температуралар айирмаси натижасида ҳосил бўлган ТЭЮК.

Агар кавшарланган учларининг температураси бир хил бўлса ТЭЮК нолга тенг бўлади, чунки иккала кавшарда ҳам ҳосил бўлган ТЭЮК нинг қиймати бири-бирига тенг бўлиб, ўзаро карама-қарши томонга йўналган бўлади. Демак, $t = t_0$ бўлса,

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

$$e_{BA}(t_0) = -e_{AB}(t_0). \quad (6.3)$$

(6.3) натижани (6.1) га қўйсак, қуйидагига эга бўламиз:

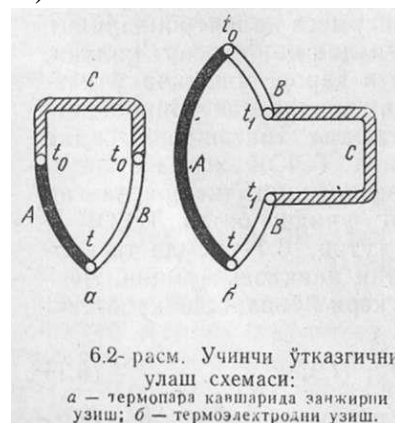
$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0), \quad (6.4)$$

(6.4) тенгламадан кўриниб турибдики, ТЭЮК иккита ўзгарувчан t ва t_0 температуранинг мураккаб функциясида иборат экан.

Уланмалардан бирининг температураси ўзгармас, масалан, $t_0 = \text{const}$ бўлса, унда

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

(6.5) ифода мазкур термопара учун даражалаш йўли билан ТЭЮК ва температура нисбатини топиш, температуранинг ўлчаш масаласини тескари ечиш кераклигини, яъни термопаранинг ТЭЮК ни ўлчаш билан температуранинг қийматини аниқлаш мумкинлигини билдиради.



Ўлчаш асбобини улаш учун уланмалардан биридаги занжирни (6,2- расм, *a*) ёки термоэлектродлардан бирини узиш (6.2-расм, *б*) керак.

Термопара занжирига учинчи *C* ўтказгични улаш вариантларидаги жамланган ТЭЮК ни кўриб чиқамиз. 6,2-расм, *a* даги вариант учун:

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

$t = t_0$, яъни уланмаларининг температураси тенг бўлса,

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

бу теигламадан маълумки,

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

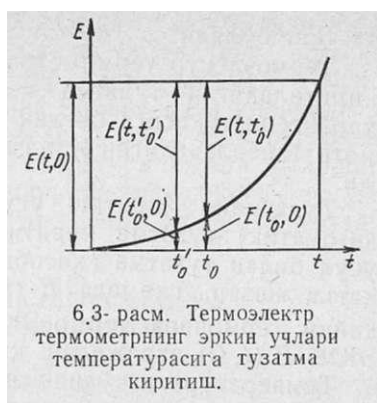
(6.8) тенглама натижасини (6.6) га қўйиб чиқсак, (6.4) тенглама келиб чиқади.

6.2- расм, *б* даги вариант учун:

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

Агар $e_{BC}(t_1) = -e_{CB}(t_1)$ ва $e_{BA}(t_0) = -e_{AB}(t_0)$ ҳисобга олинса, (6.9) тенглама (6.4) тенгламага айланади.

Бундан қуйидаги муҳим хулосани чиқариш мумкин: термопаранинг занжирига учларидаги температураси бир хил бўлган учинчи ўтказгич уланганда ҳам ТЭЮК ўзгармайди. Демак, термопара занжирига улаш симлари, ўлчов асбоблари ва қаршиликларни улаш мумкин экан.



Температурани термоэлектр термометр ёрдамида ўлчаш учун термометр ҳосил қиладиган термо ЭЮК ни ва эркин учларнинг температурасини ўлчаш керак. Агар температурани ўлчашда термометр учларининг температураси 0°C га тенг бўлса, унда ўлчанаётган температура даражалаш характеристикасидан (жадваллар, графиклардан) (6.3-расм) дарҳол топилади. Бу даражалаш характеристикаси термо ЭЮК билан иш уланмаси (рабочий спай) температураси орасида муносабат

ўрнатади. Термоэлектр термометрларнинг даражалаш характеристикаси, одатда, эркин учларининг температураси 0°C га тенг бўлганда аниқланади. Агар эркин учларнинг температураси амалда 0°C дан фарқ қилса-ю, аммо ўзгармас бўлса, унда иш уланмаси температурасини даражалаш характеристикасидан топиш учун термоэлектр термометр ҳосил қиладиган термо ЭЮК нигина эмас, балки эркин учлари температураси t_0 ни ҳам билиш зарур. Эркин учлари температураси t_0 га $t_0 \neq 0$ бўлганда тузагиш киритиш учун термоэлектр термометр ҳосил қиладиган термо ЭЮК $E(t, t_0)$ га учун $E(t_0, 0)$ ни қўшиш лозим; шунда термо ЭЮК $E(t, 0)$ қийматини топилади:

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

Термоэлектр термометр иш уланмаси температураси t ва эркин учлари температураси 0°C бўлганда, яъни даражалаш шарти бажарилганда шундай $E(t_0, 0)$ ЭЮКни ҳосил қилади.

Агар ўлчаш жараёнида эркин учлар температураси бирор янги t_0 қиймат қабул қилса, унда термометр ҳосил қиладиган термо ЭЮК $E(t, t'_0)$ га (6.3-расм) ва

эркин учлар температурасига киритиладиган тузатиш $E(t'_0, 0)$ га, даражалаш шартига мос термо ЭЮК эса

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

га тенг бўлади.

Термоэлектр термометрнинг эркин учлари температурасига киритиладиган тузатма қиймати термометрнинг даражалаш характеристикасига боғлиқ бўлади, у эса термоэлектр термометр тайёрланадиган ўтказгич материаллар билан белгиланади.

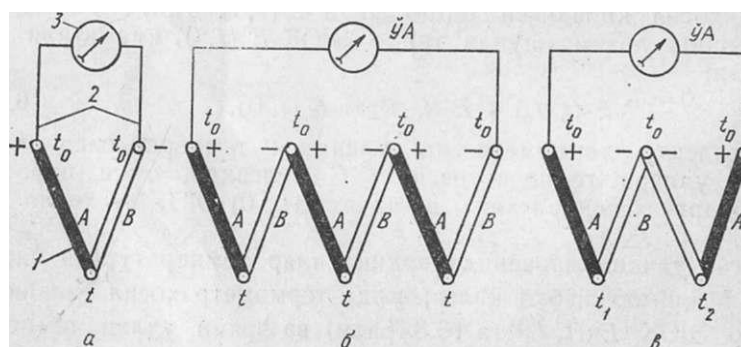
Тузатмани киритиш усулидан қатъи назар (ҳисобий ёки автоматик) тузатма киритиш услуби ўзгармай қолади: қайси усул билан тузатма (ҳисобий ёки автоматик) киритилганидан қатъи назар, схемада $E(t, 0)$ қиймат олинади, бу қиймат кейин термопара термо ЭЮК ига қўшилади. Йиғинди термо ЭЮК $E(t, 0)$ даражалаш қийматига мос келади.

Температурани ўлчашга оид алоҳида масалаларни ечиш учун термоэлектр термометрларни ўлчаш асбоби билан улашнинг турли усуллари қўлланилади (6.4-расм).

6.4-расмда термоэлектр термометри ўлчаш асбобига улаш схемаси кўрсатилган. Термометр комплектига термопара 1 улаш сими 2 ва ўлчов асбоби 3 киради.

Термоэлектр термометрни ўзгартиш коэффициентини орттириш учун бир неча термопараларни (термобатарейаларни) кетма кет улашдан фойдаланилади (6.4-расм, б). Бунда термопаралар ҳосил қиладиган термо ЭЮК қўшилади, яъни n та термопарадан тузилган термобатарейалар термо ЭЮК и алоҳида олинган термопара термо ЭЮК идан катта. Бундай улашдан кам фарқ қилувчи иш температураси t ни ва эркин учлари t_0 ни ўлчашда фойдаланилади.

Икки нукта орасидаги температура фарқини ўлчаш учун дифференциал термоэлектр термометр қўлланилади. У иккита қарама-қарши уланган бир хил термометрдан тузилган (6.4- расм, в). Агар температуралари фарқи ўлчанаётган нуқталарнинг температураси ўзаро тенг бўлса, унда ўша нуқталарда



6.4- расм. Термоэлектр занжирлар: а - термометрни ўлчов асбобига улаш; б - термобатарейя; в - дифференциал термометр.

термометр ҳосил қиладиган ТЭЮК лар ҳам тенг бўлади. Бундай ҳолда термометрдаги занжир токи нолга тенг бўлади, чунки қарама-қарши уланганда бир термопаранинг ТЭЮКи бошқа термопаранинг ТЭЮКи билан компенсация қилинади ва ўлчов асбоби нолни кўрсатади. Агар t_1 ва t_2 температуралар турлича бўлса, у ҳолда қайси температура юқори бўлишига

қараб, температуралар фарқига пропорционал бўлган занжир токи бирор йўналишда оқади, буни ўлчов асбоби кўрсатади.

Термоэлектр материаллар ва термоэлектр ўзгарткичлар

Турли ўтказгичларнинг ихтиёрий жуфти термоэлектр ўзгарткични ташкил этиши мумкин, аммо ҳар бир жуфтлик ҳам амалда қўлланишга ярайвермайди. Замонавий ўлчаш техникаси термоэлектр ўтказгичлар тайёрланадиган материалларга кўпдан-кўп талаблар қўяди, аммо бу талабларни жуда кам сонли матершалларгина кондиради. Асосий талаблар қуйидагилардан иборат: юқори температуралар таъсирига чидамлик, ТЭЮК нинг вақт бўйича ўзгармаслиги, унинг иложи борича катта қийматга эга бўлиши ва температурага бир қийматли боғлиқлиги, қаршилик температура коэффициентининг катта бўлмаслиги ва катта электр ўтказувчанлик.

Барча материаллар ва қотишмалар учун ТЭЮК нинг температурага функционал боғлиқлиги мураккаб бўлиб, уни аналитик ифодалаш анча қийин. Платинородий-платина жуфти бундан истиснодир. Бу жуфтлик учун ТЭЮК билан температура орасидаги боғланиш 300° дан 1300°C гача бўлган ораликда совуқ уланма температураси 0°C бўлганда етарлича аниқликда параболага мос келади:

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

бунда a , b ва c сурма ($630,5^{\circ}\text{C}$), кумуш ($960,8^{\circ}\text{C}$) ва олтин ($1063,0^{\circ}\text{C}$) ларнинг қотиш температураси бўйича аниқланадиган доимийлар.

Металл термоэлектродли термоэлектр термометрларнинг қуйидаги турлари қўлланади. Уларнинг характеристикалари 6.1-жадвалда келтирилган.

Хромель-копелли ($56\% \text{Cu} + 44\% \text{Ni}$) термоэлектр термометрлар стандарт термометрлар орасида энг катта ўзгартиш коэффициентиға эга ($70 — 90 \text{ мкВ}/^{\circ}\text{C}$). Термоэлектрод диаметри 1 мм дан кам бўлган термометрлар учун чегаравий қўлланиш даври 600°C дан кам ва, масалан, диаметри $0,2 \dots 0,3 \text{ мм}$ бўлган термоэлектродлар учун фақат 400°C ни ташкил этади. Юқориги ўлчаш чегараси копелли электродлар характеристикаларининг барқарорлигига боғлиқ.

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%)	В(ПР)	+300	1600	1800
Вольфрамрений (5%) — вольфрамренийли (20%)	(ВР)	0	2200	2500

Никельхром-никель алюминийли ($94\% Ni + 2\% Al + 2,5\% Mn + 1\% Si + 0,5\%$ қўшилма) термометрлар турли муҳит температураларини кенг чегараларда ўлчаш учун қўлланилади. Улар аввал хромель-алюмелли термометрлар деб юритилар эди. Никель-алюминий симдан тайёрланган термоэлектрод оксидланишга никель-хромга нисбатан камроқ чидамли. Қўлланишнинг юқориги чегараси термоэлектрод диаметрига боғлиқ. Диаметри 3—5 мм бўлган термоэлектродлар учун қўлланишнинг юқориги чегараси никель-хром-никель-алюминийли термометрларда 1000°C ни ташкил этади. 0,2 — 0,3 мм диаметр учун 600°C дам ортиқ эмас.

Платинородий (90% платина 10% родий)-платинали термоэлектр термометрлар узок вақт давомида 0 дан 1300°C температура оралиғида, қисқа вақт давомида 1600°C гача бўлган оралиқда ишлаши мумкин. Мазкур термометрлар оксидланадиган ва нейтрал муҳитларда даражалаш характеристикасининг барқарорлигини сақлайди. Тикланадиган атмосферада платинородий-платинали термометрлар ишлай олмайди, чунки термометр термо ЭЮКининг кескин ўзгариши юз беради. Булар улардан фойдаланиш максадига қараб эталон, намуна ва иш термометрлари а бўлинади. Тўғри ишлатилганда даражалаш узок вақт давомида ўзгармайди. Камчиликларига термоэлектр термометрларнинг бошқа турлариникига нисбатан ТЭЮК камлигини киритса бўлади. Термоэлектрод сими диаметри 0,3 ёки 0,5 мм ни ташкил этади.

Платинородий (30% родийли)-платинородийли (6% родийли) термоэлектр термометрлар узок вақт давомида температураларнинг $+300^{\circ}$ дан то 1600°C гача оралиғида, қисқа вақт давомида 1800°C гача қўлланилади. Мусбат электрод —30% родий ва 70% платина қотишмасидан, манфий электрод —6% родий ва 94% платина қотишмасидан ташкил топган. Мазкур термометрлар платинородий-платинали термометрларга қараганда даражалаш характеристикаларининг барқарорлиги юқорилиги билан ажралиб туради, аммо бу термоэлектродлар ҳам тикланадиган муҳитда ёмон ишлайди. Платинородий-платино-родийли термометрларда термо ЭЮК температураларнинг $0 \dots \pm 3100^{\circ}\text{C} \pm 1000^{\circ}\text{C}$ интервалида озгина ҳосил бўладн, бу ҳол эса совуқ уланмалар температурасига тузатиш киритишни талаб этмайди.

Вольфрамрений-вольфрамренийли (ТВР — 5/20 ва ТВР — 10/20) термоэлектр термометрлар узок вақт давомида 0° дан 2200°C гача температураларни ва қисқа вақт давомида 2500°C гача, шунингдек, вакуумда, нейтрал ва тикланадиган муҳитларда температураларни ўлчашга мўлжалланган. Мусбат термоэлектрод 95% вольфрамдан ва 5% ренийдан ёки 90% вольфрамдан ва 10% ренийдан ташкил топган қотишма, манфий электрод 80% вольфрамдан ва 20% ренийдан ташкил топган қотишма.

Термопараларнинг баъзи турлари (мис-копелли, хромель копелли, вольфрамрений-вольфрамренийли ВР 5/20 ёки ВР 10/20) учун аввалги номлари ва даражалаш характеристикалари ҳам қолди. СЭВ стандарти бу термопаралар учун ҳеч қандай белгилашлар киритмади. Бошқа тур термопаралар учун янги

номлар ва белгилашлар киритилди: никельхром-никельалюминийли термопара, К тури, аввалги номи хромель-алюмелли ва белгиланиши ХА; даражалаш характеристикаси ўзгармай қолди. Платинородий-платинали ва платинородий-платинородийли термопаралар учун белгилашлар ўзгаради (ПП ўрнига S, ПР ўрнига В киритилади) ва даражалаш характеристикаси ўзгаради. Бундан ташқари, аввалда серияли ишлаб чиқарилмаган қатор янги термопаралар жорий қилинади:

Мис—мис-никелли (мис-константан термопарасига яқин) Т тури, темир-мис-никелли (темирконстантан термопарасига яқин) J тури ва никаль-хром-мис никелли, Е тури.

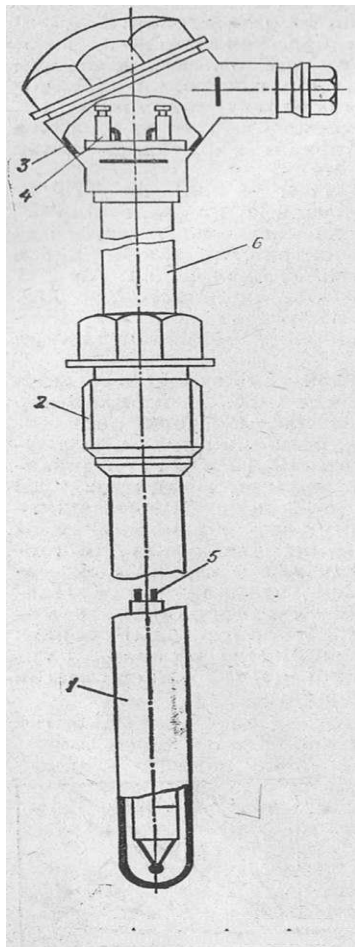
6.5-расмда баъзи стандартлаштирилган термоэлектр термометрларнинг ЭЮКи билан температура орасидаги боғланиш кўрсатилган. ТХК туридаги термопара бошқа стандарт термопараларга қараганда анча катта ТЭЮК ҳосил қила олади.

Термоэлектр генератор, термоэлектр совитгич ва турли ўлчов асбобларида ярим ўтказгичли термопаралар ишлатилади. Уларнинг ТЭЮКи металл ва металл қотишмаларидан ишланган оддий термопаралар ТЭЮКидан 5—10 марта катта. Бу термопараларда термоэлектрод материаллар сифатида $ZnSb$ ва $CdSb$ қотишмалари ишлатилади.

Турли муҳитлар температурасини ўлчайдиган термопаранинг схемаси 6.6-расмда кўрсатилган. У ғилоф 1, кўзғалмас ёки кўзгалувчан штуцер 2, кўзғалмас штуцер билан найча 6 орқали, штуцер ҳаракатда бўлганда эса ғилоф билан бевосита уланган каллак 3 дан иборат. Қопқоқда изоляцион материалдан ишланган розетка 4 жойлашган. Бу розетканинг термопарани ўлчов асбоби билан улайдиган термоэлектроди 5 ва симлар учун қисқичлари бор.



Химоя ғилофлари кўпинча $+1000^{\circ}\text{C}$ гача температуралар учун пўлатнинг турли маркаларидан тайёрланади. Бундан ҳам юқорироқ температураларда кийин эрийдиган бирикмалардан (ГОСТ 13403-77) тайёрланган махсус ғилофлар ишлатилади. Термоэлектр термометрларнинг химоя арматурасининг кўпгина лойихаси ҳозирги вақтда бир шаклга келтирилган. Улар асосан турли босимга мўлжалланган химоя ғилофлари лойихаси ва штуцерлар лойихаси билан фарқ қилади. Охирги вақтда кабелли турдаги термоэлектр термометрлар кенг тарқалмоқда. Улар босим 40 МПа бўлганда - 50° дан $+1100^{\circ}\text{C}$ гача бўлган температуралар оралиғида қўлланилади. Кабелли турдаги термометрларнинг муҳим афзаллиги уларнинг АЭСларнинг энергетик реакторларида ишлашга имкон туғдирадиган радиацион чидамлилиги, шунингдек, иссиқлик зарбаларига тебранишга ва механик нағрузкаларга нисбатан оширилган чидамлилигидан иборат.



Сирт температураларини ўлчашга мўлжалланган термоэлектр термометрлар махсус конструкцияга эга. Бундай термометрлардан химия саноатида кенг фойдаланилади, улар турли аппарат, трубопровод, машиналарнинг айланувчи жўваси ва ҳоказоларнинг сирт температурасини ўлчашга хизмат қилади. Махсус термоэлектр термометрлардан вертикал аппаратларда (аммиак синтези колонналарида, метанол ва ҳ.) температуранини ўлчаш учун ишлатиладиган кўп зонали термометрларни кўрсатиш мумкин.

Термометрларнинг асосий камчилиги сифатида уларнинг инерционлигининг катталигини кўрсатиш мумкин (1,5 минутдан ҳам ошади).

УЗАТУВЧИ ТЕРМОЭЛЕКТРОД СИМЛАРИ

Термоэлектр термометрни ўлчов асбоби билан улайдиган симлар шундай материаллардан тайёрланадики, улар ўзаро жуфт бўлиб, ўзлари уланган термоэлектр термометрлар ҳосил қиладиган ЭЮК ни (ўша температураларда) ҳосил қилади. Бундай талаб тахминан 100°C температура билан чегараланади, бундан юқори температурада термоэлектр термометр ва улайдиган симларнинг характеристикалари бириридан фарқ қилиши мумкин. Бундай бўлишига йўл қўйилади, чунки улайдиган симларнинг температураси, одатда, юқори бўлмайди. Кўрсатилган талаблар бажарилганда термокомпенсацион симлар термоэлектр термометри (термопарани) улайдиган симлар узунлиги қадар узайтиради, термопаранинг эркин учлари эса ТЭЮК ни ўлчашга мўлжалланган асбобнинг клеммаларида бўлиб қолади. Юқорида кўрсатилган талабга риоя қилмаслик термопаранинг эркин учларини ўлчаш симлари билан улайдиган жойларда уланмаларнинг пайдо бўлиши натижасида „паразит“ ТЭЮК ҳосил бўлишига олиб келиши мумкин. Агар узайтирувчи симлар

6.6- расм. Термопаранинг

термометрики каби даражалаш характеристикасига эга бўлса, „паразит“ ТЭЮК ҳосил бўлишидан халос бўлиади.

Узайтирувчи термоэлектр симлар бир ва кўп симли қилиб, изоляцияда ва ташқи қоплама ёки қобиқлик қилиб ишлаб чиқарилади, бу монтаж қилиш ва ётқизишда қулай. Изоляциялаш учун поливинилхлорид, полиэтилентерефталат ва фторопласт плёнкалардан фойдаланилади. Изоляциядан ташқари симлар кўпинча поливинилхлорид қобиқ ёки лавсан ип ёхуд шиша ип билан чирмаб ўралади.

Агар ташқи электр магнит майдондан ва механик таъсирдан сақланиш талаб этилса, унда мис, пўлат симли (ГОСТ 24335-80) қоплама ёки экранлар қўлланилади.

Ҳар бир сим материали изоляциянинг ўз рангига ёки симларнинг ўрамасида ва қопламаси рангидаги симларга эга бўлади. 6.2-жадвалда термопаралар, тавсия этиладиган узайтирувчи термоэлектрод симлар, уларнинг белгилари ва ранглари келтирилган.

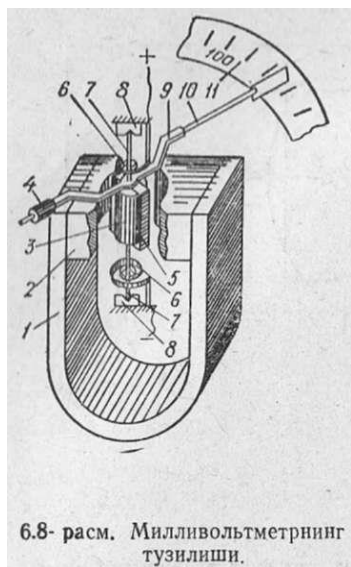
6.2- жадвал

Тавсия этиладиган узайтирувчи термоэлектрод симлари

Термопара	Узайтирувчи термоэлектрод симлари		
	белгилар	Жуфт — симлар	ранги
Мис- копелли	МК	Мис-копель	Қизил (пушти)-сарик (тўқ сарик)
Мис-мисникелли	М	Мис-константан	Қизил (пушти)-жигарранг
	ХК	Хромель-копель	бинафша (қора)- сарик (тўқ сарик)
Хромел-копелли			
Никельхром-никель алюминийли	М	мис-константан, мис-титан — никель мис	Қизил (пушти)-жигарранг Қизил-яшил қизил-кўк
	МТ-НМ		
Платинородий - платинали	П	мис қотишма ТП	Қизил (пушти)-яшил
Вольфрамрени й-вольфрамрени йли	М-МН	мис-қотишма МН, 2,4	Қизил (пушти) — кўк(зангори)

Милливольтметрлар

Ҳозир термоэлектр термометрлар (термопаралар) даги ТЭЮК ни ўлчаш учун магнитоэлектр милливольтметрлар, потенциометрлар ва ўзгартгичлар кенг қўлланилмоқда.



Милливольтметр — магнитоэлектр ўлчаш асбоби бўлиб, уларнинг ишлаш принципи унинг кўзгалувчан рамкасида ўтаётган токнинг ўзгармас магнит майдони билан ўзаро таъсирга асосланган. Милливольтметрнинг тузилиши 6.8- расмда кўрсатилган. Доимий магнит 1 нинг кутб учлари 2 ва таянч товоностлари 8 да айланадиган ўқларда жойланган ўзак 3 орасидаги ҳаво оралиғида рамка 5 бор. Рамканинг учлари ўқлар 7 га уланган Рамкага кронштейн 9, стрелка 10 уланган. Стрелканинг учи шкала 11 бўйлаб силжийди. Рамка термопара занжирига уланганда спираль-пружина 6 орқали келадиган ток рамкадан ўтади. Рамканинг чулғами орқали ток ўтганда ҳосил бўлган магнит майдони

билан доимий магнит майдон ўртасидаги ўзаро таъсир натижасида айлантирувчи момент ҳосил бўлади, шу сабабли рамка стрелка 10 билан бирга айланади. Спираль 6 бу айланишга тескари таъсир қилади. Рамкада қарор топган ҳар бир токнинг қиймати, яъни термопара ТЭЮКига стрелканинг муайян бир вазияти тўғри келади. Ток ўтмаган пайтда эластик пружиналар 6 рамкани бошланғич вазиятга қайтаради, стрелканинг шкала 11 бўйича кўрсатиши эса нолга тенг бўлади. Кронштейн 9 стрелкани мувозанат ҳолатида сақлаш учун посанги 4 билан таъминланган. Асбоб шкаласи °C да даражаланган. Рамкадан ўтаётган ток билан доимий магнит майдон орасидаги ўзаро таъсир туфайли пайдо бўлган айлантирувчи момент куйидаги ифода орқали аниқланади.

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

бу ерда $M_{\text{айл}}$ — айлантирувчи момент; C_1 — рамканинг геометрик ҳажми ва чулғамлари сони билан аниқланадиган доимий коэффициент, B — зазордаги магнит индукцияси; J — рамкадаги ток.

Айланишга тескари таъсир этувчи момент

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

бу ерда C_2 — эластик элемент (спираль-пружина ёки чўзилган толалар) ҳажмидан аниқланадиган доимий коэффициент; E — спираль пружиналарнинг эластиклик модули ёки чўзилган толаларнинг силжиш модули; φ — эластик элементнинг бурилиш бурчаги. Агар $M_{\text{айл}} = M_{\text{тес}}$ яъни мувозанат ҳолати бўлса,

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

У ҳолда

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

Асбоб конструкциялари параметрларига боғлиқ бўлган C , B , E катталиклар ўлчаш жараёнида ўзгармайди, шунинг учун

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

Бу ерда

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

(6.17) ифодадан пирометрин милливольтметр шкаласи чизиқли эканлигини кўриш мумкин.

Асбоб кўзгалувчан системасининг бурилиш бурчаги рамкадан ўтаётган ток кучидан ташқари яна термопара, улайдиган симлар ва милливольтметрларнинг ички қаршилигига ҳам боғлиқ:

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

бу ерда E_T — ТЭЮК; R_T — термопара қаршилиги; R_C — улайдиган симлар қаршилиги; R_M — милливольтметрнинг ички қаршилиги.

(6.18) ифодадан асбоб стрелкасининг четга чиқиши ТЭЮК нинг ўзгармас қийматида занжирнинг турли қаршиликларига боғлиқ эканлиги кўриниб турибди. Шунинг учун асбобнинг даражаланиши занжир ташқи қисмининг муайян қаршилигида ($R_{аш} = R_T + R_C$) бажарилади ва кўшимча хатоларга йўл қўймаслик учун пирометрик милливольтметрни монтаж қилиш процессида шу қаршилиқ аниқ сақланиши шарт. Одатда, ташқи қаршилиқнинг даражали миқдори 0,6; 1,6; 5; 15; 25 Омга тенг бўлиб, асбобнинг шкаласи ва паспортида кўрсатилади. Ташқи қаршилиқни милливольтметр шкаласида кўрсатилган қаршилиқка тенглаштириш учун ўзгарувчи қаршилиқдан фойдаланилади.

Ўлчаш асбоби, сифатида ишлатиладиган милливольтметрли термоэлектрлар комплектининг камчилиги ўлчаш асбобида ток мавжудлигидир. Ток миқдорига, яъни милливольтметрнинг кўрсатишига ТЭЮКдан ташқари занжирнинг қаршилиги ҳам таъсир қилади:

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

Ҳар бир қаршилиқнинг ўзгариши ўлчашда содир бўладиган хатога олиб келади. Ноқулай шароитда бу хато асосий хато миқдоридан (аниқлик классидан) ошиб кетиши мумкин.

Техник милливольтметрларда рамка қаршилигининг милливольтметр умумий қаршилигига нисбати 1:3 дан ортиқ эмас. Милливольтметрнинг умумий қаршилигини орттириб борилса, унинг температурали коэффициентига камайиб боради. Шу билан атроф-муҳит температураси тебранишидан келиб чиқадиган хатолик ҳам камаяди. Агар термопара эркин учларининг температураси ўлчаш жараёнида кенг чегараларда ўзгарса, унда кўприк схемасидан фойдаланган ҳолда совуқ уланмалар температурасини компенсация қилиш усули қўлланилади.

Саноатда ва лабораторияларда қўлланиладиган милливольтметрлар кўрсатувчи, ўзи ёзувчи ва бошқариладиган бўлиши мумкин. Конструкциясининг бажарилиши нуқтаи назаридан асбоблар шчитда ўрнатиладиган ва кўчма бўлади. Кўчма асбоблар учун 0,2; 0,5 ва 1,0 (ГОСТ 9736 — 80), шчитда ўрнатиладиган 0,5; 1,0 ва 1,5 аниқлик класслари белгиланган.

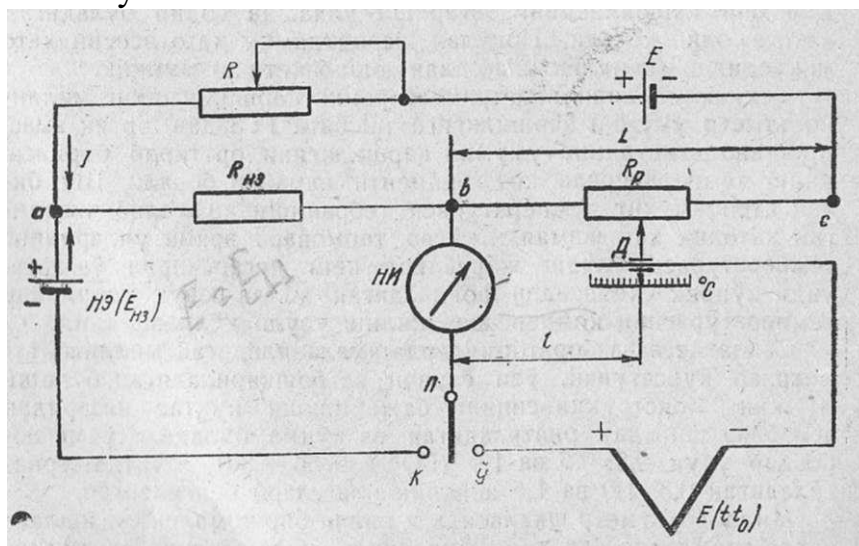
Милливольтметр шкаласида у билан бир комплектда ишлайдиган термопара ёки тўла нурланиш пирометрнинг даражаланиши кўрсатилади.

Потенциометрлар

Асбобларга ўлчаш аниқлиги нуқтаи назаридан қўйиладиган талаблар ошганлиги сабабли ҳозир температуранинг термопара билан ўлчашда милливольтметрлардан фойдаланишдаги камчиликлардан ҳоли бўлган компенсацион ёки потенциометрик усул тобора кенг қўлланилмоқда.

Потенциометрик ўлчаш усули милливольтметр ёрдамида олиб бориладиган ўлчашдан анча афзалдир: потенциометрнинг кўрсатиши ташқи занжир қаршиликларининг ўзгаришига, асбоб температурасига боғлиқ эмас. Потенциометрда термопара эркин учлари температурасининг ўзгаришига автоматик равишда тузатиш киритилади, шунинг учун ўлчаш аниқлиги юқори бўлади. Потенциометрик ўлчаш усули ўлчанаётган термопара ТЭЮК ни потенциаллар айирмаси билан мувозанатлаштиришга асосланган. Бу потенциаллар айирмаси калибрланган қаршиликда ёрдамчи ток манбаларидан ҳосил бўлади. Потенциаллар айирмаси термопара ТЭЮК нинг тескари ишорали қийматиغا тенг.

Температура ёки ТЭЮК ни ўлчаш учун қўлланиладиган, қўл билан мувозанатлаштириладиган потенциометрнинг принципаал схемаси 6.9-расмда кўрсатилган. Ток ёрдамчи E манбадан занжирга ўтади. Бу занжирнинг b ва c нуқталари ўртасида R_p ўзгарувчан қаршилик — реохорд уланган. Реохорд L узунликдаги калибрланган симдан иборат. b нуқта ва ораликдаги реохорднинг сирпанувчи контактли сирпанғичи жойлашган ҳар қандай D нуқта ўртасидаги потенциаллар айирмаси $R_{вд}$ қаршиликка тўғри пропорционал бўлади. Кетма-кет уланган



6.9- расм. Қўл билан мувозанатлаштириладиган потенциометр схемаси. термопара билан переключатель Π орқали сезгир милливольтметра ноль индикатор HI уланади, термопара занжирида ток борлиги шу индикатор орқали аниқланади. Термопара унинг токи $R_{вд}$ тармоқда ёрдамчи манба токи билан бир йўналишда юрадиган қилиб уланади. ТЭЮК ни ўлчаш учун реохорд сирпанғичи ноль индикатор стрелкасини нолни кўрсатгунча суради. Айни

пайгда $R_{ВД}$ қаршиликдаги кучланишнинг камайиши ўлчанаётган ТЭЮК га тенг бўлади. Қуйидаги тенглама бу ҳолатни характерлайди:

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

ёки

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

бу ерда $JR_{ВД}$ — E манба кучланишининг тармоқдаги тушуви.

Занжир тармоғидаги ток кучи бутун занжирдаги ток кучига тенг, демак:

$$\frac{U_{ВД}}{R_{ВД}} = \frac{F}{R_{ВС}} \quad (6.21)$$

бундан

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

Компенсация пайтида $U_{ВД} = E(t, t_0)$ назарда тутилса,

$$E(t, t_0) = U_{ВД} = E \cdot \frac{R_{ВД}}{R_{ВС}}. \quad (6.23)$$

Реохорд калибрланган қаршиликка, яъни унинг ҳар бир узунлигининг тенг тармоғи бир хил қаршиликка эга бўлгани учун

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

Шундай қилиб, $E(t, t_0)$ термопаранинг ТЭЮК реохорд қаршилиги $R_{ВС}$ тармоғидаги кучланиш тушуви миқдори билан аниқланиб, қолган қаршиликларга боғлиқ эмас. $R_{ВС}$ реохорд шкала билан таъминланиши ва шкала бўлинмалари милливольт ёки температура градусларига тенг бўлиши мумкин. ТЭЮК ни ўлчаш аниқлиги реохорд занжиридати J ток кучининг ўзгармаслигига боғлиқ. Ток компенсацион усул билан берилади ва назорат қилинади. Бунинг учун потенциометр схемасига нормал элементли кўшимча контур киритилади. Одатда, нормал элемент (НЭ) вазифасини симоб-кадмийли гальваник Вестон элемента бажаради. Бу элементнинг электр юритувчи кучи 20°C да $1,0183$ га тенг. НЭ переключатель Π орқали қаршилик $R_{НЭ}$ учларига уланади ва унинг ЭЮКи ёрдамчи ток манбаи E нинг ЭЮКи томон йўналган бўлади. Қаршилик R ёрдамида компенсацион занжирдаги ток кучини ростлаш билан НИ нинг стрелкаси нолни кўрсатишига эришилади. Бундай ҳолда компенсацион занжирдаги ток кучи қуйидагича ифодаланади:

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

Термопаранинг ТЭЮК ини ўлчашда Π переключатель K вазиятдаи \checkmark вазиятга ўтказилади. Реохорд R_p нинг D сирпанғичини силжитиб B ва C нуқталар орасидаги потенциаллар айирмасини термопара ТЭЮК га тенглаштирилади. Шу пайтда термопара занжиридаги ток кучи 0 га тенг, шунинг учун

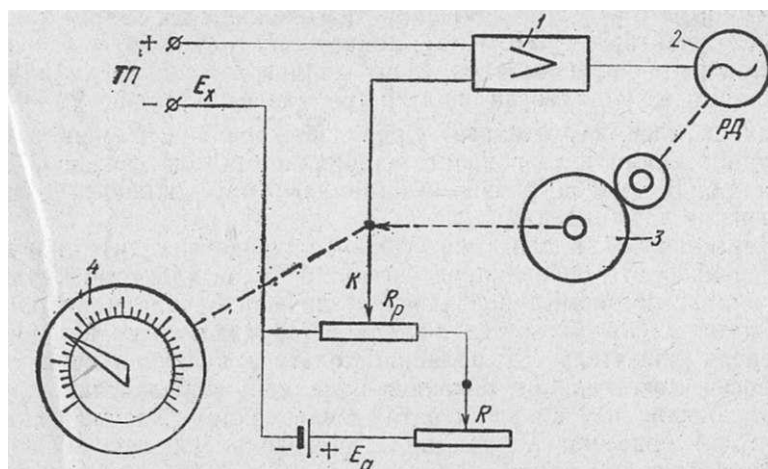
$$E(t, t_0) = J \cdot R_{ВД} = \frac{E_{НЭ}}{R_{НЭ}} \cdot R_{ВД}. \quad (6.26)$$

$E_{НЭ}$ ва $R_{НЭ}$ ларнинг миқдори ўзгармас бўлгани учун ТЭЮК ни аниқлаш қаршилик тармоғининг узунлигини аниқлаш билан баравардир.

ЭЮК ни компенсацион усул бўйича ўзгарувчан ток шароитида ҳам ўлчаш мумкин. Аммо бу ҳолда ўлчаш аниқлиги бирмунча пастроқ, ўзгарувчан токда ишлайдиган асбоблар эса бирмунча мураккаброқдир. Кўчма потенциометрлар цех ва лаборатория шароитларида текширув ва даражалаш ишларида ЭЮК ни компенсацион усул бўйича ўлчаш учун қўлланилади; намуна потенциометрлар аниқ ўлчашларни бажаришда ишлатилади. Бу асбобларнинг ўлчаш схемалари юқорида кўрилган схемага ўхшаш, фақат фарқи шундаки, ўлчов реохорди намуна қаршиликлардан ташкил топган секциялар шаклида тайёрланади. Юқорида кўрилган потенциометрларда ўлчаш занжирининг нобаланс токи ноль индикатор стрелкасини ҳаракатга келтиради, автоматик потенциометрларда эса бу асбоб йўқ. Унинг ўрнига ноль индикатор ишлатилади.

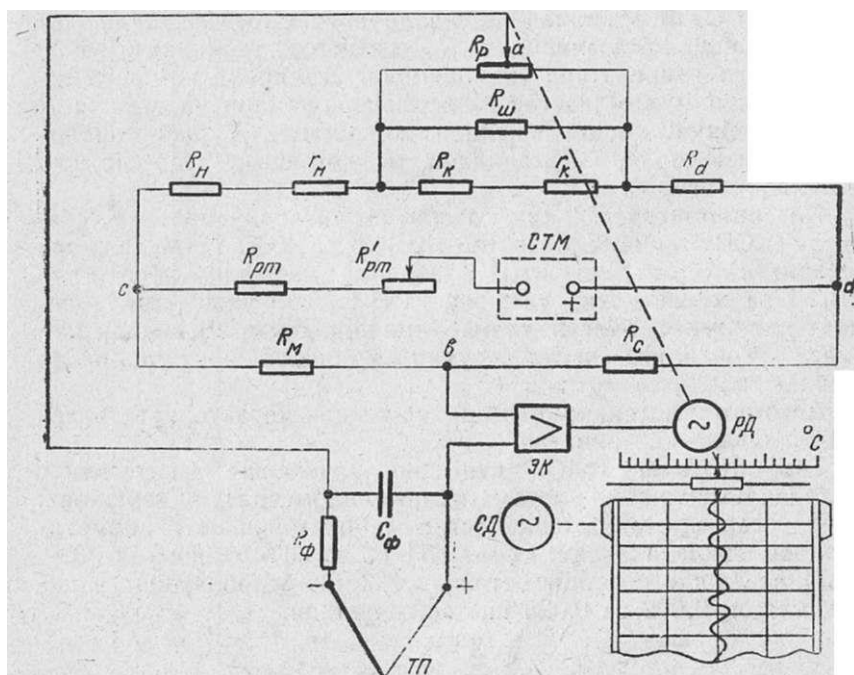
Кўчма потенциометрлардан фарқли ўлароқ автоматик потенциометрлардаги реохорднинг сирпанғичи қўл билан эмас, махсус қурилма орқали автоматик равишда силжийди. 6.10-расмда электрон автоматик потенциометрнинг тузилиш схемаси кўрсатилган.

III термопарада ТЭЮК E_x ни ўлчаш уни калибрланган R_p реохорд кучланишининг камайиши билан таққослаш орқали бажарилади. Потенциометрнинг компенсацион схемаси сирпанғич K ли реохорд ўзгармас кучланиш E_x ни ўзгарувчан кучланишга айлантириб берувчи ўзгартгичли электрон кучайтиргич 1, реверсив электр двигатель 2 ва ток манбаи E_a дан иборат. Электр двигатель 2 редуктор 3 орқали сирпанғич K ва стрелка 4 билан боғланган. Компенсацион схеманинг иши сирпанғичи реохорд бўйлаб кучланиш тушуви томон автоматик силжийди. Бу силжиш реверсив электр двигатель РД ёрдамида бажарилади ва номувозанат кучланиш нолга тенг бўлгунча давом этади. Шундай қилиб, сирпанғич K ва унга бириктирилган стрелканинг вазияти ТЭЮК нинг қийматини, демак, ўлчаниётган температуранинг миқдорини кўрсатади. Қаршилик R компенсацион занжирдаги иш токини ростлаш учун хизмат қилади.



6.10- расм. Электрон автоматик потенциометрнинг тузилиш схемаси.

6.11-расмда замонавий электрон автоматик потенциометр (КСП-4) ўлчаш қисмининг принципиал схемаси келтирилган.



6.11-расм. Электрон автоматик потенциометр ўлчаш қисмининг принципиал схемаси

Потенциометр ўлчаш кўпригининг диагоналларидан бирига электрон кучайтиргич ЭК ва термопара ТП кетма-кет уланган. Термопарани улаш электромагнит майдон таъсирини камайтириш учун мўлжалланган фильтр (расмда фильтрнинг R_{ϕ} — C_{ϕ} содда схемаси кўрсатилган) орқали бажарилади. Ўлчаш кўпригининг иккинчи диагоналига стабиллашган ток манбаи СТМ уланади. Бу манба ўлчаш занжиридаги иш токининг ўзгармаслигини таъминлайди.

Термопара ТП дан (ёки бирон бошқа датчикдан) олинган ўлчаш ахбороти сигналнинг ўзгариши билан электрон кучайтиргичнинг киришига нобаланслик сигнали берилади. Бу сигнал маълум бир ўзгартгич орқали ўзгарувчан токка айланиб, реверсив двигатель РД айланиш ҳолатига келгунча кучаяди. Реверсив двигателнинг айланиш йўналиши нобаланслик ишорасига боғлиқ. Бу айланиш натижасида механик узатма (шкив ёки трос) ёрдамида R_p реохорд сирпанғичи нобаланслик сигнали ўчгунча силжийди.

Булардан ташқари потенциометр ўлчаш схемасига қурилманинг умуман нормал ишини таъминловчи бир қатор элементлар киради. $R_{ш}$ қаршилиқлар R_k , r_k реохорд қаршилиги R_p ни ростлаш учун хизмат қилади: бунда асбобнинг даражаланиш ва ўлчаш диапазони, яъни ўлчаш чегаралари назарда тутилиши лозим. Қаршилиқ R_H ва r_H лар ёрдамида шкала бошланиши ростланади. R_d балластли қаршилиқ $R_{рм}$, $R'_{рм}$ ва R_c резисторлар СТМ таъминлаш манбаининг иш токини чеклаш ва ростлаш учун қўлланилади. R_M резистор термопара эркин учларидаги температура ўзгаришининг таъсирини компенсация қилиш учун мўлжалланган ва термопара учлари уланган жой, яъни асбобнинг кириш панелида жойлашган. R_M дан ташқари ҳамма резисторлар манганиндан, R_M резистор эса мис ёки никелдан тайёрланади.

Потенциометрлар 4 хил габаритда чиқарилади: тўла габаритли (КСП 4), кичик габаритли (КСП 3 ва КСП жуда кичик габаритли кўрсатувчи КПП1, айланма

шкалалари кўрсатувчи КВП 1 ва кўрсатувчи, ўзиюрар КСП 1. Асбобнинг ўртача ремонт қилишгача бўлган хизмат қилиши вақти 10 йилдан кам эмас. Асбоб ичига сигнал берувчи ва бошқарувчи қурилмалар жойлаштирилиши мумкин. Автоматик потенциометрларнинг техник характеристикалари 6.3- жадвалда келтирилган.

Термопаранинг ТЭЮК ини аниқ ўлчаш ва магнитоэлектр милливольтметр ҳамда автоматик потенциометрларни текшириш учун ўзгармас токда ишлайдиган лаборатория потенциометрларидан фойдаланилади: кўчма ПП-63 ва ПП-70; намуна Р330, Р 371 ва бошқа потенциометрлар. Намуна асбобларнинг аннқлик синфи 0,002 ва 0,005 ни ташкил этади.

6.3- ж а д в а л

Автоматик потенциометрларнинг техник характеристикаси

Потенциометрлар тури (ўлчаш нуқталари сони)	Шкала характеристикаси Босган йўли вақти, с узунлик, мм	Қувватга чиқиш ВА	Асбобнинг габарит ўлчамлари, мм	Диаграмманинг сиқжиш 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

IV. AMALIY MASHG'ULOT MATERIALLARI

1-амалий машғулот: **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:

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

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

qiymatlarini 2.2-jadval shakliga keltiramiz.

C (t) me'yorlangan funksiyaning qiymatlari

2.2-jadval

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

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

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

(2.9) tenglamadan foydalanib, quyidagiga ega bo'lamiz

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

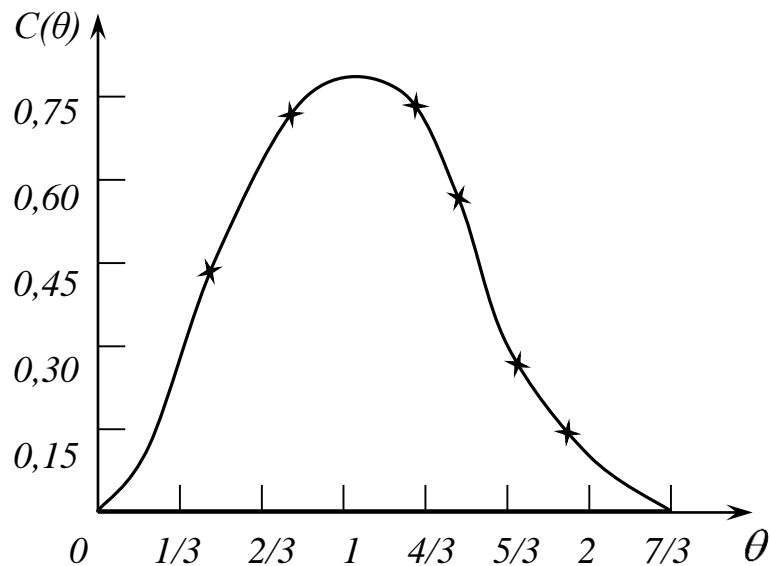
va t_i , C_i^E qiymatlarni qo‘ygandan keyin, $S(\theta)$ muvofiq qiymatlarini olamiz (2.3-jad.).

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).



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 ($S_i = C_i(t)$) 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'rtacha 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 $C_t(\theta)$ 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):

$$C_t(\theta) = \frac{N^N \theta^{N-1} e^{-N\theta}}{(N-1)!} = \frac{3125 \theta^4 e^{-5\theta}}{4 \cdot 5 \cdot 2}. \quad (2.350)$$

Mavjud tajriba ma'lumotlaridan tiklanish dispersiyasini baholab bo'lmaydi. Buning uchun Fisher mezoni 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-амалий машғулот: **Оптималлаштириш масаласининг қўйилиши. Автоматик бошқариш системаларининг оптималлик мезонлари**

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 funksiyaning matritsa shaklida yozing

$$F(X) = 2 \cdot x_1^2 - 2 \cdot x_1 \cdot 2x_2 + 3 \cdot x_1 \cdot x_3 + x_2^2 - 5 \cdot x_2 \cdot x_3 + 4 \cdot x_3^2 + 7 \cdot x_1 - 8 \cdot x_2 + 9 \cdot x_3 + 10.$$

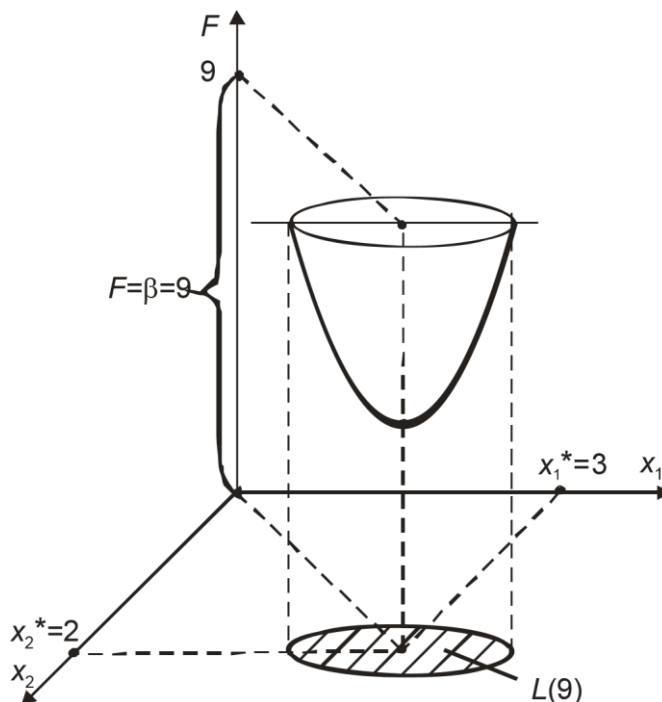
Echim

$$A = \begin{pmatrix} 2 \cdot 2 & -2 & 3 \\ -2 & 1 \cdot 2 & -5 \\ 3 & -5 & 4 \cdot 2 \end{pmatrix}; \quad B = (7 \ -8 \ 9); \quad C = 10;$$

unda

$$F(X) = \frac{1}{2} \cdot \left(\begin{pmatrix} 4 & -2 & 3 \\ -2 & 2 & -5 \\ 3 & -5 & 8 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \right) + (7 \ -8 \ 9) \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + 10.$$

Misol. Maqsadli funksiya $F = (x_1 - 3)^2 + (x_2 - 2)^2$ uchun sath ko'pligi $L(9)$ ni aniqlang.



4.14- rasm. Funksiya $F = (x_1 - 3)^2 + (x_2 - 2)^2$ ning sath yig'indisi $L(9)$

Echim

$\beta = 9$ uchun berilgan funksiyaning sath ko'pligi – bu doira $(x_1 - 3)^2 + (x_2 - 2)^2 \leq 9$ ichida joylashgan nuqtalar yig'indisidir (4.14- rasmda shtrixlangan soha).

Misol . Funksiya $F = (x_1 - 2)^2 + 3 \cdot (x_2 - 1)^2$ uchun analitik yo'l bilan h^* optimal qiymatlarini $X^0(0; 0)$ nuqtadan eng tez tushish usulining ikki qadamida aniqlang . **Echim**

$$\text{Gradient } \nabla F(X) = (2 \cdot (x_1 - 2); 6 \cdot (x_2 - 1)).$$

1 Iteratsiya

$$F(X^0) = F(0; 0) = 7; \quad \nabla F(X^0) = (-4; -6);$$

$$\cdot \quad x_1^1 = x_1^0 - h \cdot \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_1} = 0 - h \cdot (-4) = 4h;$$

$$x_2^1 = x_2^0 - h \cdot \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_2} = 0 - h \cdot (-6) = 6h;$$

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-амалий машғулот: **Kimyoviy texnologiya tipik apparatlarining kompyuterli modellarini tuzish**

MISOLLAR

1-misol. Mahsulotning chiqishi u ga uch faktor: 100—200°C diapazondagi harorat T , 2MPa $= (20—60 \text{ kgs/sm}^2)$ 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:

$$z_1^{\min} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad z_1^0 = 150 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad \Delta z_1 = 50 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

$$z_1^0 = \frac{z_1^{\max} + z_1^{\min}}{2}, \quad \Delta z_1 = \frac{z_1^{\max} - z_1^{\min}}{2}$$

Ixtiyoriy faktor z_j uchun quyidagiga egamiz:

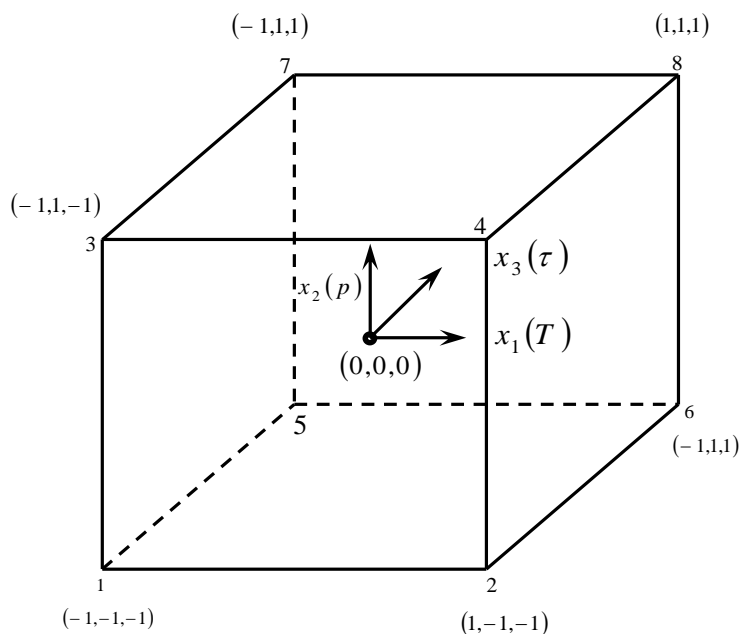
$$z_j^0 = \frac{z_j^{\max} + z_j^{\min}}{2}, \quad j = 1, 2, 3, 4, \dots, k$$

$$\Delta z_j = \frac{z_j^{\max} - z_j^{\min}}{2}$$

$(z_1^0, z_2^0, z_3^0, \dots, z_k^0)$ 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 qirrasli 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.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} y \\ 2 \\ 6 \\ 4 \\ 8 \\ 10 \\ 18 \\ 8 \\ 12 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 \\ +6 \\ -4 \\ +8 \\ -10 \\ +18 \\ -8 \\ +12 \end{bmatrix}$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^8 x_{1i} y_i}{N} = \frac{20}{8} = +2.5$$

$$\sum_{i=1}^8 x_{1i} y_i = 20$$

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:

$$\begin{array}{ccc}
 x_1 x_2 & Y & \\
 \begin{bmatrix} +1 \\ -1 \\ -1 \\ +1 \\ +1 \\ -1 \\ -1 \\ +1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 2 \\ 6 \\ 4 \\ 8 \\ 10 \\ 18 \\ 8 \\ 12 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} +2 \\ -6 \\ -4 \\ +8 \\ +10 \\ -18 \\ -8 \\ +12 \end{bmatrix} \\
 \times & = &
 \end{array}$$

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_1 x_2)_i y_i}{N} = -\frac{4}{8} = -0.5$$

$$\sum_{i=1}^8 (x_1 x_2)_i y_i = -4$$

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:

$$F = \frac{s_{\text{кол}}^2}{s_{\text{мук}}^2} \quad s = \frac{\sum_{i=1}^8 (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - L} = \frac{6}{4} = 1.5 \quad s_{\text{мук}}^2 = 0,28$$

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.

$x(^{\circ}\text{S})$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$u(\%)$	33,5	37,0	41,2	46,1	50,0	52,0	56,3	64,3	69,9

Yechim. Regressiya tenglamasini $\hat{y} = b_0 + b_1x$ ko'rinishda yozamiz.

$$b_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}$$

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:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$$

$$y_i^0 = \frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \quad x_{ji}^0 = \frac{x_{ji} - \bar{x}_j}{s_{xj}} \quad \text{formular bo'yicha tajribaning barcha}$$

natijalarini standart masshtabga o'tkazamiz. Keyin,

$$\left. \begin{aligned} r_{y^0 x_j^0}^* &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N y_i^0 x_{ji}^0 \\ r_{x_l^0 x_m^0}^* &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N x_{li}^0 x_{mi}^0 \end{aligned} \right\}$$

$l > m$

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:

$$s_{kol}^2 = \frac{m \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{N - l} : s_{kol}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{105} (y_i - \hat{y}_i)^2}{105 - 4} = 36.03$$

S_{qol}^2 ning erkinlik darajasi soni 101 ga, G – nisbat esa 9,4 ga teng. Ahamiyatlilik $r = 0.05$, erkinlik darajalari sonlari $f = 101$ va $f = 2$ uchun Fisher mezonining jadval qiymati $F_p(f_1, f_2) = 19.5$ ni tashkil etadi. Demak, olingan regressiya tenglamasi tajribaga monand.

3-misol. Quvurli polietilen reaktorining unumdorligi u ni jarayonning parametrlariga bog'liqligini olish lozim (1-rasm)-reaktorning unumdorligi u ga ta'sir etuvchi parametrlar sifatida quyidagilarni tanlaymiz: x_1 – reaktordagi bosim; x_2 – reaktordagi harorat; x_3 – reaksiyaga kirishuvchi aralashmadagi O_2 ning konsentratsiyasi; x_4 – reaktorga beriladigan gazning miqdori. Me'yoriy ish rejimida o'rganilayotgan obyektidan olingan 200 ta o'lchashlardagi tanlanma hajmi boshlang'ich statistik material bo'lib xizmat qiladi.

Yechim. $\hat{y} = af_1(x_1)f_2(x_2)...f_k(x_k)$ 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'riyatotgan 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:

$$y_1^0 = 61.8\%, y_2^0 = 59.3\%, y_3^0 = 58.7\%, y_4^0 = 69\%$$

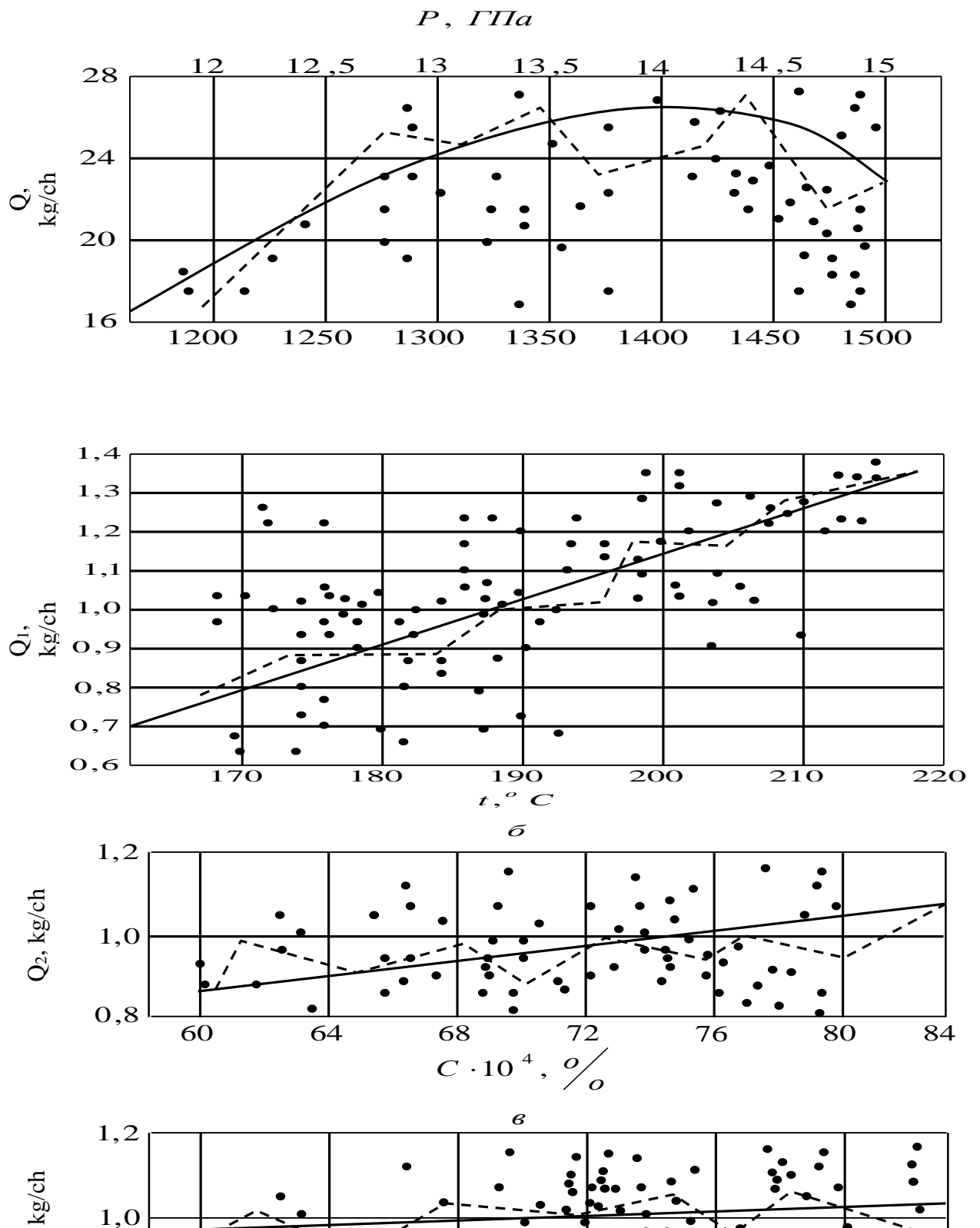
$$\bar{y}^0 = \frac{\sum_{i=1}^4 y_i^0}{4} = 60.95 \quad s_{\text{muk}}^2 = \frac{\sum (y_i^0 - \bar{y}^0)^2}{3} = 5.95$$

Qayta tiklanish dispersiyasining erkinlik darajalari soni $f = 4 - 1 = 3$.

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2} \quad \text{va} \quad s_{b_j}^2 = \frac{s_{\text{muk}}^2}{N \sum_{i=1}^N x_{ij}^2}$$

formularlar bo'yicha regressiya

tenglamasining ikkinchi tartibli koeffitsiyentlari va koeffitsiyentlarning xatoliklarini hisoblaymiz



$$\begin{aligned}
b_{44} &= -5.34 \\
b_{12} &= 2.18 & s_{b_j} &= \sqrt{s_{b_j}^2} = 0.545 \\
b_{13} &= 0.2 & s_{b_{uj}} &= \sqrt{s_{b_{uj}}^2} = 0.61 \\
b_{14} &= 1.2 \\
b_0 &= 61.54 & b_{23} &= 0.56 \\
& & b_{24} &= 0.79 & s_{b_{jj}} &= \sqrt{s_{b_{jj}}^2} = 0.864 \\
& & b_{11} &= 4.5 \\
& & b_{22} &= 1.3 \\
& & b_{33} &= 4.09 & b_{34} &= 1.9 \\
b_1 &= 17.37 \\
b_2 &= 6.4 \\
b_3 &= 4.7 \\
b_4 &= -4.37
\end{aligned}$$

Styudent mezoni bo'yicha koeffitsiyentlarning ahamiyatligini

$$\begin{aligned}
t_{12} &= \frac{2.18}{0.61} = 3.57 \\
t_{34} &= \frac{1.9}{0.61} = 0.318 \\
t_{13} &= \frac{0.2}{0.61} = 3.18 \\
t_{14} &= \frac{1.2}{0.61} = 1.97 \\
t_{23} &= \frac{0.56}{0.61} = 0.91 \\
t_{24} &= \frac{0.76}{0.61} = 1.25
\end{aligned}$$

$$t_1 = \frac{17.37}{0.545} = 31.9$$

$$t_2 = \frac{6.4}{0.545} = 11.7$$

$$t_3 = \frac{4.70}{0.545} = 8.64$$

$$t_4 = \frac{4.37}{0.545} = 8.64$$

$$t_{11} = \frac{4.5}{0.864} = 5.2$$

$$t_{22} = \frac{1.3}{0.864} = 1.5$$

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:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 61.54 + 17.37x_1 + 6.4x_2 + 4.7x_3 - 4.37x_4 + \\ & + 2.18x_1x_2 + 1.9x_2x_3 + 4.5(x_1^2 - 0.8) + 4.09(x_3^2 - 0.8) - \\ & - 5.34(x_4^2 - 0.8) = 58.9 + 17.37x_1 + 6.4x_2 + 4.7x_3 - \\ & - 4.37x_4 + 2.18x_1x_2 + 1.9x_3x_4 + 4.5x_1^2 + 4.09x_3^2 - 5.34x_4^2 \end{aligned}$$

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:

$$\hat{y} = 52.12 = 0.35 X_1^2 - 1.85 X_4^2$$

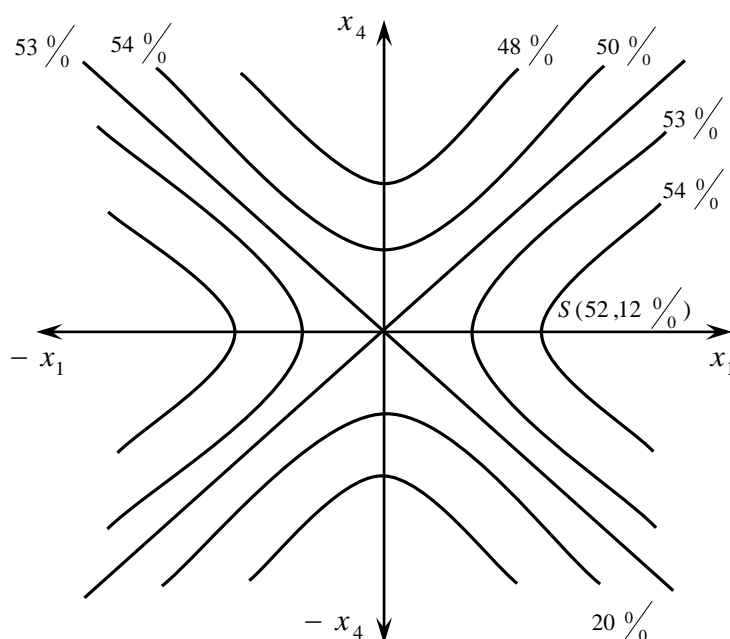
bu yerda 52,12 — S yuza markazidagi parchalanish darajasi.

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 koordinatlarini 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-амалий машғулот: Ўлчаш ва ўлчов асбобларининг хатоликлари
хақида асосий ТУШУНЧАЛАР

1.1. Термостатдаги ҳарорат 0-500⁰С шкалалари, йўл қўйилиши мумкин бўлган асосий хатолиги ±4° С чегарасида бўлган техник термометр билан ўлчанар эди. Термометр кўрсатмаси 346⁰С ни ташкил этди. Техник термометр билан бир вақтда термостатга текширувдан ўтганлиги ҳақида гувоҳномага эга бўлган лаборатория термометри туширилди. Лаборатория термометрининг кўрсатмаси 352⁰С ни ташкил этди. Гувоҳнома бўйича тузатиш – 1⁰Сни. Чиқиб турган устун учун тузатиш +0,5° С ни ташкил қилади. Техник термометр кўрсатмасидаги хатоликнинг амалдаги қиймати йўл қўйилиши мумкин бўлган асосий хатоликнинг чегарасидан ошадими, шунини аниқланг.

1.2. Милливольтметр 50 интервалга ажратилган бир ҳил тенгликдаги шкалаларга бўлинган ўлчовнинг қуйи чегараси $U_k = -10$ мВ, юқори чегараси $U_k = +10$ мВ. ни ташкил қилади. Милливольтметрнинг сезувчанлиги ва шкалалари бўлинишининг баҳосини аниқланг.

1.3. Мис ёки платина термометрининг ўзгариш коэффициентлари ҳароратга боғлиқми, агарда унинг қаршилиги қуйидаги ифодаларнинг ҳарорати билан боғлиқлиги маълум бўлса:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) - \text{мис термометри учун,}$$

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) - \text{платина термометри учун.}$$

1.4. 0-500⁰С шкалалари градуировка ХК автоматик потенциометри текширилганда шу нарса аниқландики, асбоб стрелкаси ва пероси ноль белгига нисбатан юқорилаш томонга 10⁰С силжиган. Қўғоз диаграммаси қайта ишланганда ҳарорат ўлчашдаги бу систематик хатолик қандай ҳисобга олиниши зарур? Масалан, 430⁰С белгисида.

1.6. Барометрик босими 760дан 723,3 гача мм.симв.уст.ни ташкил этган ўзгариш туфайли содир бўлган газли манометрик термометр кўрсаткичидаги абсолют ва нисбий ўзгаришларни аниқланг. Асбоб шкаласи 0—100⁰С, бу босимнинг 6,825 дан 9,325 гача кгс/см² га тенг. Асбоб 80⁰С ни кўрсатмоқда. Асбоб шкаласи бир меъёрда.

1.7. 1,5 синфдаги техник манометр учун атроф-муҳитнинг нормал ҳарорати 20±5⁰С, ишчи ҳарорат эса +5 дан + 50⁰С гача.

Агарда атроф-муҳит ҳарорати $t = 24^{\circ}\text{C}$, $t = 10^{\circ}\text{C}$ ва $t = 55^{\circ}\text{C}$ ни ташкил этган ҳолда қолган таъсир этувчи катталиклар нормал қийматга эга бўлса, бундай шароитда асбобнинг кўрсаткичлари хатоликлари бир ҳилда бўладими?

1.8. Автоматик потенциометр шкаласининг барча нуқталаридаги ўлчовларнинг йўл қўйилиши мумкин бўлган нисбий хатоликлари чегараси бир ҳилдами?.

1.9. 200-600⁰С шкалалари 0,5 градуировка синфли ХК автоматик потенциометри билан термо э.ю.книнг бир маротабалик ўлчови ўтказилди. Кўрсаткич 550⁰С белгисида турибди. 550⁰С белгида турган потенциометр билан термо э.ю.к. ўлчангандаги максимал нисбий хатоликни баҳоланг. Ишлаш шароити нормал ҳолатда нисбий хатолик асбобнинг кўрсаткичи билан боғлиқми?

01.1. Техник термометр учун фақатгина температуранинг ҳақиқий қиймати $(346 \pm 4)^\circ\text{C}$ ёки $34 \div 350^\circ\text{C}$ бўлган интервални аниқлаш мумкин. Лаборатория термометри учун тузатишлар қиймати маълум, шунинг учун унинг кўрсатмалари бўйича температуранинг ҳақиқий қийматини аниқлаш мумкин

$$t_{\text{д}} = 352 + (-1) + (+0,5) = 351,5^\circ\text{C}.$$

Бундан осонликча пайқаш мумкинки, техник термометрнинг амалдаги хатолиги йўл қўйилган чегаралардан ошади

01.2. Кўриб чиқиладиган ҳолатда стрелка шкаланинг бир белгисидан бошқасига кириш кучланиши ΔU :

$$\Delta U = \frac{U_{\text{к}} - U_{\text{н}}}{N} = \frac{10 - (-10)}{50} = 0,4 \text{ мВ},$$

Ўзгарганда силжийди, бундан келиб чиқадики, бўлиниш баҳоси $k = 0,4 \text{ мВ}$

Агар асбобнинг чиқиш катталиги ўзгариши деб стрелканинг бир интервалга силжишини қабул қилсак, осонликча билиш мумкинки сезгирлик S ва бўлиниш баҳоси K тесқари катталиклар экан:

$$S = 1/K = 1/0,4 = 2,5 \text{ 1/мВ}.$$

01.3. Ўзгариш коэффициентини S сезгирликка ўхшаш, аммо сезувчанлик – ўлчов асбобининг характеристикасидир, ўзгариш коэффициентини эса – ўлчов ўзгартиргичининг характеристикасидир.

Термометрнинг кириш сигнали температурадир, чиқиш сигнали эса термометрнинг электик қаршилигидир. Мис термометри учун ўзгариш коэффициентини

$$S_{\text{н}} = \frac{\Delta R}{\Delta t} = R_0 \alpha.$$

Платинали термометр учун

$$S_{\text{п}} = \frac{\Delta R}{\Delta t} = R_0 (A + Bt).$$

Бундан келиб чиқадики, мис термометрнинг ўзгариш коэффициентини температурага боғлиқ эмас, платинали термометр эса – температурага қараб ўзгаради.

01.4. Систематик хатоликни ҳисоблаш учун диаграммани қоғозда градусларда ҳисобланган барча натижаларни градуировка жадваллари бўйича милливольтларга ўтказиш, милливольтларда тузатиш киритиш, сўнгра натижаларни яна градусларга ўтказиш зарур.

Стрелка ва перонинг 0 дан 10°C гача силжиши ХК градуировкаси учун термо э.ю.к. ини $0,65 \text{ мВ}$ га ўзгаришига мос келади. Диаграммани қоғозда 430°C ҳисобланган ХК градуировка учун 430°C термо э.ю.к. ининг $34,12 \text{ мВ}$ га тенг, тузатишни қўшиб ҳисобласак

$$34,12 + (-0,65) = 33,47 \text{ мВ}.$$

Температура қийматини аниқлаймиз

$$t = 422,75^\circ\text{C}.$$

01.6. Барометрик босим ўзгариши $36,7 \text{ мм сим.уст}$ ёки $0,05 \text{ кгс/см}^2$ ни ташкил қилади. Манометрик термометрлар ошиқча босимни ўлчаганлиги

сабабли асбобнинг кўрсатиши $0,05 \text{ кгс/см}^2$ ошади. Газни манометрик термометр шкаласи бир текисда ва босим бўйича шкала диапазони $2,5 \text{ кгс/см}^2$ ни ташкил қилади. Шундай қилиб, термометр кўрсатишлари $100 \cdot \frac{0,05}{2,5} = 2^\circ\text{C}$ га ошади. Абсолют хатолик $+2^\circ \text{C}$ ни ташкил қилади, нисбий хатолик эса 80°C белгида:

$$\delta = \frac{+2}{80} \cdot 100 = +2,5\%.$$

ни ташкил этади.

О1.7. Асбобнинг нормал ишлаш шароити $20 \pm 5^\circ \text{C}$ бўлса, температура $+24^\circ \text{C}$ да асосий хатолик бўлади. $+10^\circ\text{C}$ да асосий хатоликдан ташқари асбобнинг кўрсатиши унга таъсир этувчи катталиклар сабабли ҳам ўзгариши мумкин.

О1.8. Йўқ. Шкаланинг барча нуқталари учун ўлчов диапазони ва ўлчов воситасининг аниқлик синфи билан аниқланадиган абсолют хатолик Δ_0 нинг йўл қўйиладиган чегараси бир ҳилдир. Йўл қўйиладиган нисбий хатолик $\delta_0 = \Delta_0/\chi_i$ шкаланинг χ_i белгисига боғлиқ. Асбобнинг шкала бўйича кўрсатиши қанчалик кам бўлса, нисбий хатолик шунчалик кўп бўлади. Шу сабабли асбобнинг ўлчов диапазонини шундай танлаш керакки, ўлчанаётган катталик шкаланинг охирида бўлсин.

О1.9. Агарда, потенциометрнинг синфидан бошқа ҳеч қандай метрологик характеристикаси бўлмаса, унда фақатгина йўл қўйиладиган хатоликнинг чегарасини баҳолаш мумкин. Бизнинг ҳолатда йўл қўйиладиган хатолик K синфи ва потенциометрнинг ўлчов диапазони ($\chi_k - \chi_n$) орқали аниқланади:

$$\Delta_0 = \frac{\chi_k - \chi_n}{100} K.$$

Потенциометрлар учун хатолик милливольтметрларда ифодаланади [12]:

$$\chi_k = E(600^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}) = 49,11 \text{ мВ};$$

$$\chi_n = E(200^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}) = 14,59 \text{ мВ};$$

$$\Delta_0 = \frac{49,11 - 14,59}{100} \cdot 0,5 = 0,1726 \text{ мВ}.$$

550°C белгида нисбий хатолик чегараси қуйидагига тенг:

$$\delta_0 = \frac{\Delta_0}{E(550^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C})} \cdot 100 = \frac{0,1726}{44,71} \cdot 100 = 0,386\%.$$

Йўл қўйиладиган абсолют хатолик чегараси шкаланинг барча белгилари учун бир хил. Масалан, 300°C белгисига у тенг бўлади:

$$\delta_0 = \frac{0,1726}{22,88} \cdot 100 = 0,754\%.$$

5-амалий машғулот: **М** Юқориги ўлчаш чегараси 300°C бўлган потенциометрнинг кўрсатиши $X_n = 240^\circ\text{C}$ ва ўлчанаётган температуранинг ҳақиқий қиймати $X_{hx} = 241,2^\circ\text{C}$ бўлганидаги абсолют, нисбий, келтирилган хатоликлари топилсин.

Абсолют хатолик (2.2) формула бўйича: $\Delta X = -1,2^\circ\text{C}$, нисбий хатолик (2.4) формула бўйича $b = -0,5\%$, келтирилган хато (2.6) формула бўйича $j = -0,4\%$.

1.13. Oqim sarfini kalorimetrik sarf o'lchagich bilan o'lchashda isitgich quvvati ampermetr va voltmetrning ko'rsatishiga muvofiq ishlab chiqilgan. Ushbu ikkala qurilma ham $K=0,5$ aniqlik sinfiga mansub hamda ular normal sharoitda mos ravishda 0-5 A va 0-30 V oralig'ida bo'lgan shkala bo'yicha ishlaydilar. Elektr tarmoqdagi tok kuchi va kuchlanishning nominal qiymatlari 3,5 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 voltmetr 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 termometrida $R_0^* = 49,95 \Omega$ va $\alpha^* = 4.25 \cdot 10^{-3}$

K^{-1} ekanligi ma'lum bo'lsa, haroratni o'lchash xatosini qanday aniqlash mumkin?

Kalibr lash 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.

Kalibrash 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 $t^* = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, kalibrash 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 kalibrash 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 $^\circ\text{C}$ 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 $^\circ\text{C}$ uchun:

$$\Delta R_t = \sqrt{(1 + 4.28 \cdot 10^{-3} * 100)^2 * 0.2^2 + (50 * 100 * 0.03 * 10^{-3})^2} = \pm 0.316 \Omega$$

$$\Delta t = \frac{\Delta R_t}{S} = \frac{\pm 0.316}{0.214} = \pm 1.48 \text{ }^\circ\text{C}$$

150 $^\circ\text{C}$ uchun:

$$\Delta R_t = \sqrt{(1 + 4.28 \cdot 10^{-3} * 150)^2 * 0.2^2 + (50 * 150 * 0.03 * 10^{-3})^2} = \pm 0.4 \Omega$$

$$\Delta t = \frac{\Delta R_t}{S} = \frac{\pm 0.4}{0.214} = \pm 1.86 \text{ }^\circ\text{C}$$

1.5 O'lchov tizimini sinovdan o'tkazishda differensial bosim o'lchagich – difmanometrda ikkilamchi o'lchash asbobi sifatida foydalanilgan, normal ishlash sharoitida o'lchov asbobining o'lchash qismida quyidagi ΔP_i differensial 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^* differensial 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:

$$\Delta t = (t_{\text{yLq}} - t_{\text{yCT}}) * \gamma * n$$

Bu yerda: t_{yLq} – o'lchangan (termometr ko'rsatayotgan) harorat, $^{\circ}\text{C}$; t_{yCT} – chiqib turgan ustun (atrof-muhit) harorati, $^{\circ}\text{C}$; 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.

$$\Delta t = (-40 - 20) * 0.0012 * (-40 - (-100)) = -4.32\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_x = t_{\text{yLq}} + \Delta t = -40 - 4.32 = -44.32\text{ }^{\circ}\text{C}$$

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 avvalgisini 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 $V_{\Pi} = 1,5 \text{ sm}^3$, termoballon hajmi $V_G = 140 \text{ sm}^3$.

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:

$$\Delta t = \frac{V_K \Delta t_K + V_{\Pi} \Delta t_{\Pi}}{V_K + V_{\Pi} + V_G}$$

bu erda Δt_K va Δt_{Π} 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 °C ga o'zgarishi sababli manometrik gaz termometrining ko'rsatkichlarini o'zgarishini baholang, agarda kapillyarlar V_K , prujina V_{Π} va termoballon hajmlari V_G ning nisbati $\frac{V_K + V_{\Pi}}{V_G} = 0,01$ ma'lum bo'lsa.

J 2.8 Oldingi 2.7 misolni javobida bo'lgani kabi ko'rsatish o'zgarishi o'sha formulaga muvofiq hisoblanadi:

$$\Delta t = \frac{(V_K + V_{\Pi}) \Delta t_{\Pi}}{V_K + V_{\Pi} + V_G}$$

bu erda Δt_{Π} - 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 °C shkalalardagi barometrik bosim p_G ning 0,005 MPa ga o'zgarishiga olib kelishini aniqlang?

J 2.10 Masalani yechish uchun 0 °C dagi nisbiy o'zgarishlarni aniqlaymiz:

$$\delta = \frac{0,005}{5,46} * 100\% = 0,092\%$$

Xuddi shunday, 500°C da ham:

$$\delta = \frac{0.005}{15.46} * 100\% = 0.032\%$$

6-амалий машғулот: **Хароратни ўлчаш**

2.1. Қайси ҳарорат диапазони учун халқаро амалий ҳарорат шкаласи 1968 (МПТШ-68) жорий этилади?

2.2. МПТШ-68 нинг амалий ишга киритиш қандай амалга оширилади?

2.3. Симобнинг қайнаш даражаси $+356,6^{\circ}\text{C}$ бўлган ҳолда $+500^{\circ}\text{C}$ ҳароратни симобли шиша термометр билан ўлчаш мумкинми? Қандай қилиб симобли термометрларнинг ўлчовини юқори чегарасини кўтариш мумкин?

2.6. Манометрик симобли термометрнинг кўрсатмалари ўзгаришини аниқланг, агарда градуировка пайтида термобаллон ва кўрсатувчи асбоб бир сатҳда турган бўлиб, реал шароитда эса – кўрсатувчи асбоб термобаллондан 7,37 м баланд жойлашган бўлса, термометр шкаласи $0-500^{\circ}\text{C}$. Ҳарорат 0 дан 500°C гача ўзгарганда системадаги босим 4,47 дан 14,28 мПа гача ўзгаради. Симобнинг зичлиги $\rho=13595\text{ кг/м}^3$.

2.9. Ҳарорат 0 дан 500°C га ўзгарганда системадаги босим 100 кгс/см^2 га ўзгариши учун 0°C даги манометрик газ термометри системасида қандай бошланғич босим ҳосил қилиниши зарурлигини аниқланг. Газ кенгайишининг термик коэффициентини $\beta = 0,00366\text{ К}^{-1}$

2.11. ТХК типдаги термоэлектрик термометрнинг термо э.ю.ки ишчи учидеги ҳарорат ўзгарган, аммо ишчи учи ва эркин учларининг ҳароратини фарқи сақланиб қолганда ўзгарадими? Масалан, $E(300, 50^{\circ}\text{C})$ ва $E(600, 350^{\circ}\text{C})$?

2.16. Термоэлектрик термометр кўрсатмаларига тузатишлар киритинг ва ишчи учининг ҳароратини аниқланг, агарда ТПП типдаги термометрнинг термо э.ю.ки $3,75\text{ мВ}$ ни, эркин учлари ҳарорати 32°C ни ташкил қилса.

2.18. ТПП типдаги термоэлектрик термометр ўлчов асбобига мис симлар ёрдамида уланди. Термометрнинг ишчи учи ҳарорати 700°C , эркин учлариники эса 20°C .

Мис симнинг платинародийли электродга уланган жойидаги ҳарорат 100°C гача ошса, мис симнинг платинали электродга уланган жойининг ҳарорати эса 20°C га тенг бўлса термо э.ю.к ўзгарадими?

ТПП типдаги термоэлектрик термометр учун бошланғич қийматлар $E(700, 0^{\circ}\text{C})=6,256\text{ мВ}$, $E(20, 0^{\circ}\text{C})=0,112\text{ мВ}$ платинародий – мис термоэлектрик термометрининг термо э.ю.ки ишчи ва эркин учларининг ҳарорати 100°C ва 20°C бўлганда қуйидагига тенг: $E'(100, 20^{\circ}\text{C})=0,077\text{ мВ}$.

2.24. 2-23 масаласидаги шарт учун қуйидагиларни тахмин қиламиз, ишчи учи температураси $t=400^{\circ}\text{C}$, 1 ва 2 нуқталари температураси $t'=40^{\circ}\text{C}$ ва 3 ва 4 нуқталари температураси $t''=20^{\circ}\text{C}$ (2-7расм).

Миллифольтметрнинг кўрсатмалари қай тарзда ўзгаради, агарда термоэлектродли узайтирувчи симларни худди шундай суммар қаршиликли мис симлар билан алмаштирилса? Термоэлектрик термометр

характеристикасини линияли деб ҳисоблаймиз. Ўлчов асбобининг кириш қаршилигини чексиз катта деб тахмин қиламиз.

2.25. 2-23 масаласидаги шарт учун тахмин қиламиз: 1,2,3,4 нуқталари доимо бир ҳил, фақатгина вақт бўйича ўзгариши мумкин. Агарда термоэлектродли узайтирувчи симларни мис симлар билан алмаштирилса бу ҳолатда асбобнинг кўрсатмалари ўзгарадими?

2.26. 2-23 масаласи шarti учун КТ-54 компенсаторидан (2-7расм) даги милливольтметрга келувчи мис симларни худди шундай қаршиликка эга алюминий симларга алмаштирилса милливольтметрнинг кўрсатмалари ўзгарадими?

2.27. 2-23 масаласи шarti учун термоэлектрик термометрнинг йўл қўйиладиган ўзгаришлари диапазонида эркин учларининг барча температураларида термо э.ю.к. нинг ўзгариш тўлиқ компенсацияланадими?

2.28. Милливольтметрнинг сезувчанлиги ўзгарадими, агар пружинанинг ўзгармас қаттиқлигида унинг ўрамлари сони оширилса?

2.39. Ички қаршилиги жуда катта бўлган манбанинг э.ю.кни ўлчаш лозим. Масалан рН – метр электрод системасининг э.ю.кни.

Қандай потенциометр, кичикомлими ёки юқориомли ва нима учун бу мақсадда фойдаланиш керак?

2.40. КСП-4 типидagi 0-400⁰С шкалали ХК градуировкали автоматик потенциометрнинг ўлчов схемаси қуйидаги қаршиликлар ва ток қиймати билан характерланади. $R_k = 509,5 \text{ Ом}$; $R_6 = 330 \text{ Ом}$; $R_{II} = 12 \text{ Ом}$; $R_5 = 90 \text{ Ом}$; $I_1 = 3 \text{ мА}$; $I_2 = 2 \text{ мА}$.

Реохорднинг c ёки d нуқтасидан қайси бири ўлчовнинг юқори чегарасига мос келишини аниқланг?

2.53. Мис қаршилик термометрлари 20⁰С да қуйидаги қаршиликка эга:
 $R_{20} = 1,75 \text{ Ом}$.

Унинг 100 ва 150⁰ С даги қаршилигини аниқланг. Температура коэффициентини $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$.

2.57. 23-24 градуировкали мис қаршилик термометрлари 0-150⁰С интервалдаги ўзгаришлар коэффициентини қиймати бир ҳилми?

ЕЧИМЛАР ВА ЖАВОБЛАР

02.1. Гост 8.157-75 га кўра [8] МПТШ-68 температурани 13,81 дан 6300 К гача ораликда ўлчашни таъминлайди. Бошқа температура диапазонлари учун бошқа температура шкалалари ўрнатилиб, улар 0,01 дан 100000 К чегарада бир ҳил ўлчашни амалга ошириш учун мўлжалланган. Турли амалий температура шкалалари турли методлар билан реализация қилинди.

02.2. МПТШ-68 ўзгармас, аниқ тикланадиган турғунлик температуралари системасига асосланган бўлади. Уларнинг сон қийматлари берилган бўлади. МПТШ-68 репер точкалари температураси орасидаги интервалларда интерроляция эталон асбоблари ва температура кўрсатишлари ўртасида боғлиқликни ўрнатадиган формулалар бўйича амалга оширилади. Асосий репер нуқталари баъзи бир соф моддаларнинг маълум бир фазавий мувозанат ҳолатлари сифатида реализацияланади.

13,81 дан 903,89 К гача температура учун эталон асбоб сифатида платинали қаршилик термометри ишлатилади. 630,74 дан 1064,43⁰С гача бўлган температуралари учун эталон асбоб сифатида платинали ва платинародийли (10% родийли) электроди бўлган термоэлектрик термометр ишлатилади. 1064,43⁰С дан юқори бўлган температураларда температурани Планк нурланиши қонунига мувофиқ аниқлайдилар.

О2.3. Симобли шиша термометрларининг ишлатилиш чегаралари симобнинг суюқ ҳолатидаги температуравий чегараси ва шишанинг йўл қўйиладиган исиши чегараси билан аниқланади. Симобнинг қотиш темератураси -38,9⁰С, қайнаш температураси эса 356,6⁰С. Шу сабабли симобли термометр қўлланилишининг қуйи чегараси -35⁰С ни ташкил қилади. Симобнинг қайнаш чегараси термометр капилляридаги босим унинг инерт газ билан тўлиши туфайли ошиши ҳисобига ошиши мумкин. Шу сабабли симобли термометрларнинг юқори ўлчаш чегараси симобнинг қайнаш чегарасидан юқори бўлиши мумкин ва шиша капилляр ишлатилганида 600⁰с ни ташкил этади. Бунда капиллярдаги инерт газнинг босими 2,0 МПа (~20 кг/см²) дан ошади.

Кварц капиллярлардан фойдаланилганда симобли термометрларнинг юқори ўлчаш чегараси бирмунча баланд бўлиши мумкин.

О2.6. Кўрсатадиган асбобга олиб борадиган босим термобаллондаги босимдан суюқлик устуни босими айирмаси сифатида аниқланади. Суюқлик устуни босими кўрсатувчи асбоб ва термобаллон жойлашиши сатҳининг фарқи билан аниқланади:

$$\Delta p = \Delta H \rho g = 7,37 \cdot 13\,595 \cdot 9,81 = 0,98 \text{ МПа.}$$

Шундай қилиб, асбобнинг кўрсатиши термобаллондаги босимнинг хақиқий қийматига нисбатан 0,98 МПа га камаяди. Манометрик термометрнинг сезувчанлигини аниқлаймиз

$$S = \frac{p_k - p_n}{t_k - t_n} = \frac{14,28 - 4,47}{500 - 0} = 0,0196 \text{ МПа/}^{\circ}\text{С.}$$

Термометр кўрсатишининг термобаллон ва ўлчов аппаратининг ўзаро жойлашувидаги фарқи туфайли ўзгаришини аниқлаймиз:

$$\Delta t = \frac{\Delta p}{S} = \frac{0,98}{0,0196} = 50^{\circ}\text{С.}$$

Демак, манометрик термометрнинг кўрсатишлари 50⁰С га кам бўлади.

О2.9. Системада босим ўзгариши қуйидаги қонун бўйича бўлиб ўтади:

$$p_t = p_0 [1 + \beta (t - t_0)],$$

бу ерда β – газ кенгайишининг термик коэффиценти; t_0 ва t – температуранинг бошланғич ва ҳозирги пайтдаги температуралари; p_0 – ишчи модданинг t_0 температурадаги босим.

Шундай қилиб, босимнинг ўзгариши

$$\Delta p = p_0 \beta \Delta t.$$

Бундан бошланғич босимни аниқлаймиз.

$$p_0 = \frac{\Delta p}{\beta \Delta t_i} = \frac{100}{0,00366 \cdot 500} = 54,6 \text{ кгс/см}^2.$$

02.11. Термоэлектрик термометрнинг ишчи ва эркин учларининг температуралари фарқи бир хилда бўлса, термоэлектрик термометр ривожлантираётган термо э.ю.к. бир хил бўлиши мумкин, агарда термометрнинг характеристикаси линияли бўлса

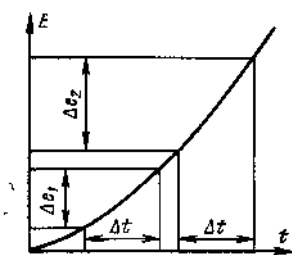


Рис. 02-1.

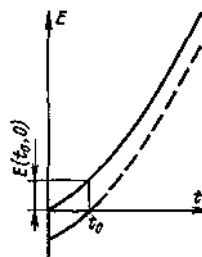


Рис. 02-2.

ТХК типидagi термоэлектрик термометр характеристикаси нолинияли термо э.ю.к. ҳам турлича бўлади буни [2, 11] жадваллари ёки О2-1 расм орқали осонликча тушунтириш мумкин.

$$\begin{aligned} E(300^\circ\text{C}, 50^\circ\text{C}) &= E(300^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}) - E(50^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}) = \\ &= 22,88 - 3,35 = 19,53 \text{ мВ}; \\ E(600^\circ\text{C}, 350^\circ\text{C}) &= 21,97 \text{ мВ}. \end{aligned}$$

02.12. Термоэлектрик термометрнинг термо э.ю.ки $E(t_0, 0)$ га камаяди. Бу унинг барча характеристикасини E ўқидан пастга $E(t_0, 0)$ га эквидистант аралашувига мос келади.

02.15. Ҳар иккала термометр ҳосил қиладиган э.ю.ки бир хил бўлади. Термоэлектрик термометрларининг теориясининг асосий ҳолатларидан маълумки, термометр занжирига учинчи ўтказгичнинг уланиши термо э.ю.ки ни ўзгартирмайди, агарда бу ўтказгич уланадиган жойнинг температураси бир хил бўлса.

02.16. [2, 11] $E(32^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}) = 0,186 \text{ мВ}$ таблица бўйича аниқлаймиз. Термоэлектрик термометрнинг термо э.ю.кини, тузатишни ҳисобга олиб аниқлаймиз.

$$E(t, 0) = E(t^\circ, \text{C}, 32^\circ\text{C}) + E(32^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}) = 3,75 + 0,186 = 3,936 \text{ мВ}.$$

Жадвалдан $E(t, 0) = 3,936 \text{ мВ}$ га мос келадиган t ни аниқлаймиз: $t = 471,3^\circ\text{C}$.

02.17. Учинчи ўтказгич ҳақидаги теоремага мувофиқ, термоэлектрик термометрнинг термо э.ю.ки эркин учларга уланган ўтказгичнинг материалига боғлиқ бўлмайди, агарда эркин учларининг температураси бир хилда бўлса.

02.18. Занжирда ҳаракатланувчи E'' термо э.ю.к. E' га ўзгаради:

$$\begin{aligned} E'' &= E(700^\circ\text{C}, 20^\circ\text{C}) - E'(100^\circ\text{C}, 20^\circ\text{C}) = \\ &= 6,256 - 0,112 + 0,077 = 6,221 \text{ мВ}. \end{aligned}$$

02.24. Ўлчов асбоби ИП нинг кириш кучланиши шунчалик каттаки, ташқи линиясидаги кучланишни йўқотилишини эътиборга олмаса ҳам бўлади. Бунда ўлчов асбобининг киришидаги кучланиш U_n қуйидагига тенг бўлади:

$$U_n = E(t, t_0) + U_{cd}(t_1),$$

бу ерда $E(t, t_0)$ – термоэлектрик термометрнинг ишчи ва эркин учларидаги температура t ва t_0 ларда ҳосил бўладиган термо э.ю.к; U_{cd} – компенсаторнинг cd диаганалидаги кучланиши резисторнинг қаршилиги $R_{\bar{c}}$ (2-7р.га қаранг)

шундай танланадики, $t_0 = t''$ бўлсин (кўприк 0°C да мувозанатлашган ҳисобланади)

$$E(t_0, 0) = U_{cd}(t_0).$$

Бундан келиб чиқадиган тўғри тузатиш киритиш учун термометр эркин учларининг ва кўприкнинг мис резистори температуралари тенг бўлишига эришади керак. Бунга эришиш учун эркин учлар термоэлектродли узайтирувчи симлар ёрдамида кўприкнинг мис резистори ёнида жойлаштирилади.

Бунда ўлчов асбобининг киришидаги кучланиш қуйидагича тенг бўлади:

$$U_n = E(t, t_0) + U_{cd}(t_0) = E(t, 0)$$

қийматига боғлиқ бўлмайди.

Термоэлектродли симларни мис симларга алмаштирилса термометрнинг эркин учлари 1 ва 2 нуқталарда бўладилар, яъни $t_0 = t' = 40^{\circ}$ $t'' = 20^{\circ}$ Сда.

Бундан келиб чиқадики, бу ҳолатда

$$U_n' = E(t, t_0') + U_{cd}(t''),$$

шу билан бирга $U_n' < U_n$ чунки $E(t_0', 0) > U_{cd}(t'')$. Бошқача айтганда, кўприк эркин учлар температурасини 4°C га оширишга тузатиш киритиш лозим, у эса фақатгина 20°C га тузатиш киритади. Термоэлектрик термометрнинг линияси характеристикасида бу асбоб кўрсатишини 20°C га камайишига тенгдир

02.25. 02.24. асосида осонликга шундай хулосага келиш мумкинки, бу ҳолатда симларни алмаштириш асбобнинг кўрсатишига таъсир кўрсатмайди.

02.26. Милливольтметрнинг кўрсатиши ўзгармайди, чунки термоэлектрик термометр занжирига исталган ўтказгичнинг уланиши термо-э.ю.к. ини ўзгартирмайди, агарда бу ўтказгич уланадиган жойнинг температураси бир ҳил бўлса.

02.27. Термо-э.ю.к. ини ўзгартириш компенсатори мувозанатланган кўприк бўлиб, у cd ўлчов диаганалида R_M қаршилик елкасидан U кучланишининг нозикли боғлиқликка эга.

Барча стандарт термоэлектрик термометрлар у ёки бу даражада нозикли. Аммо, кўприкнинг ва термометрнинг нозиклиги турличадир. Шу сабабли термо-э.ю.к. нинг тўлиқ компенсациясига фақат эркин учларнинг иккидан ортиқ бўлмаган температурасида эришиши мумкин.

02.28. Милливольтметр рамкасининг айлантирувчи моменти

$$M_1 = 2r \ln BI,$$

бу ерда r – рамка радиуси; l – рамканинг фаол узунлиги; n – рамканинг чўлғамлари сони; B – тирқишдаги магнит индукцияси; I – рамкадаги ток кучи.

Пружиналар ҳосил қиладиган тескари таъсир этувчи момент,

$$M_2 = c\varphi,$$

бу ерда c – тескари таъсир этувчи пружинанинг таранглигини ҳисобга олувчи коэффициент; φ – рамка айланиши бурчаги (пружинанинг буралиши).

$M_1 = M_2$ бўлган ҳолатда рамканинг айланиши бурчаги Ҳамдамов Анвар Махмудович тенг бўлади:

$$\varphi = \frac{2r \ln BI}{c}.$$

Сезгирлик S (1) ифода билан аниқланади

$$S = \frac{\Delta\varphi}{\Delta I}.$$

$\varphi = f(I)$ боғлиқлиги милливольтметр учун чизиқли бўлганлиги боис куйидагича ифодани ёзиш мумкин:

$$S = \frac{2rInB}{c}.$$

Шундай қилиб, чўлғамлар n сони ошиши билан сезгирлик S ҳам ошиши мумкин, бир шарт билан, коэффициент ўзгармаган ҳолда

02.39. Юқори омма. Биринчи дақиқада расм оммадан фойдаланиш мумкиндай кўринади, чунки бу нарса схема мувозанати бузилганда пульс-индикатор орқали ўтадиган токни ошириши мумкин. Аммо шуни ёдда тутмоқ зарурки, ички қаршилиги катта бўлган манбанинг э.ю.к ни ўлчаётганда ундан минимал даражада ток ўтиши керак, чунки унинг чиқишидаги кучланиш э.ю.к дан фарқ қилмаслиги учун.

02.40. Потенциометрларда компенсацияловчи кучланиш ўлчанадиган кучланишга тенг бўлиши лозим. c ва a , ҳамда d ва a нуқталар орасидаги потенциаллар фарқи қийматини ҳисоблаб чиқамиз (2-9р). c ва a , ўртасидаги потенциаллари фарқи

$$U_{ca} = -I_1(R_b + R_{np}) + I_2R_k = -3(330 + 10,59) + 2 \cdot 509,5 = -2,77 \text{ мВ},$$

$$\text{бу ерда } R_{np} = \frac{R_n R_3}{R_n + R_3}.$$

d ва a нуқталари ўртасидаги потенциаллар фарқи.

$$U_{da} = -I_1R_c + I_2R_k = 3 \cdot 330 + 2 \cdot 509,5 = 29 \text{ мВ}.$$

КСПИ потенциометрининг ўлчов схемаси ҳисоби термоэлектрик термометр эркин учларининг қабул қилинган температурасидан келиб чиқиб қилинади, яъни шкаланинг бошланғич белгиси кириш кучланишига мос келади $E(0^\circ\text{C}, 30^\circ\text{C}) = -1,98 \text{ мВ}$, охиригисига эса $E(400^\circ\text{C}, 30^\circ\text{C}) = 29,51 \text{ мВ}$.

Кучланишларни таққослаб шуни аниқлаш мумкинки, d нуқтаси шкаланинг охиригисига мос келади.

Реал шароитларда тенгликка риоя қилиш мумкин, $U_{ca} = E(0^\circ\text{C}, 30^\circ\text{C})$ ва $U_{da} = E(400^\circ\text{C}, 30^\circ\text{C})$. Олинган фарқ реохорднинг ишламайдиган участкаларини ҳисобга олмасликдан келиб чиқади.

02.57. Мис термометрлар учун қаршилиқнинг температурага боғлиқлиги

$$R_t = R_0(1 + \alpha t).$$

Интервалдаги ўзгартириш коэффициенти куйидаги ифодага мувофиқ аниқланади.

$$S = \Delta R_t / \Delta t.$$

Шу боис, барча температура интервалларида ўзгартириш коэффициенти

$$S = R_0 \alpha.$$

23 ва 24 градуировкалар температураси R_0 қиймати билан фарқланади, a қиймати ҳар иккала градуировкалар учун бир ҳилдир. Шу сабабли 23 градуировка учун $S = 0,2258 \text{ Ом/К}$, 24 градуировкаси учун $S = 0,426 \text{ Ом/К}$.

VI. GLOSSARIY

Модел - объект ёки системанинг реал мавжудлигидан фарқли равишда бошқа бир қанча кўринишдаги тасвирланишидир

Математик модел - тадқиқ этилаётган объектда бўлаётган жараёни қўйилган аниқлик бўйича кўрсатиб берувчи математик ифода кўринишида бўлади

график модел - Объект ва системаларнинг хусусиятларини ифодалаш учун сонли таблица ва графикалардан ҳам фойдаланилади

аналитик модел - Бир мунча мураккаброқ холларда математик модел объект кириш ва чиқиш ўзгарувчилари орасидаги боғланишни ифодалайди ва аниқ тенглама кўринишида берилади

Физик модел –реал объектнинг хусусиятларининг ёки характерини ўзида мужассам этган физик қурилма ёки макетга айтилади

Fizik birlik-fizik kattalikning

bir xil tabiatli fizik kattaliklarni miqdoriy baxolash uchun asos sifatida qabul qilingan o'lchami.

Ареометр –қаттиқ жисмлар ва суюқликнинг зичлигини ўлчашда ишлатилади.

Қурилма Архимед қонунига асосланган

Ўлчовчи асбоб-ўлчаш асбоби, физик катталиқни қийматини белгиланган диапазонни ўлчаш учун мўлжалланган

Ўлчанаётган физик катталиқ –ўлчашга мўлжалланган, асосий ўлчаш мақсади, ўлчанаётган ёки ўлчанган билан солиштириш

Ўлчовчи асбоб-ўлчаш асбоби, физик катталиқни қийматини белгиланган диапазонни ўлчаш учун мўлжалланган.

Метрологик элементлар-хаво ва атмосфера холатларини ифодаловчи просес. -харорат, босим, намлик,

шамол, туман, ёғингарчилик ва бошқалар.

Ўлчов-махсус техник воситалар ёрдамида физик миқдорнинг қийматҳии тажриба йўли билан аниқлашдир. Ўлчаш – ўлчанаётган миқдорни бирлик сифатида қабул қилинган миқдор билан таққослашдан иборатдир

Метрология- ўлчашлар тўғрисидаги фан демакдир, метр сўзи французча бўлиб метре, грекча метрон ўлчашни англатади.

Тўғри ўлчаш-тўғридан – тўғри ўлчаш усули

Ўлчов асбоби-техник асбоб, ўлчашда ишлатиладиган ва метрологик хусусиятга эга.

Шкала бўлимининг қиймати деб, ўлчанадиган миқдорнинг шкаладаги бир бўлимига мос қийматга айтилади. Масалан, соат типдаги индикатор шкаласидаги бир бўлимнинг қиймати 0,01 мм га тенг.

Ўлчанаётган физик катталиқ –ўлчашга мўлжалланган, асосий ўлчаш мақсади, ўлчанаётган ёки ўлчанган билан солиштириш

Fizik kattaliklarning birligi- fizik kattalikning bir xil

tabiatli fizik kattaliklarni miqdoriy baxolash uchun asos

sifatida qabul qilingan o'lchami.

Аниқлик, қурилманинг эксплуатация даврида сон ёки миқдорга асосланган ҳолда чегараларни аниқлаш.

Тасодифий хатолик-фақат битта катталиқни қайта ўлчаш мобайнида тасодифий ўзгарувчи ўлчаш хатолиги тушунилади.

Ўлчаш хатолиги-ўлчаш натижаси билан ўлчанаётган катталиқнинг ҳақиқий қийматидан оорасидаги фарқ

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 “Академкнига”, 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. un-ta, 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. O'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. Юсупбеков Н.Р., Мухамедов Б.Э., Гуломов Ш.М. Технологик жараёнларни бошқариш системалари. -Тошкент: Укитувчи. 1997. -704 б.
18. Зайцев С.А., Грибанов Д.Д., Толстов А.Н., Меркулов Р.В. Контрольно измерительные приборы и инструменты. -М.: Академия, 2002. -464с.
19. Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. -М.:МЭИ, 2005.-460с.
20. Гульятяев А.К. Визуальное моделирование в среде MATLAB. Учебный курс. -СПб.: Питер.2000. -432с.
21. SIMULINK-моделирование в среде MATLAB.Учебное пособие. -М.: МГУИЭ. 2002. -128с.
22. Калинин А.В. Справочник инженера по КИПиА. -М.: Инфра Инженерия, 2008. -564с.
23. П.Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Сборник задач и вопросов по «Теплотехнические измерения и приборы». -М.: МЭИ, 2005.
24. Бельдеева Л.Н. Технологические измерения на предприятиях химической промышленности. Часть 1. -Алтай: АлтГТУ, 2002. -70с.
25. Бельдеева Л.Н. Технологические измерения на предприятиях химической промышленности. Часть 2. -Алтай: АлтГТУ, 2002. -100с.