

B.N. SATTOROV

TAJRIBA NAZARIYASI VA AMALIYOTI

**OLIY TA'LIM MUASSASALARI MAGISTRRLARI
UCHUN DARSLIK**

O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan oliy ta'lim muassasalarining 70710503 – “Sanoat issiqlik energetikasi” mutaxassisligi bo'yicha ta'lim oluvchi magistrlar uchun darslik sifatida tavsiya etilgan

Qarshi 2022

UDK 620.92

Sattorov B.N.

Tajriba nazariyasi va amaliyoti: oliy ta'lim muassasalari magistrleri uchun darslik / B.N. Sattorov. – Qarshi, «INTELLEKT» nashriyoti, 2022. 234 bet.

Ushbu darslik 70710503 – “Sanoat issiqlik energetikasi” mutaxassisligi magistraturasida tahsil oladigan talabalarga mo'ljallangan bo'lib issiqlik fizikasi, matematika, sanoat energetikasi va boshqa tabiiy fanlarni bevosita davomi hisoblanadi.

“Tajriba nazariyasi va amaliyoti” fanini o'qitish bilan bog'liq mazmunini shartli ravishda sanoat issiqlik energetikasi mutaxassisligida ilmiy tadqiqot ishlarini bajarilishini asosiy metodlari yoritilgan. Xususan o'xshashlik nazariyasi, nazariyani matematik jihatdan rejalashtirish va eksperiment o'tkazish jarayonida olingan ma'lumotlarni ishonchli xarakteristikasini ifodalashda xatoliklarni aniqlanishi hisobi e'tiborga olinishi asosida mukammal tushunchalar berilgan. Magistrlik dissertatsiyasini tayyorlashda eksperimentni rejalashtirish, tadqiqot ishlarini tashkil etish, o'lchash jarayonida yo'l qo'yiladigan xatoliklar, ularning ruxsat chegaralari, olingan natijalarni qayta ishlash, o'tkaziladigan eksperiment talab qilinadigan ilmiy tadqiqot rejasiga muvofiqligiga mos kelishi, qoniqarliligi, eksperiment olib boriladigan yo'nalishdagi matematik modelni chiqarishda optimal ma'lumotlarni aniqlashga imkoniyat yaratilishi borasidagi maqsadlarni joriy etish mexanizmlari va natijalarini qayta ishlashni shakllantirishning matematik modelini regreksion va korrelyatsion tizimlar va approksimatsiyalashdagi analizlar orqali yechilish yo'llari keltirilgan. Shuningdek eksperiment natijalarini qayta ishlashda faktorlarni to'liq matritsalash tizimidan foydalanish metodlari yoritilgan.

Mas'ul muharrir: O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi akademigi, texnika fanlari doktori R.A.Zohidov.

Taqrizchilar: t.f.d., professor **B.E. Xayriddinov**
(Qarshi DU “Umumiy fizika” kafedrası).

t.f.n., dotsent **T.A. Fayziyev** (QarMII
“Issiqlik energetikasi” kafedrası mudiri).

SO'Z BOSHI

Amaliy mashg'ulotlar magistrning issiqlik, fizikaviy va sanoat energetik hodisalar bilan tanishishlarida eng yaxshi vosita hisoblanadi. Chunki og'zaki dars berishda hodisalarga doir qonun obrazli va aniq bayon qilinsa ham ular amaliy ishlarning o'rnini bosa olmaydi. Magistr amaliy mashg'ulotlarida issiqlik fizikaviy va sanoat energetikasiga doir hodisalarni o'rganish bilan birga ularni tahlil qilish usullari bilan ham tanishadilar. O'quv jarayonida amaliy mashg'ulotlarning ahamiyatini issiqlik, fizikaviy va sanoat energetikasiga doir jarayonlarni o'rganishda tajribaning muhim o'rin tutishi bilan ham izoxlash mumkin.

Tajriba nazariyasi va amaliyoti kursidan amaliy mashg'ulotlarini o'tkazish quyidagi maqsad va vazifalarni amalga oshirishga yo'naltirilgan bo'ladi:

- magistr talabalarga asosiy issiqlik, fizikaviy va sanoat energetikasiga doir hodisalar va qonunlarni chuqur o'zlashtirishga yordamlashish;
- magistr talabalarda ilmiy-tadqiqod ishlari olib borish ko'nikmalari hosil qiladi;
- magistr talabalarni mustaqil bilim olishga va ilmiy ishlarni o'tkazishda ijodiy yondashishga o'rgatish.

Ularning eksperimental usulni to'g'ri tanlay bilishga, issiqlik fizikaviy va sanoat energetikasi asoslariga muvofiq korrelatsion va regressiv analizlar tizimlar kattaliklari qiymatlarini aniq o'lchashga va ularning formulalar va apraksimasiya metodlari yordamida to'g'ri o'rgatish:

Magistr talabalarni o'lchash xatoliklarini baholashga va o'lchash natijalari orasidan ishonchli ma'lumotlarni topa olishga o'rgatish.

Yuqorida qayd qilib o'tilgan vazifalarni amalga oshirishda magistr talabalarining tayyorgarlik darajasini hisobga olish kerak bo'ladi.

Magistr talabalarining matematik, fizik va kompyuter texnologiyasiga doir darajada bo'lishiga erishilganligiga e'tiborni qaratish kerak.

Shu sababli tajriba nazariyasi va amaliyot mashgʻulotlari ishlarining tuzilishi va bayonida bu omil hisobga olinadi. Shu narsani qayd qilib oʻtish lozimki, ushbu darslikga kirgan mavzuga doir ishlarni yaxshilashda va tuzishda mualliflar:

Darslik ikki qismdan iborat: birinchi qismda oʻlchash natijalariga mamematik ishlov berish usullari bayon etilgan, ikkinchi qismda tajribalar nazariyasi va amaliyotiga muvofiq ishlarni bajarishga tayyorgarlik koʻrish va uni oʻtkazish boʻyicha mustaqil ishlar amaliyotini tayyorlash bilan bogʻliq koʻrsatmalar berilgan; ishlarning bayoni keltirilgan.

Ishonchli interval hisoblar, tasodifiy miqdorlar taqsimoti va taqsimot turlari, korrelyatsion bogʻlanishlar, oʻlchov natijalarini grafik usulda tasvirlash usullari, tajriba maʼlumotlarni empirik formulalarda hisoblash va optimal mezonlarini tanlashga doir amaliyot ishlarini bajarilishi yoritilgan.

- kerakli asbob va materiallar haqida maʼlumot;
- oʻrganiluvchi asbob va materiallar haqida maʼlumot;
- oʻrganiluvchi hodisa yoki aniqlanadigan kattalik toʻgʻrisida qisqacha nazariy maʼlumot;
- usul nazariyasi va eksperimental qurilma tuzilishi toʻgʻrisida maʼlumot.

Ish bajarish tartibi va hisoblashlar.

Magistr talabalarga oʻlcham natijalarini analiz qilishga va u yoki bu mavzuni chuqur oʻzlashtirishga yordam beruvchi nazorat savollari keltirilgan.

KIRISH

Sanoat qurilmalari va binolarida issiqlik almashinuv jarayonlarini va texnologik tizimlardagi intensivlikni xarakterlaydigan parametrlarni: zamonaviy o'lchov asbob uskunalari ishlab chiqilgan. Shuning uchun ishonchli asbob uskunalari, elektron hisoblash va o'lchov qurilmalari ishlab chiqilib samarali natijalarga erishilmoqda. Yetarli darajada aniqlikda issiqlik almashinuv jarayonlarini xarakterlovchi parametrlarni o'lchash qurilmalari va asbob uskunalari yaratilmasdan avtomatlashtirishni yo'lga qo'yib bo'lmaydi. Sanoatda, transportda, qishloq xo'jaligida ishlab chiqarish jarayonlarida texnologik tizimlarni yuqori ko'rsatkichlardagi natijalariga erishida kompleks avtomatlashtirishni yo'lga qo'yiladi. Bu masalalarni yechishda texnologik tizimlarni va ularni texnika-iqtisodiy ko'rsatkichlarini analiz qilinishi uchun ishonchli va aniq o'lchov asbob uskunalari yaratish talab etiladi.

Hozirgi vaqtda barcha sanoat qurilmalarida issiqlik almashinuv jarayonlari uchun texnologik parametrlarni o'lchash tizimini takomillashtirish borasida dunyo miqyosida olimlar, muhandis texniklar, izlanuvchi tadqiqotchilar tomonidan zamonaviy aniqlikda ishlatiladigan o'lchov asboblari, elektron qurilmalar yaratilishi borasida alohida e'tibor berilmoqda.

“Tajribalar nazariyasi va amaliyoti” fanini o'rganishda sanoat energetikasi issiqlik fizikasi hodisalarning jarayonlar u yoki bu issiqlik tizimida bajarishni o'lchash qurilmalari yoki prinsipial sxemalar, asbob uskunalarda amalga oshirilishiga e'tibor qaratilgan. Magistr'larga fanni o'qitishda zamonaviy pedagogik texnologiyalar, texnologiyani tajriba nazariyasi va amaliyotda zamonaviy ilmiy uslubiy tizimlarini adabiyotlarga, metodik ko'rsatmalarga asoslanib ilmiy bilim va ijodkorlik metodologiyasi, o'qitishning hozirgi zamon talab va usullari bilan tenglashtiradi.

Xususan, o'xshashlik nazariyasi, nazariyani matematik jihatdan rejalashtirish va eksperiment o'tkazish jarayonida olingan ma'lumotlarni ishonchli xarakteristikasini ifodalashda xatoliklarni aniqlanishi hisobi e'tiborga olinishi asosida mukammal tushunchalar berilgan. Magistrlik dissertatsiyasini tayyorlashda eksperimentni rejalashtirish, tadqiqot ishlarini tashkil etish, o'lchash jarayonida yo'l qo'yiladigan xatoliklar, ularning ruxsat chegaralari, olingan natijalarni qayta ishlash, o'tkaziladigan eksperiment talab qilinadigan ilmiy tadqiqot rejasiga muvofiqligiga mos kelishi, qoniqarliligi, eksperiment olib boriladigan yo'nalishdagi matematik modelni chiqarishda optimal ma'lumotlarni aniqlashga imkoniyat yaratilishi borasidagi maqsadlarni joriy etish mexanizmlari va natijalarini qayta ishlashni shakllantirishning matematik modelini regrestsion va korrelyatsion tizimlar va approksimatsiyalashdagi analizlar orqali yechilish yo'llari keltirilgan. Shuningdek eksperiment natijalarini qayta ishlashda faktorlarni to'liq matritsialash tizimidan foydalanish metodlari yoritilgan.

O'lchashga doir fizik kattaliklar mexanik, elektr, issiqlik, optik, akustik bo'lishi mumkin. Bu kattaliklarning bir turi texnologik jarayon rivojlanishining bevosita ko'rsatkichi bo'lsa, boshqalari shu jarayon bilan funksional bog'langan bo'ladi.

Fizik hodisalarni o'rganish va ulardan amalda foydalanish turli fizik kattaliklarni o'lchash, ya'ni ma'lumot olish bilan bog'lik. Ma'lumot qancha to'la va xodisona bo'lsa, fizik hodisalarning tub ma'nosini tushunish shunchalik chuqur bo'ladi.

Fizik kattalikning muayyan qiymati texnologik jarayonning rivojlanishi haqidagi ma'lumotning muhim qismidir. Turli usul va asboblardan orqali ifodalangan texnologik jarayonning holati haqidagi axborotlarni ma'lumot, ya'ni informatsiya deb bilamiz. Informatsiyalar, asosan, o'lchash asboblari va qurilmalari yordamida olinadi.

Fizik obyektning sifat jihatdan umumiy, lekin miqdor jihatdan har bir obyekt uchun alohida xususiyati fizik kattalik deb ataladi. Shunday qilib, har bir fizik

kattalik aynan shu kattalikning sonli qiymati birligi ko‘paytmasidan iborat bo‘lgan individual qiymati bilan ifodalanadi.

Bir-biriga muayyan erksizlik bilan bog‘langan kattaliklar yig‘indisi fizik kattaliklar sistemasi deyiladi. Fizik kattaliklar sistemasi asosiy, qo‘shimcha va hosila kattaliklardan iborat. Sistemaga kirgan va boshqa sistemalarga nisbatan shartli ravishda erkin hisoblangan fizik kattalik asosiy kattalik deb ataladi.

Xalqaro birliklar sistemasi- SI (Sisteme International-SI) fan va texnikaning barcha sohaları uchun fizik kattaliklarning universal sistemasi bo‘lib, 1960 yilning oktabr oyida o‘lchov va tarozilar XI Bosh konferensiyasida qabul qilingan SI ning joriy etilishi shu sistemada nazarda tutilgan va uning tarkibiga kirmaydigan (ammo hozir o‘lchov birliklari sifatida qo‘llanilayotgan) birliklarning ilmiy- tadqiqot natijalarini hisoblashda, ishlab chiqarish vositalari va asbob – uskunalarini loyihalashda, qurilish hamda qurilish obyektlardan foydalanishda, shuningdek o‘quv-tarbiya ishlarida ko‘p qiyinchiliklar tug‘dirayotgan o‘lchov sistemalariga nisbatan muhim afzalligi shundaki, universal o‘lchov birliklarini amaliyot uchun qulay o‘lchamlarga mujassamlashtirgan, kogerent, ya‘ni hosilaviy birliklar o‘lchamlarini aniqlovchi fizik tenglamalardagi mutanosiblik koeffitsiyentlarini tugatgan sistemadir. Uning tadbiri bilan hisoblash formulalarining formulalarining yozilishi ancha soddalashadi.

Xalqaro birliklar sistemasi (SI) da yettita asosiy va ikkita qo‘shimcha kattalik qabul qilingan. Shuningdek, ular asosida ko‘pgina hosilaviy kattaliklar va ularning birliklari ham tasdiqlangan.

Shunday sohalar borki, unda SI birliklari ishlatish hisoblashlarda bir oz qiyinchiliklar tug‘diradi. Masalan, SI ga binoan massani doimo kilogrammlarda o‘lchash noqulay. U goh gramm (g) larda ifodalansa, goh tonna (t) larda o‘lchanadi. Shu sababli massani gramm (g), milligramm (mg), tonna (t) kabi birliklarda ifodalash qulay. Ular asosida massa hisobini shu birliklarda olib borish xato hisoblanmaydi. Shuning uchun ba‘zi hisoblashlarda qulaylik yaratish maqsadida birliklarning unlik karrali va ulushli qiymatlaridan foydalaniladi.

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

Texnika taraqqiyotining rivojlanishi, mahsulot sifatining oshishi, uning mustaxkamligi va chidamliligi fizik hodisalar, modellarning xususiyati, texnologik jarayon tavsifi haqida to'la ishonchli ma'lumotlar olish usuli hamda vositalari yig'indisi bo'lgan o'lchov texnikasi bilan bog'liqdir.

Birinchi bob
**O'LCHASH XATOLIKLARI VA O'LCHASH NATIJALARI
TAXLILINI BERISH**

1.1. O'lchashlar va o'lchash xatoliklari.

Issiqlik va sanoat energetik fizikaviy jarayonlar va hodisalarni o'rganishda, kuzatishlar va tajribalarda (eksperimentda) olingan ma'lumotlarga tayanib ish ko'riladi.

Issiqlik fizikaviy va sanoat energetikasiga doir qonunlarni aniqlash va tekshirish tajriba ma'lumotlarini to'plash va bir-biri bilan solishtirish orqali amalga oshiriladi.

Hodisalarni tabiiy sharoitlarda o'rganish, kuzatish deyiladi. U yoki bu tajriba nazariyasini amaliyotdagi sharoitida yuzaga keltirib, o'rganishga tajriba yoki eksperiment deyiladi. Lekin, hech bir tajriba hodisa yuz berishi mumkin bo'lgan barcha shart-sharoitlarni hisobga ololmaydi. Shu sababli issiqlik fizikaviy va sanoat energetikasi doir hodisalarning miqdoriy xarakteristikalari bo'lgan issiqlik fizik kattaliklarni o'lchashda doimo xatoliklar yuz berib turadi. Buning ma'nosi shuki, u yoki bu qonunning to'g'riligini tajriba yo'li bilan cheklangan chegara va cheklangan aniqlikda aniqlash mumkin.

Issiqlik fizikaviy kattaliklarni o'lchashdagi xatoliklar o'lchov asboblarining takomillashmaganligi, o'lchash usulining kamchiliklari va eksperimentator sezgi organlarining takomillashmaganligi tufayli yuzaga kelishi mumkin.

Tajriba xulosalaridan yetarlicha ishonch bilan foydalanish mumkin bo'lishi uchun eksperimentator o'lchash xatoliklarni baholay olishidan tashqari minimal xatoliklarga olib kelishi mumkin bo'lgan hisobotlarni amalga oshirishi kerak bo'ladi.

O'lchashlar ikki turga bo'linadi: bevosita va bilvosita. Bevosita o'lchashlarda, aniqlanishi kerak bo'lgan kattalik to'g'ridan to'g'ri o'lchanadi. Masalan, uzunlikni

lineyka yordamida, jism massasini tarozi yordamida, vaqtni esa sekundomer yordamida o'lchash mumkin. Ba'zi bir hodisalarda bizni qiziqtirayotgan kattalik o'rniga u bilan, u yoki bu tarzda bog'liq bo'lgan kattaliklarni o'lchash to'g'ri keladi. Masalan, jism zichligini aniqlash uning massasi va hajmini o'lchash orqali, tezlikni aniqlash esa jismning ma'lum bir vaqt ichida bosib o'tgan yo'lini o'lchash orqali amalga oshiriladi. Aniqlanishi kerak bo'lgan kattalikni topishdagi bunday o'lchashlar bilvosita o'lchashlar turiga kiradi.

O'lchashlarning sifati ularning aniqligi bilan belgilanadi.

O'lchashlarning aniqligi esa o'lchashlarning xatoligi bilan xarakterlanadi.

Issiqlik fizikaviy va sanoat energetikasiga doir kattalikning haqiqiy qiymati bilan uning tajribada topilgan qiymati orasidagi farq o'lchashlarning absolyut xatoligi deb ataladi.

O'lchashlarning sifati absolyut xatolik bilan emas, balki nisbiy xatolik bilan belgilanadi. Nisbiy xatolik son jihatdan absolyut xatolikni o'lchangan kattalikning qiymati nisbatiga teng. Masalan: 1 mm ga teng bo'lgan xatolik, stol uzunligini o'lchashda arzimagan xatolik bo'lsa-da, soatning diametrini o'lchashda bunday xatolikka yo'l qo'yish mumkin emas deb hisoblanadi. Chunki, birinchi hadi nisbiy xatolik ~10 % ni tashkil qilishi mumkin.

Fikrimiz so'ngida, o'lchash xatoliklarini baholay bilishning ahamiyati o'lchashlarda haqiqiy qiymatga yaqin natijani o'la bilishdan kam emas ekanligini qayd qilib o'tishni lozim deb hisoblaymiz.

1.2. Xatolik turlari.

O'lchashlarda uchraydigan xatoliklarni uch turga – sistematik, tasodifiy va qo'pol xatoliklarga ajratish mumkin. Qiymati va ishorasi takror o'lchashlarda o'zgarmay qoladigan xatoliklar, sistematik xatoliklar deb ataladi. Sistematik xatoliklar o'lchov asboblarning konstruktiv va texnikaviy xususiyatlari tufayli, ularning eskirganligi, noto'g'ri o'rnatilganligi, va o'lchash sharoitlarining o'zgarishi tufayli yuzaga keluvchi xatoliklardir. Bu xatolik masalan, chizg'ich shkalasining notekis darajalanishidan, termometr nolining haqiqiy temperaturaga mos kelmasligi,

termometr kapilyari kesim yuzasining kapilyar bo'yicha bir xil bo'lmashligi, tok o'tmagan vaqtda ampermetr strelkasining shkala noliga mos kelmasligi va boshqa sabablar tufayli ham paydo bo'lishi mumkin.

Ba'zi bir issiqlik fizikaviy va sanoat energetikasiga doir kattaliklarning qiymatlarini jadvaldan olganda, ularni yaxlitlaganda ba'zi, doimiylarning taqribiy qiymatlarini olganda ham sistematik xatolikka yo'l qo'yiladi.

Sistematik xatoliklarni ikkiga – asosiy va qo'shimcha xatoliklarga ajratish mumkin. O'lchov asboblardan normal sharoitda foydalanganda mavjud bo'luvchi xatoliklar, asosiy xatoliklar deyiladi va ular o'lchov asboblari konstruksiyasidagi va tayyorlash texnologiyasidagi kamchiliklar bilan bog'liq bo'lgan xatoliklardir. Qo'shimcha xatoliklar asboblarning ishlatish sharoitlari o'zgarganda yuzaga keluvchi xatoliklardir. O'lchash metodini o'zgartirish, asbobning ko'rsatmalariga tuzatmalar kiritish va tashqi faktorlar ta'sirini hisobga olish yo'li bilan sistematik xatoliklarni kamaytirish mumkin.

Oldindan hisobga olib bo'lmaydigan va har bir o'lchashda ta'siri turlicha bo'lgan tasodifiy sabablarga ko'ra yuz beradigan xatoliklar tasodifiy xatoliklar deb ataladi. Tasodifiy xatolik qiymati qanday bo'lishini o'lchashlardan oldin aytib bo'lmaydi. Tasodifiy xatolik qiymati va ishorasi o'lchashdan – o'lchashga o'zgarib turadi. Tasodifiy xatolikning mavjudligi bizga o'lchanuvchi kattalikning aniq qiymatini topishga imkon bermaydi. Tasodifiy xatoliklar bilan bog'liq bo'lgan o'lchov natijalariga ishlov berishda deyarli barcha statistik hisob-kitoblarda ishlatiluvchi matematik nazariya ehtimollar nazariyasidan foydalaniladi.

Qo'pol xatolik eksperimentatorning e'tiborsizligi, natijalarni pala-partish yozishi va charchashi tufayli yuzaga kelishi mumkin. Qo'pol xatolik tajriba sharoitining qisqa vaqt davomidagi o'zgarishi tufayli ham yuzaga kelishi mumkin. Qo'pol xatolik o'lchov natijalari orasida boshqalaridan sezilarli farq qiluvchi bir yoki bir necha qiymatlarning borligi seziladi. Agar bu farq juda katta bo'lsa, bunday natijalar tashlab yuboriladi va hisoblashlarda ular e'tiborga olinmaydi. Qo'pol xatolikka yo'l qo'yilmaslikning birdan-bir usuli, o'lchashlarni juda puxtalik va katta e'tibor bilan bajarishdir.

Natijalarni ko‘zdan kechirib chiqish hammavaqt qo‘pol xatoliklarni ajratib olishga imkon beravermaydi. Metodikada qo‘pol xatoliklarni ajratib olishda maxsus usullardan foydalaniladi. Bunday usullardan biri Payt mezoni (kriteriysi) dir. Bu kriteriyga ko‘ra moduli o‘rtacha kvadratik xatoliklardan uch martadan ko‘proqqa farq qiluvchi xatoliklar qo‘pol xatoliklar turiga kiritilib, tashlab yuboriladi va kerakli hisoblashlar qaytadan bajariladi.

1.3. Bevosita o‘lchash natijalarining xatoligini hisoblash.

Yuqorida qayd qilib o‘tilganiga ko‘ra o‘lchashlarda u yoki bu sabablar bilan bog‘liq bo‘lgan xatolikka yo‘l qo‘yiladi. Avvaliga biz o‘lchash asboblari beradigan sistematik xatoliklar va qo‘pol xatoliklar deyarli yo‘qotilgan deb faraz qilib, bevosita o‘lchashlar bilan bog‘liq bo‘lgan xatoliklarni hisoblash qoidalari bilan tanishib chiqamiz.

Agar haqiqiy qiymati X_0 ga teng bo‘lgan issiqlik fizikaviy va sanoat energetikasiga doir kattalikni n marta o‘lchash natijasida X_1, X_2, \dots, X_n qiymatlar olingan bo‘lsa, u holda bu alohida o‘lchashlarning xatoligi

$$\Delta X_i = X_i - X_0 \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1.3.1)$$

O‘lchashlarning o‘rtacha aniqlik darajasini tavsifligi uchun odatda alohida o‘lchashlarning o‘rtacha kvadratik xatosi tushunchasi qo‘llaniladi. Bu xatolik alohida o‘lchashlar xatoliklarining o‘rtacha kvadratidan olingan kvadrat ildizdir, ya’ni

$$\Delta_{kv} = \sqrt{\Delta X^2} = \sqrt{\frac{\Delta X_1^2 + \Delta X_2^2 + \dots + \Delta X_n^2}{n}} \quad (1.3.2)$$

Kattalikdir. O‘lchanayotgan kattalikning aniq qiymati X_0 noma’lum bo‘lganligi sababli alohida o‘lchash xatoliklarini aniqlashning iloji yo‘q.

Shu sababli aniq hisoblash o‘rniga kvadrat qiymat bilan cheklanishga to‘g‘ri keladi. Olingan natijalarni hisoblashda o‘lchalanayotgan kattalikni eng ehtimolli qiymati sifatida o‘lchash natijalarining o‘rta arifmetik qiymati olinadi:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1.3.3)$$

O‘rtacha arifmetik qiymat o‘lchalanayotgan issiqlik fizikaviy va sanoat energetikasiga doir kattaliklarning haqiqiy qiymatiga eng yaqin bo‘lgan qiymatdir.

O‘rtacha qiymat tushunchasi kiritilishi bilan alohida o‘lchashlar natijalarining o‘rtacha arifmetik qiymatdan og‘ishlari degan tushuncha, ya’ni

$$\varepsilon = X_i - \bar{X} \quad (1.3.4)$$

Kattalik kiritiladi. (1) va (4) dan

$$\Delta X = \varepsilon_i + \delta \quad (1.3.5)$$

Ekanligi kelib chiqadi. Bundagi doimiy kattalik δ o‘rtacha arifmetik qiymatning xatosi ma’nosiga ega:

$$\delta = \bar{X} - X_0 \quad (1.3.6)$$

Bu kattalik qiymatini aniq hisoblab chiqish mumkin emas. Biroq bu δ kattalikni yoki uning kvadrati absolut qiymatining ehtimol tutilgan qiymatini aniqlash mumkin. $\delta_{kv} = \sqrt{\overline{\delta^2}}$ kattalik o‘rtacha arifmetik qiymatining o‘rtacha kvadratik xatosi deb ataladi. Uni hisoblash xatoliklar nazariyasining asosiy masalasi hisoblanadi. (5) tenglikni kvadratga ko‘tarib va barcha u lar bo‘yicha yig‘indisini olib, quyidagini

$$\sum \Delta X_i^2 = \sum \varepsilon_i^2 + \sum \delta^2 + 2\delta \sum \varepsilon_i$$

Yoki $\sum \varepsilon_i = 0$ ekanini hisobga olib,

$$n\overline{\Delta X^2} = \sum \varepsilon_i^2 + n\delta^2 \quad (1.3.7)$$

Hosil qilamiz. So‘ngra (6) tenglikni quyidagi ko‘rinishga keltiramiz:

$$\delta = \frac{\sum X_i}{n} - X_0 = \frac{\sum (X_i - X_0)}{n} = \frac{\sum \Delta X_i}{n}$$

bundan

$$n\delta^2 = \frac{1}{n} \sum \Delta X_i^2 + \frac{1}{n} \sum \sum \Delta X_i \Delta X_j \quad (1.3.8)$$

ni olamiz. O‘ng tomondagi birinchi qo‘shiluvchi $\overline{\Delta X^2}$ gateng. Agar n ta o‘lchashlardan iborat qaralayotgan seriyani cheksiz takrorlasak, u holda qo‘shaloq yig‘indi teng ehtimollik bilan ham musbat, ham manfiy ma’lumotlarni qabul qilinadi. Shuning uchun uning qiymati nolga teng bo‘ladi. Buni e’tiborga olib,

$$n \cdot \delta^2 = \overline{\Delta X^2} \quad (1.3.9)$$

ni hosil qilamiz va buni (7) ga qo‘yib quyidagini olamiz:

$$n \cdot \overline{\Delta X^2} = \sum \varepsilon_i^2 + \overline{\Delta X^2}$$

bundan

$$\Delta_{kv} = \sqrt{\overline{\Delta X^2}} = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n-1}} \quad (1.3.10)$$

$$\delta_{kv} = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n(n-1)}} = \frac{\Delta_{kv}}{\sqrt{n}} \quad (1.3.11)$$

ifodalar kelib chiqadi. Bu formulalarning o'ng tomoniga ma'lum kattaliklar – alohida o'lchashlar natijalarining o'rtacha qiymatlari kiradi.

Shuning uchun (10) va (11) o'rtacha kvadratik xatoliklarni hisoblashga xizmat qilishi mumkin. Aniqlikni ikki tartibiga oshirish o'lchashlar sonini 10000 marta ortirishni talab qiladi. Bundan ko'rinib turibdiki, o'lchashlarni ko'p marta takrorlash usuli faqat n ning uncha katta bo'lmagan qiymatlari uchungina samarali bo'lar ekan.

O'lchalanayotgan kattalikni qiymati va xatoligi topilgandan so'ng, o'lchash natijalari quyidagi ko'rinishda yoziladi,

$$X = \bar{X} \pm \Delta X \quad (1.3.12)$$

Bu yerda ΔX ishonch intervali, α_n ishonchlikni ko'rsatish orqali aniqlanadi.

Ishonchlik haqiqiy qiymatning muayyan intervalda uchrash ehtimolini bildiradi, uni protsentlarda ham ifodalash mumkin. Agar biz ishonchlilikning oshirishni istasak, ishonch intervalini kengroq, kichik ishonchlilikda esa intervalni torroq qilib olish kerak bo'ladi.

Ishonch intervalini quyidagi ifoda yordamida aniqlash mumkin:

$$\Delta X = t_\alpha(n) \cdot \delta_{kv} \quad (1.3.13)$$

Bundagi $t_\alpha(n)$ nta o'lcham uchun α ishonchlik bilan olingan Student koeffitsiyent uning qiymati jadvaldan olinadi. Ishonchlilikni oshirish o'lchanilayotgan issiqlik fizikaviy va sanoat energetikasiga doir kattalikning ishonch intervali ortishiga va uni aniqlashni kamayishiga olib keladi. O'lchashni iloji boricha hamma vaqt maksimal ishonchlilik bilan katta aniqlashga ega bo'ladigan natija olishga imkon beruvchi o'lchash usullaridan foydalanishga harakat qilish kerak.

1.4. Bilvosita o'lchash natijalarining xatoligi.

Bilvosita o'lchanadigan o' kattalik bilan tajribada bevosita o'lchanadigan $X_1, X_2, X_3, \dots, X_H$ kattaliklari orasida $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ (1) ko'rinishdagi funksional bog'lanish mavjud bo'lsa, avvalo bu kattaliklar bir necha marotaba o'lchab olinadi, so'ngra izlanayotgan kattalik bevosita o'lchangan kattaliklarni o'zaro bog'lovchi ifoda (1) dan foydalanib, hisoblanadi.

Bilvosita o'lchanadigan kattalikning xatoligi bevosita o'lchanadigan kattaliklarning xatoligiga bog'liqdir. Ehtimollar nazariyasi bevosita o'lchanadigan kattalikning o'rtacha kvadratik xatosi uchun quyidagi ifodani beradi:

$$\Delta_{kv} = \sqrt{(\Delta y_1)^2 + (\Delta y_2)^2 + \dots + (\Delta y_n)^2} \quad (1.4.1)$$

Bundagi Δy_i bilvosita o'lchanuvchi y kattalikning bevosita o'lchanadigan X_y kattalikni o'lchash bilan bog'liq bo'lgan xususiy xatoligi deyiladi.

Odatda Δy_i kattalik differensiallash usulidan foydalanish orqali hisoblaniladi:

$$\Delta y = \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \quad (1.4.2)$$

bundagi $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ – y kattalikning X_y bo'yicha xususiy hosilasi, Δx_i – bevosita o'lchanuvchi X_y kattalikning o'rtacha kvadratik xatoligi tushunarli bo'lishi uchun quyida bilvosita o'lchanadigan kattalik xatoligini hisoblashga doir ikkita misol keltiramiz: 1) bilvosita o'lchanuvchi U kattalik X_1 va X_2 kattaliklarni yig'indisidan yoki ayirmasidan iborat bo'lsin, u holda U ning X_1 va X_2 lar bo'yicha xususiy hosilalari birga teng bo'lgani uchun

$$\Delta_{kv} = \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2} \quad (1.4.3)$$

bo'ladi.

2) U kattalik X_1, X_2, X_3, \dots lar bilan quyidagi

$$y = x_1^\alpha \cdot x_2^\beta \cdot x_3^\gamma \quad (1.4.4)$$

formula orqali bog'langan bo'lsin. (5) formuladagi α, β, γ lar ixtiyoriy sonlar. Bu holda izlanayotgan kattalikning xatoligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\Delta_{kv} = \bar{y} \sqrt{\left(\alpha \frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\beta \frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2 + \left(\gamma \frac{\Delta x_3}{x_3}\right)^2 + \dots} \quad (1.4.5)$$

Ko‘rinadiki, to‘liq xatolik bir necha tashkil etuvchilardan iborat bo‘lib, ularni kamaytirishni toki ulardan bittasining qiymati qolganlaridan ikki marta katta bo‘lib qolmaguncha davom ettirish kerak. Xususiyl kattaliklarning bundan keyingi kamaytirish deyarli o‘lchash aniqligini oshirishga olib kelmaydi. Buni quyidagi misolda ko‘rib chiqamiz:

$y = x_1 + x_2$ bo‘lsin va Δx_2 xatolik Δx_1 dan ikki marta kichik bo‘lsin. U holda $\Delta y = 1,1 \Delta x_1$ bo‘ladi. Ko‘rinadiki, kichik xatolikning umumiy kattalikka qo‘shadigan ulushi 10 % gagina oshgani kurinadi. Bundan umumiy xatolikni kamaytirish uchun xatolikni katta qiymatga ega bo‘lgan tashkil etuvchisi qiymatini kamaytirish kerak, degan xulosa kelib chiqadi.

1.5. O‘lchashlarning to‘liq xatoligi.

O‘lchashlarda erishiladigan aniqlik o‘lchash asboblari kiritadigan sistematik xatoliklar va tasodifiy xatoliklar tufayli cheklangan bo‘ladi.

Shu sababli o‘lchash natijalarini aniqlashda o‘lchashlarning to‘liq xatoligini aniqlash kerak.

Yig‘indi xatolik tasodifiy va sistematik xatoliklar tashkil etuvchilari kvadratiklarining yig‘indisi kvadrat ildiziga teng:

$$\Delta_k = \sqrt{\sum_n \Delta_{ci}^2 + \sum_m \Delta x_1^2} \quad (1.5.1)$$

Bu yerda n va m mos ravishda sistematik va tasodifiy xatoliklarnin tashkil etuvchilari soni, Δ_{ci} sistematik xatoliklar, ΔX_i –funksional bog‘lanish asosida aniqlanuvchi tasodifiy xatoliklar.

Yuqoridagi (1) formulaga xususiyl xatoliklar qiymatlarini qo‘yib foydalanilganligi sababli, qurilma va o‘lchash usulida yo‘l qo‘yilishi mumkin bo‘lgan maksimal kattalikni aniqlash mumkin.

O‘lchashlarda ishlatiladigan asboblarning sistematik xatoligi to‘g‘risidagi ma’lumot ularning pasportida ko‘rsatilgan bo‘ladi. Asbobning aniqligi, uning shkalasining eng kichik ulushi bilan xarakterlanib, u o‘lchanayotgan kattalikning aniqlash darajasini aniqlaydi.

Quyida o'lchash jarayonida ko'p ishlatiluvchi asboblari – lineyka, shtangensirkul, termometrlar va mikrometrning aniqligi to'g'risida ma'lumot berib o'tamiz.

Metaldan yasalgan lineykalarning millimetrlarga mos keluvchi bo'limlari 0,5 mm dan kam bo'lmagan aniqlik bilan tushuriladi.

Shtangensirkulning aniqligi uning noniysi bo'limiga mos keladi.

Odatda bu bo'limlar qiymati, 0,1 yoki 0,05 mm ga teng bo'ladi. Mikrometrning o'lcham aniqligi shtangensirkul o'lcham aniqligidan yuqoriroq bo'lib, uning bo'lim qiymati 0,01 mm ga teng. Shtangensirkulni darajalashdagi kattalik 0,004 mm ni tashkil etadi.

O'lchash jarayonida o'lchash asboblari yo'l qo'yishi mumkin bo'lgan maksimal xatolik odatda asbob shkalasida hisoblash mumkin bo'lgan eng kichik bo'lim ulushining 0,5 ga teng bo'ladi.

Ko'pgina hisoblashlarda jadval ma'lumotlaridan foydalanishga ham to'g'ri keladi. O'z-o'zidan jadval ma'lumotlarining o'lcham natijalariga kiritadigan xatoligini qanday hisobga olish mumkin degan savol to'g'iladi.

Bunday hollarda talab qilinadigan aniqlikka qarab quyidagicha yo'l tutiladi. Agar hisoblashlarda ishlatiladigan kattalik son qiymatining biror zaryadidan keyingi sonlar tashlab yuborilib, ular nollar bilan almashtirilsa, u holda bu kattalikning tashlab yuborilgan qismi uning xatoligi bo'ladi. Agar o'lchashlarda maksimal xatoliklarni bilish yetarli bo'lsa, kattalik talab qilinadigan razryadgacha yaxlitlanadi va xatolik sifatida uning son qiymati ohirgi razryadining yarmi olinadi.

Ma'lumki, katta aniqlik bilan $\pi=3,1416$ deb olish mumkin. Agar hisoblashlarda $\pi=3,14$ deb olish yetarli bo'lsa, u holda $\Delta\pi=0,0016$ bo'ladi.

Yerning o'rtacha radiusi $R=6371 \text{ km}$ Agar hisoblashlarda $R=6400 \text{ km}$ deb olsak, $\Delta R=29 \text{ km}$ bo'ladi. Maksimal kattalik bilan cheklanish mumkin bo'lgan hollarda 9,89 yozuv bu sonning absolyut xatoligi 0,05 dan katta emasligini, 220 yozuv esa bu sonning absolyut xatoligi 0,5 dan katta emasligini ko'rsatadi.

1.6. O'lchash natijalarini yozish.

O'lchashlarda xatoliklarning o'zi 20-30 % xatolik bilan aniqlanadi, ya'ni xatolikni qiymati yuqori bo'lmagan aniqlikda topiladi. Shu sababli natijaviy xatoliklarni yozishda ularni yaxlitlash lozim bo'ladi, aks holda o'nli kasr ko'rinishida yozilgan uzundan-uzoq sonlardan iborat qiymatlar o'lchashlarda yuqori aniqlikka erishilgan ekan degan noto'g'ri tasavvur uyg'otishi mumkin. Umuman olganda biror sonni yaxlitlash deganda, uning ahamiyatli razryadidan o'ngda turgan raqamlarning ma'lum qoidalar asosida tashlab yuborishni nazarda tutish kerak. Masalan, 2,3 va 2,7 sonlarning har biri 0,05 xatolikka ega. Ular ko'paytirilganda 8,51 hosil bo'ladi. Bu sondagi oxirgi bir raqam ahamiyatsiz bo'lganligi sababli tashlab yuboriladi va natijani 8,5 ko'rinishida yozish mumkin, demak taqribiy sonni yaxlitlash uchun haqiqiy, shubhali va noto'g'ri raqamlarni aniqlash lozim bo'ladi.

Xatolikni yaxlitlaganda quyidagicha yo'l tutiladi: agar xatolik qiymati 1 raqami bilan boshlangan bo'lsa, u holda yaxlitlanganda ahamiyatli son qoldiriladi. Masalan hisoblashda 0,423 ga teng qiymat olingan bo'lsa, yaxlitlashdan so'ng uning qiymati 0,4 ga teng bo'ladi. Agar xatolik qiymati 0,134 ga teng bo'lsa, u holda yaxlitlashdan so'ng 0,13 qiymatini olamiz.

Oxirgi natijani yozishda o'lchalanayotgan kattalik qiymati razryad bilan uni aniqlashda yo'l qo'yilgan xatolik qiymati razryadi mos kelishiga e'tibor berish kerak. Oxirgi natijani yozish qoidasiga ko'ra quyidagi ko'rinishlarda bo'lishi kerak.

$$2,6\pm 0,2; 2,32\pm 0,04; 2,323\pm 0,014$$

Yuqorida eslatib o'tilgan qoidaga kattalik qiymati oxirida keluvchi sonlardan ba'zilar nolga teng bo'lganda ham amal qilish kerak bo'ladi. Masalan: agar o'lchashlarda 0,004 kattalik bilan $m = 0,300\text{kg}$ qiymat olingan bo'lsa, u holda oxirgi natijani $m = 0,300\pm 0,04$ ko'rinishda qayd qilish kerak, ya'ni 3 dan keyin nollar ham yozilishi kerak. 0,3 ko'rinishdagi yozuv undan keyin keluvchi ahamiyatli raqamlar haqida hech qanday ma'lumot yo'q, degan ma'noni anglatadi, vaxolanki o'lchashlar undan keyin keluvchi sonlarning nolga tengligini ko'rsatmoqda.

O'lchashlar va hisoblashlarda amalga oshiriladigan yaxlitlashlar hisoblash natijalariga qo'shimcha xatoliklar kiritish mumkin emas. Odatda, oraliq hisoblashlar

paytida ahamiyatsiz bo'lgan razryadga tegishli bo'lgan bitta qo'shimcha raqam saqlanib qoladi va bu razryadga tegishli raqam oxirgi natijani yozishda tashlab yuboriladi.

Quyidagi yaxlitlash qoidalarini eslatib o'tamiz:

- agar tashlab yuboriluvchi son beshdan kichik bo'lsa, u holda oxirgi saqlab qolinuvchi raqam o'zgartirishsiz qoldiriladi, bordiyu u beshdan katta bo'lsa, oxirgi saqlab qolinadigan raqam bittaga ortadi;

- agar tashlab yuboriluvchi son beshga teng bo'lsa, u holda yaxlitlash ko'pincha kelishuv asosida amalga oshiriladi;

- kelishuv qoidasiga asosan saqlab qolinuvchi raqam juft son bo'lsa, u o'zgarilishsiz qoldiriladi, bordiyu toq son bo'lsa qiymati birga orttiriladi (ya'ni yaxlitlash juft songacha amalga oshiriladi).

1.7. Amaliy ishlarni hisobot uchun tayyorlashga talablar.

O'lchash va qayta ishlash natijalarini ma'lum bir tartibda yozish lozim. Yozishni tartibli olib borish, birinchidan, o'lchash ishlarida qo'pol xatolar qilishdan saqlasa, ikkinchidan, vaqt sarfini tejaydi hamda yozuvlar orqali ish mazmunini tezda tushunib olish imkonini beradi.

O'lchash davomida olinayotgan natijalarni va har turli yordamchi hisob-kitoblar faqat amaliy ishlar uchun tutilgan "ishchi daftar" da yozilishi kerak.

Barcha tayyorgarlik ishlari (ishning tavsifi, tajriba natijalarini yozishga mo'ljallangan turli xil jadvallar, chizma va grafiklar chizishga mo'ljallangan millimetrli kataklarga bo'lingan qog'oz va boshqalar) avvaldan tayyorlab qo'yilishi kerak bo'ladi. Bu dars uchun ajratilgan vaqtdan samarali foydalanish, ya'ni tajriba o'tkazish, o'lchashlar olib borish, o'lchash natijalarini yozish va ularni qayta ishlash uchun asos bo'lib qoladi.

Amaliy ishlar uchun tutilgan asosiy daftarda uch qismdan iborat hisobot yoritiladi. Birinchi qismda amaliy ish qurilmasi va ishda qo'llaniladigan uslub yoritiladi. Ikkinchi qismda barcha o'lchash natijalari, shu jumladan, jadval ko'rinishida, tugallangan holda beriladi. Yakuniy, uchunchi qismda, tajribaning

natijaviy qismi (ya'ni izlanayotgan kattalik qiymati, xatolik chegara qiymati bilan) hamda xatoliklarni hisoblash natijalari bilan taqdim etiladi.

1.8. Kirish qismini rasmiylashtirish.

Kirish qismida o'lchashlar olib borishda qo'llaniladigan uslubning qisqacha nazariyasi, ishda foydalaniladigan qurilmaning asosiy qismlari tavsifi hamda qisqacha o'lchanayotgan kattalikni yoritish imkonini beruvchi nazariya keltiriladi.

Bu qism quyidagi tartibda (ketma-ketlikda) yoziladi:

1. Amaliy ishning nomi;
2. Qo'llaniladigan o'lchashlar nazariyasiga mos chizma, rasm;
3. Ikki-uch jumlada uslub haqida va uning nazariy tomonlarini yoritish;
4. Hisob-kitobda foydalaniladigan formulalarni keltirish;
5. Ushbu ishni bajarish davomida uchraydigan belgi va kattaliklar nomini keltirish;
6. Ishda qo'llaniladigan barcha o'lchov asboblari nomi, o'lchash oralig'i (diapazon), eng kichik bo'lim qiymati, xatoliklari ko'rsatilishi lozim.

1.9. O'lchash natijalarini yozish.

O'lchash natijalarini, avvaldan amaliy ish uchun daftariga chizib tayyorlangan, jadvallarga quyidagi tartibda yoziladi:

1. Eng avval jadval tartib raqami va nomi yoziladi.
2. Jadvaldagi har bir ustunga yoki qatorga o'lchanayotgan kattalik nomi, harfiy belgisi va o'lchov birligi yoziladi.
3. Jadvalning har bir ustunchasiga avval argument vazifasini bajaruvchi (asosan, vaqt, harorat va shu kabi) kattaliklar, so'ngra funksiya vazifasini bajaruvchi (asosan, tezlik, issiqlik miqdori va shu kabi) kattaliklar yozilsa maqsadga muvofiq bo'ladi.
4. Keyingi ustunda aniqlanishi kerak bo'lgan kattaliklar o'rtacha (\bar{X}) qiymatlari qayd qilinadi.

5. Biror X_u kattaliklar keltirilgan ustunga yonidagi ustungacha shu kattalik bilan o'rtacha qiymat orasidagi farq hamda bu farq kvadratlari yoziladi.

6. Jadvallar faqatgina qurilmaning estetik jihatdan chiroyli tusda tayyorlangan bo'lishi kerak.

7. O'lchash tugallanib jadvallarga kerakli natijalar kiritilgandan so'ng, hisoblashlar amalga oshiriladi. Amaliy ishlar uchun tutilgan daftarda eng avval har bir hisoblanadigan kattalik uchun algebraik formula yoziladi, so'ngra o'sha formula son qiymatlari qo'yilib hisoblash natijalari qayd qilinadi. Belgilangan sxema bo'yicha X_y uchun hisoblashlar amalga oshirilgandan so'ng, bevosita o'lchashlar uchun o'rtacha qiymat va tasodifiy sistematik xatoliklarning standart chetlashishlari qiymati keltiriladi. Agar izlanayotgan kattalik qiymati va xatoliklar ularni baholanishi 1.2 bo'lim asosida hisoblaniladi.

8. Ikkinchi qismda amalga oshirilgan tajribaning barcha natijalari va xulosalar bilan yakunlaniladi.

Issiqlik fizikaviy va sanoat energetikasiga doir amaliyotlarda tajriba natijalarini o'lchanayotgan kattalik belgilab qo'yilgan ehtimollikda yotishi mumkin bo'lgan intervalda berilish qabulqilingan.

Masalan, sirt taranglik koeffitsiyenti uchun ishonchlilik koeffitsiyenti uchun ishonchlilik koeffitsiyenti uchun ishonchlilik koeffitsiyenti $\sigma = 0,9$ bilan $\alpha = (72,00 \pm 0,50)10^{-3} N/m$. Agar biror-bir bevosita va bilvosita o'lchash natijalari boshqa tajriba yoki nazorat hisoblashlarda nol inishi mumkin bo'lsa (masalan, havo uchun issiqlik sig'imlari nisbati $-\gamma$) barcha tajribada olingan natijalar nazariy hisob-kitob natijalari bilan solishtirib, xulosa qilingan bo'lishi shart.

Shu bilan birga, o'lchashlarda qo'llanilgan usulning afzallik va kamchiliklari tahlili bu kattalikning boshqa o'lchash usullarda aniqlangan qiymatlari bilan solishtirilsa, maqsadga muvofiq bo'ladi.

I k k i n c h i b o b
**ENERGETIK RESURSLARNI ILM-FAN VA ISHLAB
CHIQRISHDAGI O‘RNI**

2.1. Tajriba nazariyasi va amaliyotini qo‘llanilish metodologiyasi.

Insoniyat hayoti davomida tabiat tomonidan minglab yillarda to‘plangan energiyadan foydalanib kelinmoqda. Bunda ushbu energiyadan foydalanish usullari, undan maksimal samaradorlik olish maqsadida doimo takomillashib bormoqda. Energetika insoniyat hayotida muhim rol o‘ynaydi. Inson faoliyatining barcha turlari energiya sarfi bilan chambarchas bog‘liq, masalan inson o‘zining evolyusion rivojlanishining navbatdagi davri shamol va suv energiyasidan foydalanishga olib keldi, natijada birinchi suv va shamol tegirmonlari, suv charxpalaklari, o‘z harakati uchun shamol kuchidan foydalanuvchi yelkanli kemalar paydo bo‘ldi. XVII asrda o‘tin yoki ko‘mirni yoqish natijasida hosil bo‘lgan issiqlik energiyasini mexanik harakati energiyasiga aylantiruvchi bug‘ mashinalari ixtiro qilindi. XIX asrda Volta yoyi, elektr yoritish kashf qilindi. Elektrodvigatel, undan keyin esa elektr generator ixtiro qilinishlari elektr asri boshlanishiga olib keldi. XX asr insoniyat tomonidan energiya ishlab chiqarish va undan foydalanish usullarini o‘zgartirish bo‘yicha haqiqiy inqilobni amalga oshirish asri bo‘ldi. Juda yuqori quvvatli gidravlik, issiqlik, va atom elektr stansiyalari, yuqori va o‘ta yuqori hamda ultra yuqori kuchlanishga ega bo‘lgan elektr energiyasini uzatuvchi liniyalar, tarmoqlar qurilishi yo‘lga qo‘yildi. Ilm-fanning o‘sib borishi natijasida elektr energiyasini ishlab chiqarishni, o‘zgartirish va uzatishning yangidan-yangi turlari ishlab chiqilmoqda (boshqaruvchi termoyadro reaksiyasi, magnit gidrodinamik generator, o‘ta o‘tkazuvchan turbogenerator va shunga o‘xshash). Katta quvvatli energiya tizimlari barpo qilinmoqda, shu bilan birga katta quvvatli neft va gaz ta‘minoti tizimlari paydo bo‘lmoqda, yaratilmoqda.

Shunday qilib bizni o‘rab turgan dunyo turli ko‘rinishdagi tuganmas energiya manbalariga egadir. Hozirda ularning ba’zilaridan ya’ni, quyosh energiyasi, yer va oynning o‘zaro ta’siri natijasida hosil bo‘ladigan energiya, termoyadrosintez energiyasi, yer issiqligi energiyasidan to‘laqonli foydalanilmayapti. Hozir inson tamadduning rivojlanishida energiya muhim rol o‘ynaydi. Mahsulot ishlab chiqarish hajmi va energiya sarfi orasida uzviy o‘zaro bog‘liqlik mavjud. Insoniyat hayotida energetika katta ahamiyatga beqiyos ega. Uning rivojlanish darajasi, jamiyat ishlab chiqarish kuchlarining rivojlanish darajasini, ilmiy texnik taraqqiyot imkoniyatlarini va aholi turmush darajasini aks ettiradi.

Afsuski, inson tarafidan iste’mol etilayotgan energiyaning ko‘p qismi, mavjud bo‘lgan energetik resurslardan foydalanishning samaradorligi pastligi tufayli befoyda issiqlikka aylanmoqda. Dunyoda bir yilda foydalanadigan energiyaning taxminiy taqsimoti 2.1.1.- jadvalda keltirilgan. Bu jadvaldagi energiya qiymati, yoqilganda mavjud energiyani beruvchi ko‘mir miqdorining megatonnalardagi (Mt) o‘lchamida keltirilgan.

2.1-1-jadval

Energiya shakli	Miqdori Mt	Manba
Insonlarni boqish va hayvonlarga yem	650	Quyosh yorug‘ligi (hozirda)
O‘tinlar	150	Quyosh yorug‘ligi(o‘tgan zamonda)
Gidroelektrsatsiyalar	100	Suv harakati
Ko‘mir, neft, gaz, torf	6600	Quyosh yorug‘ligi(o‘tgan zamonda)

Shu bilan bir vaqtda insonlarni turli kommunal maishiy extiyojlari uchun har yili taxminan 400 Mt energiya sarflanadi, shundan 40 Mtga yaqini foydali mehnatga aylanadi. Xo‘jalik zaruratlariga 800 Mt, jamiyat ishlab chiqarishiga esa 1000 Mt energiya sarflanadi.

Shunday qilib 7500 Mt ni tashkil etuvchi yillik energiya iste'molidan 2200 Mt foydali ravishda, qolgani esa issiqlik ko'rinishida bekorga sarflanadi. Lekin hatto 2200/ 7500 Mt samaradorlik bilan ham insoniyat maqtana olmaydi. Chunki yer yuziga quyoshdan taralayotgan va yiliga 10000000 Mtni tashkil etuvchi energiya bu yerda hisobga olinmagan.

Tamaddunning rivojlanishida energiya hal etuvchi rol o'ynaydi. Energiya iste'moli va axborotning to'planishi, vaqt bo'yicha tahminan bir xil xarakterlanishi ma'lum o'zgarishga ega. Mahsulot ishlab chiqarish hajmi va energiya sarfi orasida mustahkam bog'liqlik mavjud. Energiya iste'molining o'sishi ajablanarli darajada yuqori, lekin buning natijasida inson o'z hayotining sezilarli katta qismini dam olishga, maorifga, yaratuvchanlik faoliyatiga bag'ishlashi mumkin bo'ladi va natijada uzoq umr kurishga erishilmoqda.

Mamlakatimizda inson manfaatlari oliy qadriyat deb qaralayotgan bir davrda ijtimoiy – iqtisodiy sohani taraqqiy ettirish, iqtisodiyotni barqaror sur'atlar bilan rivojlantirish, bugungi kun talablariga javob bera oladigan ishlab chiqarish jarayonlarni tashkil etish, yaqin kelajakda barcha sohadagi amalga oshirilishi rejalashtirilayotgan islohotlar izchilligini ta'minlashda energetika tizimining o'rni va salmog'i o'ta muhim hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasini rivojlanishida energiya hamda resurslar sarfini kamaytirish, ishlab chiqarishga energiya tejaydigan texnologiyalarni keng joriy etish, qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirish, iqtisodiyot tarmoqlarida mehnat unumdorligini oshirish masalalari ustuvor vazifalardandir.

Mamlakatimiz energiya xavfsizligini ta'minlashda, energiya ta'minoti tizimlarida innovatsion texnologiyalarni joriy etgan holda, kelajakdagi istiqbolli energiya ta'minoti hisoblangan ekologik toza muqobil energiya manbalaridan foydalanish darajasini oshirish, ushbu manbalar hisobida ishlaydigan uylarni, sanoat korxonalarini, chorvachilik, parrandachilik komplekslari qurilmalarini isitish tizimini takomillashtirish mamlakatimiz mustaqilligini mustahkamlashda poydevor

bo‘lib xizmat qilishi bilan bir qatorda bugungi kunning dolzarb masalalaridan biri hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasining 2019 yil 21 maydagi “Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish to‘g‘risida”gi O‘RQ-539-sonli qonuni “Quyosh energiyasidan foydalanish samaradorligi sohasidagi mahalliy ishlanmalar va amaliy tadqiqotlarni rivojlantirish bo‘yicha chora-tadbirlar rejasini ishlab chiqish” to‘g‘risidagi fikr-mulohazalarida bu sohada erishilgan yutuqlar va kelajakda qayta tiklanadigan energiyaning eng samarali va istiqbolli manbai sifatida quyosh energiyasini rivojlantirish loyihalarini ishlab chiqish va joriy etish vazifasini bajarishga erishish, energiya tejamkorligida asosiy omillardan biri bo‘lishi belgilab berildi.

Hozirgi kunda Respublikamiz iqtisodiyotining muhim tarmog‘i bo‘lgan chorvachilik va parrandachilik sohasini sifat jihatdan tubdan rivojlantirish va zamonaviy innovatsion texnologik talablar energotejamkorlik tizimi asosida kombinatsiyalashtirilgan quyosh va bioenergiyadan foydalanib, mo‘tadil iqlim yaratiladigan teplitsa-chorvachilik va parrandalar parvarish qilinadigan kompleks qurilmasini ishlab chiqish hamda texnologik darajasini yangilash, havoni mo‘tadillash tizimlaridagi texnologiyalarni takomillashtirish ishlari amalga oshirildi.

“Qayta tiklanuvchi energiya manbalari qurilmalarining va ulardan ishlab chiqariladigan energiyaning davlat hisobini yuritish chora-tadbiri to‘g‘risida” gi O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2020 yil 23 iyuldagi 452-sonli qarorda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan ishlab chiqariladigan va yetkazib beriladigan energiyaning hisobga olish bo‘yicha ma’lumotlarni avtomatlashtirilgan tarzda yig‘ish, tizimlashtirish va taxlil qilish bo‘yicha O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligining Yagona ma’lumotlar bazasini tashkil qilishni ta’minlovchi avtomatlashtirilgan axborot tizimini ishlab chiqib joriy etish belgilab berilgan.

Ishlab chiqarish korxonalarini zamonaviy, samarador va tejamkor texnologiyalar asosida modernizatsiya qilish, texnika va texnologik o‘zgartirish orqali sarflanadigan energiya miqdorini kamaytirish, qayta tiklanuvchi energiya

manbalaridan foydalanish texnologiyalarini chorvachilik va parrandachilik binolarida mo‘tadil iqlim yaratishda joriy etish orqali energiya tejamkorligiga erishish kabi ustuvor vazifalarni ijrosiga yo‘naltirilgan.

O‘zbekiston Respublikasida fan va texnologiyani istiqbolli yo‘nalishi bo‘lgan “Muqobil energiya manbalaridan sanoat, qishloq xo‘jalik obyektlarida samarali foydalanishni takomillashtirish”ga qaratilgan.

Demak, hozirgi vaqtda yoqilg‘i-energiya resurslari va qurilish materiallarini narxi ko‘tarilib borishini hisobga olib, avtonomlashtirilgan namunaviy uylar, sanoat energetik tizimlarni modernizatsiya qilishda geliyofizika asoslaridan foydalanish, hajmiy havo isitish kollektor-yassi devor suvli va tuproq osti issiqlik akkumulyatorli gelioteplitsa chorvalar va parrandalar parvarish qilinadigan kompleksda optimal mo‘tadil iqlim yaratishga erishish masalalarini yechilishida tajriba nazariyasi va amaliyoti fanini o‘qitilishi texnik iqtisodiy va ekologik samaradorlik bilan bog‘liqdir. Jamiyatni energiya bilan taminlash quyidagilarga bo‘linadi, ya’ni binolarni isitish, haroratni taminlash, bizga zarur bo‘lgan mahsulotlarni ishlab chiqarish, turli mashina, mexanizm, asbob uskunalarni ishlash qobiliyatini taminlash. Oziq-ovqat tayyorlash, yoritish, hayot faoliyatini taminlash va boshqalar uchun zarurdir.

Energiyani qo‘llashning bu misollarini quyidagi uchta katta guruhga bo‘lish mumkin:

a) Ozuqa energiyasi. U boshqa energiya turlariga nisbatan qimmatroqdir: bug‘doy joulida qayta hisoblanganda, ko‘mirdan ancha qimmat. Ozuqa tana haroratini ushlab turishi uchun issiqlik, uning harakati uchun, aqliy va jismoniy mehnatni amalga oshirishi uchun energiya beriladi.

b) Uylarni isitish va ovqat tayyorlash uchun issiqlik ko‘rinishidagi energiY. U turli iqlim sharoitlarda yashashi va inson uchun oziq-ovqatini turlicha bo‘lishi imkonini beradi.

d) Jamiyat ishlab chiqarishini yuritishni ta’minlaydigan energiY. Bu energiya tovar va xizmat ko‘rsatish, inson va yuklarni fazodagi shaxsiy harakati, kommunikatsiya barcha tizmlarini ishlash qobiliyatini ishlab turishi uchun kerak. Bu

energiyaning aholi jon boshiga bo‘lgan sarfi, ozuqaga sarf etiladigan energiyadan sezilarli darajada yuqoridir.

Tiklanuvchi va tiklanmaydigan energetika resurslaridan foydalanishda tajriba nazariyasining mohiyati.

Yoqilg‘i- energetika resurslari (YOER) – bu material obykti bo‘lib, unda inson tomonidan amaliy foydalanish jarayoniga yaroqli energiya to‘plamidir.

Energetika resursi deb – tabiiy yoki su‘niy faollashgan har qanday energiya manbaiga aytiladi. Energiya resurslari hozirgi vaqtda ishlatilayotgan yoki kelajakda ishlatilishi mumkin bo‘lgan energiya tashuvchilardir.

Tabiiy resurslar, shu jumladan energetika resurslarini o‘rganishda ularning ilmiy tasnifi, ya‘ni xom ashyo obyektlari va tabiiy muhitdagi hodisalar yig‘indisini funksional muhimlik belgilari bo‘yicha ajratish kerak.

Tabiiy resurslarning tasniflaridan biri bu tugallanish belgisi bo‘lib, unga muvofiq energetika resurslarini tugallanadigan va tugallanmaydigan resurslarga bo‘linadi. O‘z navbatida energetik resurslar tiklanuvchi va tiklanmaydigan bo‘lishi mumkin. Tiklanuvchilarga quyosh, shamol yer osti geotermal, bioenergiya, gidrodinamik, dengiz, okean suvi va to‘lqinlar energiyasini, atom energiyasi va hokazo resurslari kiradi. Tiklanmaydiganlarga ilgari tabiatda to‘plangan, lekin yangi geologik sharoitlarda hosil bo‘lmaydigan resurslar (neft, gaz, ko‘mir va boshqa yer osti zahiralari) kiradi. Tugallanmaydiganlariga kosmik, iqlimiy, suv resurslari ham kiradi.

Energiya resurslarining barcha turlaridan quyosh energiyasi muhim ahamiyatga ega. Energiya resurslarining barcha turlari quyosh energiyasini tabiiy o‘zgarishi natijasidir. Ko‘mir, neft, tabiiy gaz, torf, yonuvchi tog‘ jinslari va o‘tinlar – bu o‘simliklar tomonidan olingan va o‘zgartirilgan quyoshning nurli energiyasi mahsuli natijasidir.

Fotosintez reaksiyasi jarayonida atrof muhitning noorganik elementlaridan, ya‘ni, suv (H_2O) va karbonat angidrid gazi (CO_2) lardan quyosh nuri ta‘sirida o‘simliklarda asosiy elementi uglerod (S) bo‘lgan organik modda hosil bo‘ladi.

Million yillar o'tgandan so'ng, ma'lum geologik davrda, bosim va harorat ta'sirida qotib qolgan o'simliklar asosida oldin o'simliklarda yig'ilgan uglerod tashkil etadigan organik energetik resurslar hosil bo'ladi va bu esa yerga tushadigan quyosh energiyasining aniq miqdori natijasida amalga oshadi. Suv energiyasi ham suvni bug'lantiradigan va bug'ni atmosferaning yuqori qatlamlariga ko'taradigan quyosh energiyasi hisobiga hosil bo'ladi.

Shamol, quyosh energiyasi bizning planetamizni turli nuqtalarini, turli haroratda isitilishi natijasida hosil bo'ladi. Bundan tashqari quyoshning yer sathiga bevosita to'g'ri keladigan nurlari, katta energiya manbai bo'lishi imkoniyatiga egadir.

Yuqorida ta'kidlanganidek organik yoqilg'ining hosil bo'lishi bir tomondan quyosh energiyasining tabiiy o'zgarishi natijasida bo'lsa, ikkinchi tomondan ko'p yuz yilliklar davomida barcha geologik formatsiyalardan o'simlik va hayvonlar olami qoldiqlariga mexanik, biologik va issiqlik ta'siri natijasidir. Bu yoqilg'ilarning hammasi uglevod asosiga ega va energiya undan uglevod dioksidi (CO₂) hosil bo'lishi jarayonida ajralib chiqadi. Zamonaviy usulda tabiatdan foydalanishda energetik resurslar uch guruhga taqsimlanadi, bular: energiya oqimi va aylanishida ishtirok etuvchi (quyosh, kosmik energiya va boshqalar), saqlanayotgan energetik resurslar (neft, gaz, ko'mir va hokazo) hamda sun'iy faollashgan energiya manbalari (atom va termoyadro energiya).

Iqtisodiyotga tabiatdan foydalanish quyidagilarga ajratiladi.

Umumiy (nazariy) resurs - bu enerego resursning aynan ko'rinishi ichidagi jamlangan energiyani tashkil etadi. **Texnik resurs** – bu energiya, fan va texnikaning hozirdagi rivojlanishida mazkur energiya resurs turidan olinishi mumkin. U umumiy energiyaning juda kichik foizidan o'nlab foizgacha bo'lgan ulushini tashkil etadi. Lekin energetik jihozlarni takomillashuvi va yangi texnologiyalarni o'zlashtirish natijasida doimiy ortib boradi.

Iqtisodiy resurs – bu mazkur resurs turidan olinib, jihoz materiallari va ishchi kuchining hozirgi baholari nisbatida iqtisodiy jihatdan qulay bo'lgan energiya.

Fanning ilmiy asosda bilish va metodologiyasi. Hozirgi zamon sanoat energetikasini taraqqiyoti va ishlab chiqarish qurilmalarini texnologik jarayonlari intensiv ishlashida qo'llaniladigan agregatlarni quvvat birligining yuqoriligi bilan xarakterlanadi. Masalan hozirgi zamon binolarini isitish va mo'tadil iqlim rejimini yaratishida qo'llaniladigan texnologik jarayonlar jadalligi bilan taraqqiy etishi, ilm – fanda rivojlanishi, ishlab chiqarishda samarali foydalanish bilan xarakterlanadi. Biz tajribalar o'tkazishni ilmiy asosda bilish va ijod qilishdagi metodologiyasini qaraymiz:

Ilmiy bilish tushunchasi:

1. Bilish – sanoat issiqlik energetikasi tushunchalarini umumlashgan shaklini yangilangan qonuniyatlar asosida o'zlashtirishdan iborat fikrlashdir. Odatda bilish nazariyasi oddiydan murakkablik jarayonlarni izlashga intilish bilan yo'naltiriladi va o'zlashtirilgan hamda izlanishlar natijalarini amaliyotdagi tasdiqlar bilan belgilanadi. Issiqlik energetikasi qonunlarini bilishda energiyaning saqlanish qonuni asosida xalq xo'jaligining taraqqiyotida samarador issiqlik energetik qurilmalarini takomillashtirish, moderinizatsiya qilish jarayonida yuzaga keladigan, ilmiy bilish natijalarini amaliyotda erishgan yutuqlari bilan xarakterlanadi.

Bilish bu amaliyotda kuchayadi va haqiqiy amaliyotda olingan natijalar kelgusida yangi yutuqlarni egallashga yo'naltiriladi. Shuni aytish kerakki, nazariy tadqiqotlarni bilish nisbiy tushuncha bo'lib, o'zlashtirilgan tushunchalardan keyin yangi g'oyalar yoki masalalarni yechishda, amaliyotda qo'llash tizimi muhim bo'lib hisoblanadi. Ilmiy bilimlarni mukammallashtirishi ma'lum tushunchalarni o'zlashtirishni talab etadi va yangi bilimlarni egallashga undaydi. Nazariy ilmiy tushunchalarni taqsimlab o'rganishdan kelib chiqqan natijalarni umumlashtirish bilan hajmiy tushunchalarga erishilishi mumkin. Agar to'plangan yangi ilmiy omillardan bir gepotizani boshqasiga almashtirilsa yoki yangi ma'lumotlarni eski gipoteza bilan tushuntirish mumkin bo'lmasa, qarama-qarshi bo'lsa, u holda eski gipoteza butunlay tashlab yuborilmasdan, tuzatishlar va aniqliklar kiritish bilan universal va maxsus usullardan foydalanib murakkab texnologik jarayonlarni sanoat

issiqlik energetikasi ravnaqi uchun amalga oshirishga erishiladi va gipoteza qonunga aylanadi.

2. Qonun - hodisalarni ichki muhim bog‘lanishini xarakterlash uchun qonuniy taraqqiyot shart qilib belgilanishi tushiniladi. Qonun hodisa yoki obyekt materiallarini tuzilishidagi mustahkam bog‘lanishi bilan aniqlanish jarayonini ifodalanishidir. Masalan qishloq xo‘jaligining turli sohalarida jumladan binolarni issiqlik ta‘minotini loyihalashtirish jarayonlarida barcha o‘lchov birliklari, joyning tuproq strukturasi va qurilish materiallarida issiqlik ta‘minoti tizimi mukammal o‘rganilib, foydalanish qonunlari tahlil qilinadi.

Ayrim hollarda tahminlardan kelib chiqadiki, tasdiqlanadigan jarayonlarga qarama-qarshi fikrlar ham yuzaga keladi. Bunday hollarda fanda qabul qilingan fikrlar farq qiladigan va maxsus xatolik bilan bog‘liq fikrlar bilan ifodalanadi.

3. Paradoks keng fikrlash bo‘lib, bunda umumiy qabul qilingan fikrdan farq qiladigan jarayonlar so‘zsiz to‘g‘ri tushuncha tasavvurlarni yuzaga kelishi bilan bog‘liqdir. Nazariy tadqiqotni natijalarini tahlili, ilmiy gepotezani haqiqiy qo‘yilishidan kelib chiqishi, nazariyaga oid bo‘ladi.

4. Nazariya – (lotincha – teorits – muhokama qilmoq, qaramoq degan ma‘noni bildiradi)- umumlashgan bilimlar sistemasi bo‘lib, haqiqiy jarayoni u yoki bu tomonini tushintiradi. Nazariya holatni ruhan, fikran yoritilishi va real haqiqiy ifodalanishidir. U bilimni umumlashgan natijalari faoliyati va amaliyotidan kelib chiqadi.

Nazariya tuzilishi prinsiplarda shakllanadi, aksiomalar, mulohaza, qonunlar holat, tushuncha, kategoriya va mashg‘ulotlardan tarkib topadi.

Ilmiy nazariyani dastlabki holati aksiomalar deyiladi.

5. Aksioma – berilgan nazariyadan isbotlangan dastlabki holat sifati olingan va boshqa holatlar uchun oldindan belgilangan qoidalardir. Aksiomalar isbotsiz tushunchalardir.

Keltirilgan tushuncha va fikrlardan ilm va fanda xususan nazariy tadqiqotlarda, murakkab texnologik jarayonlar, binolarni issiqlik ta‘minotining xarakteristikalarini o‘rganiladi va amaliyotda foydalanish tizimlari ishlab chiqiladi va

bunda modellashtirish, iqtisodiyot jarayonlarini avtomatlashtirish tushunarsiz qo'llaniladi. Bunda nazariya va amaliy tadqiqotlarni metodlaridan foydalaniladi.

6. Metod – bu maqsadli yutuqlarga erishishda qo'llashdir. Ammo metod shartli bo'lishi mumkin, chunki bir holda qo'llanilgan ilmiy metod bilishni rivojlantirish o'lchami bir kategoriyadan boshqasiga o'tish mumkinligini xarakterlaydi.

7. Kuzatish – bu biz o'rganadigan issiqlik energetikasi qurilmalarini ish jarayonlarini o'rganish, tadqiq etish va takomillashtirish (modernizatsiya)da tadqiqotchilar tomonidan bevosita olib boriladigan jarayonlaridir.

8. Taqqoslash – issiqlik energiya ishlab chiqarish qurilmalarini ishlash prinsiplarini va quvvat kattaliklarini taqqoslab nazariy tadqiqotlarni o'rganib, amaliyotga joriy etilishi, jarayonlaridagi natijalariga muvofiq xulosalar asosida fikr yuritishdir.

9. Hisoblash – sanoat issiqlik energetik qurilmalarida ishlab chiqiladigan energiya miqdori quvvati va undan foydalanish, obyektlariga sarflanadigan miqdorini nazariy, tadqiqot natijalari sifatida hisoblash bilan amaliyotdagi tizimini aniqlashga erishishdir

10. O'lchashlar-bu bino ichki havo haroratini binoni chegaralovchi to'siqlari (tom, potolok) orqali yo'qotiladigan issiqlik miqdorlarini amaliy tadqiqotlar, o'lchov asboblardan foydalangan holda olingan sonli qiymatlar orqali aniqlashdir.

11. Eksperiment –tadqiqotlarga asoslangan issiqlik energiyasi ishlab chiqaruvchi qurilmalari tizimida o'rganilib, ma'lum tushunchalarga ega bo'lishini asosli belgilanishi, eksperimental tadqiqotlardan olingan natijalarning muhim omilidir. Xususan, zamonaviy namunaviy uylarda mo'tadil iqlim sharoitini yaratilishini nazariy tadqiqotlari natijalarini eksperimental izlanishlar oraqali o'rganish muhim amaliy xarakteristik tushunchani asoslashdagi omillardandir.

12. Tahlil-nazariy tadqiqotlar asosida bino to'siqlar orqali atrof-muhitga uzatiladigan issiqlik miqdori tadqiq etilib, natijalarni eksperimental izlanishlarda olingan ma'lumotlar bilan taqqoslab tahlil qilinadi. Shuning uchun ilm-fan nazariy tushunchalari bilishning analitik tadqiqotlar bilan xarakterlanadi.

13. Sintez – amaliyotda olingan barcha ma'lumotlar umumlashtirilishi bilan bog'liq natijalar, bu sintez tizimini xarakterlaydi. Analiz va sintez ko'rinishdagi tadqiqotlar bir-biridan farqlanib to'g'ri va emperik metod yoki qaytarish yoki elementar nazariy metodlar asosida tadqiq etiladi.

14. Analitik va sonli metodlar – issiqlik energetik tizimlarda issiqlikni tejab, samarali foydalanish maqsadida sanoat binolarida energoresurs tejamkor materiallarni tarkibiy tuzilishini analitik va sonli metodlardan foydalanib, nazariy tadqiqotlar natijalarini modellashtirish asosida taxlil qilinadi. Shuningdek iqtisodiyot jarayonlarini avtomatlashtirilgan tizimlarida ham keng joriy etilishi mumkin.

2.2. Tajribani nazariy asoslarini rivojlantirish “Tajribalar nazariyasi va amaliyoti” fanining qisqacha mazmuni, asosiy masalasi va boshqa fanlar bilan bog'lanishi, uning injenerlik mutaxassisleri uchun ahamiyati tavsifi.

Sanoat qurilmalari va binolarida issiqlik almashinuv jarayonlarini va texnologik tizimlardagi intensivlikni xarakterlaydigan parametrlarni: zamonaviy o'lchov asbob uskunalarini ishlab chiqilgan. Shuning uchun ishonchli asbob uskunalar, elektron hisoblash va o'lchov qurilmalari ishlab chiqilib samarali natijalarga erishilmoqda. Yetarli darajada aniqlikda issiqlik almashinuvi jarayonlarini xarakterlovchi parametrlarni o'lchash qurilmalari va asbob uskunalarini yaratilmasdan avtomatlashtirishni yo'lga qo'yib bo'lmaydi. Sanoatda, transportda, qishloq xo'jaligida ishlab chiqarish jarayonlarida texnologik tizimlarni yuqori ko'rsatgichlardagi natijalariga ega bo'lishda kompleks avtomatlashtirish yo'lga qo'yiladi. Bu masalalarni yechishda texnologik tizimlarni va ularni texnika-iqtisodiy ko'rsatgichlarini analiz qilinishi uchun ishonchli va aniq o'lchov asbob uskunalarini yaratish talab etiladi.

Hozirgi vaqtda barcha sanoat qurilmalarida issiqlik almashinuvi jarayonlari uchun texnologik parametrlarni o'lchash tizimini takomillashtirish borasida dunyo miqyosida olimlar, muhandis texniklar, izlanuvchi tadqiqotchilar tomonidan

zamonaviy aniqlikda ishlatiladigan o‘lchov asboblari, elektron qurilmalar yaratilishi borasida alohida e’tibor berilmoqda.

“Tajribalar nazariyasi va amaliyoti” fanini o‘rganishda sanoat energetikasi issiqlik fizikasi hodisalarning jarayonlar u yoki bu issiqlik tizimida bajarishni o‘lchash qurilmalari yoki prinsipial sxemalar, asbob uskunalarda amalga oshirilishiga e’tibor qaratilgan. Magistrarga fanni o‘qitishda zamonaviy pedagogik texnologiyalar, texnologiyani tajriba nazariyasi va amaliyotda zamonaviy ilmiy uslubiy tizimlarini adabiyotlarga, metodik ko‘rsatmalarga asoslanib ilmiy bilim va ijodkorlik metodologiyasi, o‘qitishning hozirgi zamon talab va usullari bilan tenglashtiradi.

Bilim- jahonning obyektiv tuzilishini umumlashgan qonuniyatlar asosida so‘z formulasida bayon etish bilan qabul qilinadi.

Bilish- odamlarni umumiy faoliyatini maxsuli hisoblanadi. Inson xarakati davomida bilmaslikdan bilishga intilishidagi tushunchalardan iborat dunyoqarashini amaliyotga joriy etish bilan belgilanadi. Issiqlik almashinuv jarayonlariga masalan binolarda, issiqxonalarda past haroratli va yuqori haroratli gelioqurilmalarda, quyosh energiyasini issiqlik va elektr energiyasiga almashtirish qurilmalarida tajriba nazariyasini o‘rganishni va natijalarni amaliyotda qo‘llashga doir tajribalar o‘tkazishga asoslangan issiqlik fizika hamda matematik modellashtirish, sonli nazariyasidan foydalanib amaliyotga joriy qilishga doir tushunchalarni egallanadi. Ma’lumki tajriba asosida o‘lchashlar o‘tkazish uchun maxsus texnik qurilmalar va asbob uskunalar talab etiladi. Ko‘p holatlarda issiqlik almashinuv jarayonlarini o‘lchashda belgilangan teplofizik kattalikni son qiymati bir birlikda belgilanib, bu teplo-fizik kattalikni o‘lchov birligi sifatida qabul qilinadi.

Belgilangan obyektning teplofizik parametrlarini tajribada o‘lchashdan olingan natijalarning qiymati bilan taqqoslab birlik o‘lchov bilan ifodalanadi. Natijani bu kattalik quyidagi tenglik bilan ifodalanadi.

$$R = \frac{Q}{q} \quad (2.2.1)$$

Q - teplofizik kattalikni o‘lchashdan olingan natija; q -birlik teplofizik kattalik;
 R -o‘lchash natijasi yoki o‘lchovdan olingan natijalar qiymati.

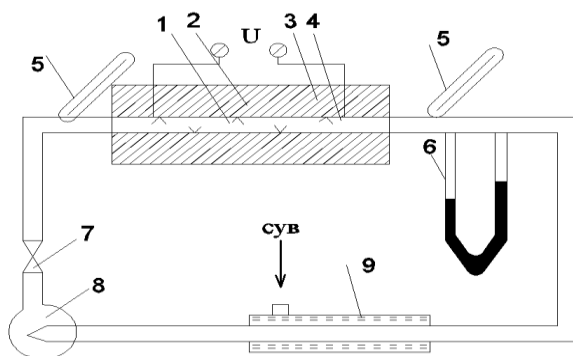
Barcha tajribalarda texnik o‘lchovlarni son qiymatlari to‘g‘ridan-to‘g‘ri yoki boshqa yo‘llar bilan o‘lchash metodiga asoslangan. Olib boriladigan amaliy-ilmiiy tadqiqot ishlari va laboratoriya ishlarni bajarish uchun jamlangan birgalikda o‘tkazilgan o‘lchashlar o‘zining mohiyatiga ega. Odatda to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘tkaziladigan tajribalardagi o‘lchashlar, izlangan kattaliklarni natijasini olishga qaratiladi. Masalan temperaturani o‘lchash termometrlarda to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘lchanadi. Boshqa metodlarda o‘lchash natijalarini olish uchun to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘lchamlardan olingan natijalar qo‘yidagi bog‘lanishdan foydalanib aniqlanadi.

$$y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.2.2)$$

Bu yerda y izlanadigan kattalik; X_1, X_2, \dots, X_n - to‘g‘risidan – to‘g‘ri o‘lchash kattaliklarini son qiymatlari. Boshqa yo‘llar bilan tajriba o‘tkaziladigan parametrlariga misol qilib issiqlik zichligini, massani va hajmini o‘lchashdan olingan natijalarga asoslanadi ya’ni o‘tgazgichni solishtirma qarshiligini aniqlash uchun uning uzunligi va ko‘ndalang kesimini yuzasini o‘lchash kerak

$$R = \rho \frac{e}{s}, \quad \text{yoki } \rho = \frac{RS}{e} \quad (2.2.3)$$

Issiqlik o‘tkazuvchanlik: statsionar rejimda ko‘p hollarda issiqlik oqimini issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentining aniqlashda doimiy elektr qizdirgichdan foydalaniladi. (1- rasm).



1-rasm. Tuproq osti issiqlik akkumulyator quvuri orqali o‘tadigan geotermal suvni majburiy sirkulyatsiyalanishi jarayonidagi turbulent oqimda atrofga issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlashga muljallangan eksperimental qurilma sxemasi:

1-eksperimental quvur; 2- elektr qizdirgich; 3- issiqlik saqlagich (izolyatsiya); 4- termopara; 5- termometr; 6- diafragma; 7-zadvijka; 8- nasos; 9- suvli sovtgich.

Bunda elektr qizdirgich o'zgarmas issiqlik oqimini tuproq osti kompozitsion quvur atrofidagi tuproq qatlamida bir o'lchamli issiqlik oqimini hisoblashda tajriba variantidan foydalanib hisoblash metodi qo'llanildi. Bu issiqlik oqimi Q , (Vt) ni aniqlab elektr qizdirgichni quvvatini hisoblashga erishamiz. Demak, elektr qizdirgichdan o'tadigan tok kuchi I va kuchlanishni U desak u holda issiqlik suvli sovutgich oqimini quyidagi formuladan foydalanib aniqlanadi.

$$Q = I\Delta U \quad (2.2.4)$$

Elektr isitgichni quvvatini o'lchash uchun o'lchov aniqlik klassali (0,05 dan 0,5) turli chegaradagi o'lchov asboblari yordamida elektr isitgichni quvvatini o'lchash uchun tok kuchi kuchlanishini pasayishi vattmetr, ampermetr va voltmetrlardan foydalanildi. O'lchash jarayonlaridagi aniqlikni mukammallashtirish uchun maxsus qarshiliklar bilan jixozlangan potentsiometrik o'lchov metodi samarali hisoblanadi. Buning uchun normal qarshilik bilan jixozlangan potentsiometr yordamida kuchlanishni passayishi aniqlanib elektr qizdirgichni quvvati (issiqlik oqimi) Vt larda o'lchab hisoblanadi.

$$W = Q = \Delta UI = \Delta U \frac{\Delta U_N}{R_N} \quad (2.2.5)$$

Bu yerda ΔU , ΔU_N – elektr qizdirgichda potentsial passayishi va normal qarshilikda potentsial pasayishi, V ; R_N – normal qarshilik, Ω ; Tajriba qurilmasida taqqoslash metodi bilan issiqlik uzatish koeffitsiyentini etalon qiymati aniqlanadi. Bu jarayonda (2.2.1 -rasmda ko'rsatilgandek) elektr isitgichda tajriba o'tkazilgan etalonda ketma-ket o'lchashlar olib boriladi va issiqlik oqimlar o'lchanadi.

Hamda yassi shakildagi etalon va tajriba qurilmasidagi issiqlik oqimi quyidagi tenglamadan hisoblanadi.

$$Q = \frac{\lambda e}{\delta_e} (t_{e_1} - t_{e_2}) F_r \quad (2.2.6)$$

Bu yerda δ_e – izotermik etalon yuzasi temperaturalari t_{e_1} va t_{e_2} lar orasidagi masofa, λ_e - etaloning issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti,

$Vt/(m.k)$; F_p – hisoblangan yuza; m^2 ; (5) tenglamadan Q , tajriba qurilmasidan o'xshashlik tizimi bilan λ aniqlanadi.

Qurilma orqali atrof-muhitga sarflanadigan issiqlik miqdori hisobga olinishi kerak.

Bu jarayonda termoparali tajribalar va teplomer yordamida o'lchanadi. Issiqlik oqimi solishtirma issiqlik sig'imi G – bo'lgan suyuqlikdan iborat bo'lgan kalorimetrik metod yordamida tajribalar natijasida quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$Q = G_k C_{ri} (t_j^{11} - t_j^1) \quad (2.2.7)$$

bu yerda G_k - kalorimetrdagi suyuqlikni massa sarfi, kg/C;

C_r – kalorimetrdagi suyuqlikni o'zgarmas bosimdagi solishtirma issiqlik sig'imi, J/(kg.k); $t_j^{11} - t_j^1$ – kalorimetrdagi suyuqlikni ishchi qismida temperatura o'zgarishi, K.

Issiqlik fizikasi kattaliklarini aniqlash uchun amallar ketma-ket bajarilishi kerak:

- 1) asboblarni o'rnatish va tekshirish;
- 2) asboblarning ko'rsatishini kuzatish va yozib olish;
- 3) O'LCHASHLAR natijasidan foydalanib, aniqlanishi kerak bo'lgan issiqlik fizikasi kattaligini hisoblash;
- 4) xatoliklarni hisoblash.

Tajriba o'tkazishda sezgi a'zolarining tabiiy holda xatolikka yo'l qo'yishi va o'lchov asboblarning mukammallashmaganligi tufayli har qanday o'lchashda issiqlik fizikasi kattalikning tarkibiy qiymati aniqlanadi. Demak har qanday o'lchashni ma'lum aniqlikdagina bajarish mumkin. Oxirgi natija aniqligini oshirish uchun har qanday issiqlik fizikaviy kattalikni bir hil tajriba sharoitida bir marta emas, bir necha marta o'lchash kerak.

2.3. Tajriba nazariyasi va amaliyoti fanini o'qitishda zamonaviy pedagogik va axborot kommunikatsion texnologiyalardan foydalanish metodlari.

Tajribalar nazariyasi va amaliyoti fanini, o'qitish metodikasining vujudga kelishi va rivojlanishi, fanning jadal taraqqiy etishi va uning jamiyat hayotiga ta'siri bilan bog'liqdir. Jamiyatning moddiy va madaniy boyib borishi jarayonida ta'lim

berish ham takomillashib boradi. Fan-texnikaning jadal qadamlar bilan rivojlanishi, ta'lim jarayonida ham yangi muammolarni vujudga kelishiga sabab bo'ladi. Barcha o'qitish metodlari umumiy o'qitish tajribalar nazariyasi va amalyotiga asoslanadi. U yoki bu fanni o'qitish metodikasi faninig mazmunini, maqsad va vazifasini aks ettiradi. Bu fanning tadqiqot va o'rganish predmeti jamiyat oldida to'rgan asosiy vazifani hal etadi va uchta funksiyani: tajribalar nazariyasini mukammal o'zlashtirish asosida ularning rivojlanishini ta'minlashga va amalyotga qo'llashga xizmat qiladi.

Tajribalar nazariyasi va amaliyoti fanini, o'qitish metodikasining vazifalari:

Ta'limiy funksiya – ta'lim oluvchilarni fanning asoslarini egallash va olgan bilimlarini hayotga qo'llay olish ko'nikmasini ta'minlaydi.

Rivojlanish funksiyasi – ta'lim oluvchilarning bilish qobiliyatini o'stirishni, mustaqil bilim olish ko'nikmasini shakllantirishni, kun sayin o'sib borayotgan axborotlar va kommunikatsion texnologiyalari orasida muhimini ajratib olib bilish qobiliyatini hosil qilishni ta'minlaydi.

Tajribalar nazariyasi va amalyotni uzviy bog'liqligi va hamma vaqt birligidan kelib chiqadi. Fanni o'qitish jarayonida magistrlar, ilmiy izlanish olib boradiganlar zamonaviy pedagogik va kommunikatsion texnologiyalar asosida ilmiy g'oyani amaliyotga qo'llash tajribasini o'rganadilar.

O'qituvchi o'z predmetini o'qitish orqali mutaxassislikni chuqur egallash yuqori malakali g'oyaviy yetuk ilmiy dunyoqarash mukammal shakllangan nazariy bilimlarini puxta o'zlashtirgan, ma'naviy dunyoqarashini to'g'ri shakllantirishda katta hissa qo'shadi. Ta'lim oluvchilarning dunyoqarashini to'g'ri tarkib topishiga g'oyaviy jarayonni taxlil qiladigan kamolotiga o'z hissasini qo'shadi.

Fanni o'qitish jarayoni o'qituvchi bilan ta'lim oluvchi o'rtasidagi o'zaro o'zviy bog'liq va izchil ketma – ketlik asosida chuqur fikrlash asosida ularning ongida ilmiy – amaliy dunyoqarashni shakllantirishdan olingan bilimlarini hayotda qo'llay olish ko'nikmasini hosil qilishdan, qo'zatuvchanlik, mustaqil ijodiy fikrlash qobiliyatini rivojlantirishdan, g'oyaviy-ahloqiy kamolotga yo'llashdan va umumiy mehnat ko'nikmasini hosil qilishdan iborat.

Shuningdek:

- Tajribalar nazaryasi va amaliyoti ta'limini maqsadini asoslash;
- Fanning mazmuni va tuzilishini aniqlash hamda tizimli takomillashtirib borish;
- O'qitishning ilmiy tadqiqotlar olib borish jarayonidagi samarali uslublarni ishlab chiqarish va uni amalda sinab ko'rish hamda o'qitish jarayoniga singdirish;
- Zamonaviy o'quv texnika vositalari, axborot kommunikatsiyalarni va pedagogik texnologiyalarni o'quv jarayoniga keng qo'llash;
- Zamonaviy innovatsion o'quv mashg'ulotlarini tashkil etish;

Bu vazifalardan tajribalar nazariyasini o'qitish metodikasi, o'qitish nazariyasini takomillashtirilishi uning muhim qonuniyatlarini tadqiqot etishi, ilmiy asoslarini ta'lim oluvchilarda shakillantirish yo'llarini, ta'lim jarayonida ta'lim oluvchilarni ilmiy – tadqiqot yo'llashini samarali usullarini izlash bilan shug'ullanadi deb tushunmoq kerak. Boshqacha aytganda ta'lim berish jarayonida, ta'lim oluvchilarning bilim olishi, ilmiy izlanishlar bilan shug'ullanishlariga intilishini ta'minlash vositalari, yo'llari va qonuniyatlarini tadqiq etuvchi fandır. "Tajribalar nazaryasi va amaliyoti," fani klassik va hozirgi zamon pedagogikasi va kommunikatsion texnologiyalari, ilmiy izlanishlarga kirishishning asosiy xususiyatlarini o'zida mujassamlashtirish bilan bir qatorda fanining nazariy va eksperimental metodlaridan ham keng foydalanadi. Lekin shuni ham aytish lozimki, fanlarning nazariy va eksperimental metodlaridan ham keng foydalanadi. Bu fanni o'qitish metodikasi fan sifatida birqator kamchiliklarga yo'l quyib kelgan:

1. Tajribalar nazaryasi va amaliyoti ta'limida u yoki bu metodni qo'llash bilan ta'lim oluvchilar bilim sifati orasidagi miqdoriy bog'lanishni aniqlagan emas.

Albatta bunday bog'lanish qonuniyati bo'lishi aniq tadqiqotlar asosida qonuniyatlarini ochish, asoslash va aniq ifodalash asosiy maqsadi bo'lmog'i zarur.

Bunga sabab tajribalar nazariyasiga doir o'zlashtirish psixologiyasini yetarlicha tadqiq etilmaganligidir.

2. Tajribalar nazariyasi va amaliyoti tadqiqotlari bilan yaxshi aloqa o'rnatilmagan. Tajribalar nazariyasi va amaliyotini texnika fanlari, statistik

matematika, estetik nazariyasi pedagogika, psixologiya va fizika qonunlarini yaxshi bilgan holda ijtimoiy sharoit va hayotiy bilimlar bilan bog'lab dars bera olgan kishinigina metodik mahorat egasi deb qarash kerak.

3. Tajribalar nazariyasi va amaliyoti fani bilan bir qatorda umumiy xossalari va qonunlari haqidagi fandır. U faqatgina o'zi kashf etgan energetika va tabiat qonunlarini o'qitishni o'z oldiga maqsad qilib qo'ymadi, balki ilmiy tadqiqotlar olib borishga doir o'z o'rganish obyekti va tadqiqot metodlari bor. Demak, tabiatni ilmiy bilish bilan, o'qib o'rganish o'rtasida katta farq mavjud. Xususan, energetika fanlari kun sayin ravnaq topib bormoqda. Masalan: asrning 70 yillarida har kuni o'rta hisobda uchtdan kashfiyot yaratilgan, lekin shu kashfiyotlarning kichik bir qismigina amalyot tizimida o'z aksini topishi mumkin xolos. Shu beriladigan qismi nimadan iborat bo'lishi kerak va uni ta'lim oluvchining xususiyatiga qarab qanday bayon etish lozim berilayotgan bilimning tadqiqotlarning ta'lim tizimida qanchalik hissasi bo'ladi kabi muammoni tadqiqotlar nazariyasini o'qitish metodikasi hal etadi. Demak tajribalar nazariyasi fanini chuqur tahlil qilish asosida o'qitish uchun lozim bo'lgan material tanlanadi va uni ta'lim oluvchida shakllantirish uslubi tanlanadi. O'tgan asrning 60 yillarining oxiri 70 yillarning boshida energetik olimlar kursining mazmunini hozirgi zamon axborot kommunikatsion texnologiyalar asosida oliygohlarda magistrlar o'zlari tanlagan yo'nalishlariga doir g'oyalar, qonunlarni, fanlarni chuqur tahlil qilish asosida vujudga keldi.

Tajribalar nazariyasi va amaliyoti fani yuqorida nomlari keltirilgan fanlardan tashqari texnika va iqtisodiyot fanlari bilan ham o'zviy bog'liqdir.

Tajribalar nazariyasi va amaliyoti fanini o'qitishni ta'minlash, ta'lim oluvchilarning fikrlash qobiliyatini rivojlantirish, ilmiy tushunchalarni chuqur egallash va dunyoqarashini shakllantirish, o'qitish metodlari, o'quv mashg'ulotlarining shakllari, masalalar yechish metodikasi, amaliy mashg'ulotlar.

Sanoat energetikasi mashg'ulotlari va shu kabilar kiradi.

Tajribalar nazariyasi va amaliyoti fanida o'tilgan mavzular va ularning ketma – ketligi, tushunchalarini shakllantirish usullari, nazariy va amaliy bilimlarning

mazmunini yoritishga doir eksperimentlar va boshqa o'quv vositalarini qo'llash va shu kabilar o'rganiladi.

Tajribalar nazaryasi va amaliyoti fanini o'qitish metodlari

Tajribalar nazaryasi va amaliyoti fani ilmiy tadqiqotlar o'tkazishning metodologik konsepsiyasiga asoslanadi. Ilmiy, ilmiy nazariy, amaliy va pedagogik tadqiqotlar asosida xulosalar chiqaradi va o'quv-tarbiya jarayonni takomillashtirishga bag'ishlangan amaliy tavsifnomalar beradi.

Tajribalar nazariyasi va amaliyoti murakkab, shu bilan qatorda qiziqarli fandır. Uning u yoki bu tomonini hisobga olmay va tadqiqot metodlaridan foydalanmay turib, tajribalar nazariyasiga doir tushuncha, qonuniyat va hodisalarni ta'lim oluvchilar ongida shakillantirish qiyin kechadi.

Tajribalar nazariyasi va amaliyotidan ta'lim va tarbiya berish jarayonida, ta'lim oluvchilar ham fiziologik, aqliy va psixologik tomondan o'zgarib boradi. Demak ta'lim oluvchining aqliy va psixologik o'zgarishlarini ham hisobga olib borish shart. Ilmiy tadqiqotlar jarayonida quyidagi savollarga javob izlanishi kerak.

- Tajribalar nazariyasi va amaliyoti nima?
- Nimani o'qitish kerak?
- Qanday o'qitish kerak?

O'qitish jarayonida ta'lim oluvchining ilmiy dunyoqarashini shakillantirishning qanday samarali yo'llari va imkoniyatlari bor samarali bo'lishiga imkon beradi?

Ta'lim oluvchi tajribalar nazariyasini qanday o'qimoqda?

O'qitish tizimida uning yana qanday samarali uslublari bor?

Zamonaviy axborot texnologiyalari va pedagogik texnologiyalardan foydalanish jarayonini takomillashtirish.

U yoki bu fanni o'qitish jamiyatning taraqqiyot darajasi, ijtimoiy sharoitlar, g'oyaviy ilmiy va amaliy qarashlari bilan belgilanadi. Ilmiy – texnika taraqqiyotining jadallashib borishi va unda tajribalar nazariyasi va amaliyotining tutgan o'rnini bu fanni qonuniyatlari va tushunchalarini sinchiklab o'rganishni taqazo etmoqda.

Ma'lumotlarni ilmiy tadqiqot va izlanishga doir o'qitish va tarbiyalash umumiy maqsadi fan taraqqiyotiga asoslangan holda o'quv predmetining mazmuni va tuzilishi bilan belgilanadi. Fan va jamiyat taraqqiyoti o'zluksiz rivojlanib borishi bilan sanoat issiqlik energetikadagi samaradorlik – ko'rsatgichlarning mazmuni va tuzilishi ham, o'qitish uslublari ham takomillashib borishi lozim.

Demak o'qitish uslublarini, axborot kommunikatsiyalar, kompyuter texnologiyalari pedagogikaning, psixologiyaning so'ngi yutuqlarini, zamonaviy texnika va boshqa o'quv vositalaridan keng foydalanib takomillashtirish zarur.

Har qanday o'quv predmeti singari tajribalar nazariyasi va amaliyoti fanini o'qitishda magistr talabalarni insonparvarlik, ijodkorlik, izlanishlarini to'g'ri tushunish, mexnatsevarlik va shu kabi xususiyatlarni shakillantirishga ham o'z-hissasini qo'shadi. Yuqorida aytilganlarning hal etish darajasi, fanning O'z.FA ilmiy – tadqiqot institutlarining ilmiy xodimlari, olimlar va sanoat issiqlik energetikasi doirasidagi muammolar tadqiqotchilar tomonidan o'rganiladi va hal etish darajasi aniqlanadi.

Tajribalar nazariyasi va amaliyoti fanining boshqa predmetlardan farq qiladigan tomonlaridan biri eksperimentdan keng foydalanishdir. Fanning issiqlik texnika muxandislik psixologiyasi va iqtisodiyotning tezkorlik bilan rivojlanishi ham eksperimentni takomillashtirib borishiga olib keladi.

Amaliy metod adabiyotlarda mazmunan tadqiq etish metodi deb yuritiladi.

Mazmunan tadqiq etish metodi deb – faktlarga bevosita murojaat etishni talab etadigan, kuzatish va tajriba natijalariga asoslanib, tahlil va sintez qilish yo'li bilan nazariy xulosalar chiqadigan uslubni tushunmoq kerak. Ilmiy izlanishlarni mazmunan tadqiq etish metodlariga, tajribalarni ko'zatish, nazariy va amaliy tadqiqotlarni o'rganish, muxandislikka doir eksperiment va ilmiy izlanishlarni anketalash kiradi.

Muhandislikka doir ko'zatish, tadqiqotchiga faktlar to'plab, tajribalar nazariyasi jarayonining o'ziga xos xususiyatlari haqidagi gipotezasini ilgari surish imkonini beradi. Magistr ta'lim oluvchilar o'quv ilmiy laboratoriya ishlari va tajribalarini bajarilishi, masalalar yechishi va shu kabi faoliyatlari, kuzatishlar,

tushuncha, qonuniyat yoki hodisalarni ta'lim oluvchi ongiga etkazish uslublari, o'quv, amaliy yoki boshqa ko'nikmalarni hosil qilish va shu kabilar ko'zatish obyekti bo'lib xizmat qilishi mumkin, shuningdek tadqiqot natijalarini taxlil qilishni o'rganish bilan shug'ullanadi.

Har qanday ilmiy ko'zatish tadqiqotchi tomonidan qo'yilgan savolga, muammoga u yoki bu darajada javob berishi kerak. Shuning uchun u aniq maqsad va rejaga ega bo'lishi kerak.

Ma'lum rejalashtirilgan muhandislik tajribalarini o'tkazish maqsadida zamonaviy kerakli qurilmalar, asbob uskunalarini tayyorlash va sinovdan o'tkazish, muhandislik tadqiqotlariga doir o'tkaziladigan eksperiment eng qiyin va shu bilan bir qatorda muhim tadqiqot metodidir.

Dastlab tadqiqot nazariyasini maqsadi va vazifasini qarab, maxsus ilmiy adabiyotlar bilan tanishish aniq natijalar olinib, eksperimental va an'anaviy usul natijalari solishtiriladi.

Eksperimentning boshqa tadqiqot metodlardan farqlantiruvchi boshqa xususiyatlarini o'ziga xosligini ham belgilaydi:

Tadqiqotchi gipotezasi va vazifasiga ko'ra o'qitish jarayoniga, xususan o'quv materialining mazmuni va tuzilishiga, o'qitish metodiga, o'quv vositasiga va shu kabi muxim o'zgarishlar kiritadi.

An'anaviy tadqiqot uslublaridan ko'ra yaxshiroq zamonaviy kompyuter texnikalaridan foydalanish jarayoning turli tomonlarini va ular orasidagi bog'lanishni ochadigan imkoniyatlar yaratish va shu asosida samarali metod va vositalarni aniqlaydi.

Axborot kommunikatsiya va zamonaviy texnologiyalari o'quv vositasi yoki uslubining o'quv jarayonini qanchalik samarador etganligini sifat va miqdoriy jihatdan aniqlaydi.

Yuqorida keltirilganlar nazariy tadqiqotlar asosida eksperimentga xosdir.

Tajribalar nazariyasi asosida izlanishlar olib borishga doir eksperimentlarni takomillashtirish, tushunchalarini ta'lim oluvchilar ongida shakillantirish, ta'lim oluvchilar bilimini tekshirish, o'qitish jarayoning samarali uslublarini tadqiq etish,

o'qitish jarayonida tarbiya berish va shu kabilar ustida eksperiment o'tkazilishi mumkin.

Hozirgi kunda eksperimental tadqiqotlar natijalarini qiyoslash shakli tajribalar nazariyasi va amaliyoti fanini asosidir. Bunda eksperimentlar ma'lum qonuniyatlar asosida tadqiqotchi tavsiyasi asosida zamonaviy uslub bilan o'qitiladi.

Tadqiqot nazariyasi va amaliyoti fani quyidagi bosqichda olib boriladi.

Bilim, ko'nikma va malakalari bir xil bo'lmagan talablar bilan ishlash, o'qitish. Bunda eksperiment o'tkazadigan tadqiqotchi tavsiyanomasi asosida, ma'naviy uslubda o'qitiladi.

Tadqiqot maqsadi va vazifasiga ko'ra ta'lim oluvchilar bilimi, ko'nikma va malakalari aniqlanadi.

Magistr talabalarni izlanishga intilishi, qiziqishi eksperimental tadqiqotlarga ko'nikma va malakasi orasidagi tafovut baholanadi.

Eksperiment samaradorlik darajasi tahlil qilinadi. Bunda natijaga boshqa ta'sir etuvchi sabablar ham hisobga olinadi.

Tajribalar nazariyasining tadqiqot metodlari tadqiqotlar o'tkazilishini adabiyotlarda, buni yo'nalishlar metod ham deb yuritiladi. Keyingi yillarda tajriba nazariyasi jarayonlarni miqdoriy modellash ta'lim oluvchilar bilimini va o'quv eksperimentini qo'yishga to'la yondoshish kabi uslublar katta ahamiyat kasb etmoqda.

Butun bir tajriba nazariyasi va amaliyoti fani doirasida olib boriladigan izlanishlarni tadqiq etilishi lozim bo'lgan bo'lagini ajratib olib, unga tegishli gepotizani berishda va eksprementning g'oyasini aniqlashda nazariy tahlil muhim ahamiyatga ega. Haqiqatdan ham tajriba nazariyasi va amaliyot fanini o'qitishda yangilikni kiritish, avvalo nazariy jihatdan tafakkur etishdir.

Lekin amaliy metodlarga to'liq asoslangan taqdirdagina nazariy metod to'la ma'noga ega bo'ladi. O'quv matnlari va ta'lim oluvchilar bilimini mantiqiy tuzilishini tahlil etish, o'qitishning ayrim sohalariga statistik baho berish, o'quv matnlarini tahlil etish kabilar nazariy tahlil qurolidir.

Tajribalar nazariyasi asosida izlanishga intiluvchi talabalarni sistematik bilimlar bilan qurollantirish.

Tajribalar nazariyasi va amaliyoti fani bilimlar rivojlanishi davomida nazariya va amalyotning dialektik bog'liqligini ochib berish, faktlar gipoteza –abstrakt modellar, qonunlar, prinsiplar, nazariy xulosalar, tajribada tekshirish va nazariyani amalda tekshirish.

- Fanning xalq xo'jaligi va turmushda qo'llanilishi prinsiplarini tushuntirish, tajribalar nazariyasi va amaliyoti fani hodisa va qonunlardan foydalanish, jismlar va maydonlarning eksperimental va nazariy tekshirish modellarini kerakli natijalarga erishishi.

- Tajribalar nazariyasi va amaliyoti fani innovatsion g'oyalar metadalogiyasini chuqur bilish, shuningdek nazariyani amaliyotda qo'llay olish bilimi va mahorati asosida shaxsning xususiyatini shakllantirish kabi vazifalarni bajaradi.

2.4. Tadqiqot sifatiga qo'yiladigan talablar, nostatsionar va statsionar issiqlik o'tkazuvchanlik.

Tajribalarning ko'rsatishicha temperatura gradiyenti noldan farq qilgan muhitda issiqlik oqimi hosil bo'ladi. Bu hol issiqlikning miqdori bilan temperatura gradiyenti o'rtasida bog'lanish bor deb hisoblashga imkon beradi. Furrye gipotezasi ham mana shu g'oyaga asoslangan izotermik yuzadagi maydoncha dF orqali o'tadigan issiqlik miqdori temperatura gradiyentiga proporsional bo'ladi:

$$\vec{q} = -\lambda \text{ grad}t \quad (2.4.1)$$

bu yerda \vec{q} – issiqlik oqimining vektori; u izotermik yuzaning birlik maydoni orqali birlik vaqt ichida o'tgan issiqlik miqdorini belgilaydi; λ - proporsionallik koeffitsiyenti; u jismning issiqlik o'tkazuvchanlik xususiyatini xarakterlaydi va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti deb yuritiladi. Manfiy ishora \vec{q} vektorining $\text{grad}t$ bilan bitta to'g'ri chiziqda yotganligini, lekin qarama-qarshi tomonga (temperaturaning pasayish tomoniga) yo'nalganligini ko'rsatadi. dF maydoncha orqali $d\tau$ vaqt ichida o'tadigan to'la issiqlik oqimi

$$dQ = -\lambda \frac{dt}{dx} \cdot dF \cdot d\tau [kj] \quad (2.4.2)$$

yoki qalinligi δ va maydoni F ga teng devorcha orqali bir soat ichida o'tadigan issiqlik miqdori

$$Q = -\lambda F \frac{t_1 - t_2}{\delta} [kj] \quad (2.4.3)$$

(2.4.3) tenglamadan λ ning fizik ma'nosi

$$|\lambda| = \left| \frac{Q \cdot \delta}{F(t_1 - t_2)} \right| = \frac{|kj \cdot m|}{m^2 \cdot ^\circ S} = \left[\frac{kj}{m \cdot grad} \right] \quad (2.4.4)$$

Demak issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti yuzasi 1 m^2 , qalinligi 1 m bo'lgan devorchadan uning sirtidagi temperatura farqi $1 \text{ }^\circ\text{S}$ bo'lganda bir soat ichida o'tadigan issiqlik miqdorini bildiradi.

Issiqlik uzatish tushunchasi beshta asosiy issiqlik fizikaviy kattalik bilan xarakterlanadi.

1. Issiqlik oqimi- (Q) deb vaqt birligida ma'lum sirdan o'tayotgan Q_0 issiqlik miqdoriga aytiladi. Va quyidagicha ifodalanadi:

$$Q = \frac{Q_0}{\tau}, \left(\frac{j}{s} = Vt \right) \quad (2.4.5)$$

teng bo'ladi. Issiqlik oqimi zichligi (q) yoki solishtirma oqim (ayrim vaqtlarda issiqlik zo'riqishi deb ham ataladi) deb, vaqt birligida yuza birligidan o'tadigan issiqlik miqdoriga aytiladi, va ifodalanadi.

$$q = \frac{Q_0}{F \cdot \tau}, \left[\frac{j}{m^2 \cdot s} = \frac{Vt}{m^2} \right] \quad (2.4.6)$$

teng bo'ladi. Bundan tashqari issiqlik oqimini zichligi $\frac{kVt}{m^2}$, $\frac{MKVt}{m^2}$ larda o'lchanadi.

2. Harorat maydoni. Fazo nuqtalarining (yoki jism nuqtalarining) haroratlari majmuiga haroratlar maydoni deyiladi.

Agar haroratni t deb belgilasak, bu t nuqtaning turish joyini ifodalaydigan koordinatalar X, Y, Z va vaqt τ ga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun

$$t = f(X, Y, Z, \tau) \quad (2.4.7)$$

ko'rinishida ifodalanadi. Bu tenglama uch o'lchamli maydon haroratini ifodalaydi (2.4.7) tenglamada – vaqt va koordinatalarga bog'liq bo'lgan harorat maydoniga nostatsionar harorat maydoni deyiladi. Bundan τ ga bog'liq bo'lgan hol

nostatsionar jarayonlar deyiladi. Agar t harorat o'zgarishi τ ga bog'liq bo'lmasa, statsionar maydon va statsionar jarayonlar deyiladi. Bu holda (2.4.7) tenglama

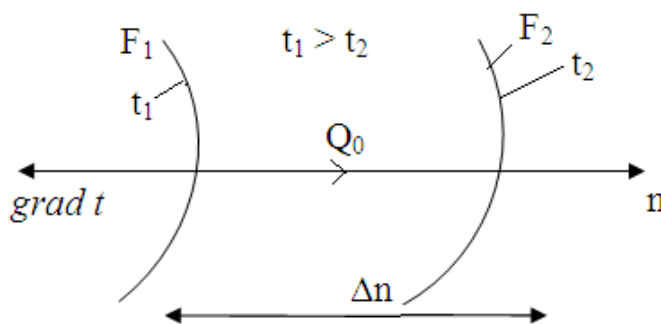
$$t=f(x, y, z,) \quad (2.4.8)$$

ko'rinishida ifodalanadi va uch o'lchamli statsionar harorat maydonini xarakterlaydi.

Agar harorat maydon faqat tekis sirt uchun aniqlanishi lozim bo'lsa, bunday holni ikki o'lchamli maydon deyiladi va temperatura maydon nostatsionar holat uchun $t=f(x,y,\tau)$, va $t=f(x,y)$ statsionar holatga mos ravishda ifodalanadi. Nihoyat agar t faqat bitta yo'nalishda o'zgarsa bir o'lchamli harorat maydon deyiladi va temperatura maydoni nostatsionar va statsionar holatlarda mos $t = f(x, \tau)$ va $t=f(x)$ shaklda ifodalanadi.

3. Izoterma chiziqlari: Jismning bir xil temperaturali nuqtalarini tutashtiruvchi chiziqqa izoterma chizig'i deyiladi.

Agar jism sirtining hamma nuqtalarining temperaturasi bir xil qiymatga ega bo'lsa izotermik sirtlar deb aytiladi. Izotermik sirtlar tekislik, silindrik sirt, shar sirti, ellipsoid sirt va boshqa shakllarda bo'lishi mumkin. Agar F_1, F_2 izotermik sirtlar temperaturali t_1 va t_2 hamda $t_2 > t_1$, bo'lsa, termodinamikaning ikkinchi qonuniga asosan Q issiqlik miqdori F_2 dan F_1 ga o'tadi. Bu issiqlik miqdori Q sirtlar temperaturalarining farqi $\Delta t = t_1 > t_2$ va sirtlar orasidagi Δn masofaga bog'liq bo'ladi. (2.4.1-rasmda sirtlarga o'tkazilgan normal)



2.4.1-rasm. Temperatura maydonini izoterma chiziqlari.

Boshqacha aytganda Δt ortganida va Δn kamayganda, ya'ni $\frac{\Delta t}{\Delta n}$ ortganida Q ning miqdori ortadi.

4. Harorat gradiyenti. Izotermik sirtlarga o'tkazilgan normal yo'nalishida sirtlar orasidagi masofa bir birlikka o'zgarganda temperaturani qanchaga o'zgarishini ifodalaydigan kattalikka harorat gradiyenti deb aytiladi.

Ta'rifdan kelib chiqadiki, temperatura gradiyenti $\frac{\Delta t}{\Delta n}$ ifodaning $\Delta n \rightarrow 0$ dagi limitiga teng, ya'ni

$$\text{grad}t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{\partial t}{\partial n} \quad (2.4.9)$$

Bundan gra dan yo'nalishdagi temperatura gradiyenti deb ataladi va temperaturadan n bo'yicha olingan hosilaga teng degan xulosa chiqadi. Demak, temperatura gradiyenti vektordir va temperaturaning ortishi tomon yo'nalgan. 2.4.1-rasmda F_2 dan F_1 ga n bo'yicha yo'nalgan Q_1 esa F_1 dan F_2 ga yo'nalgan.

Demak issiqlik oqimi va temperatura gradiyenti vektorlari bir-biriga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Temperatura gradiyenti uch o'lchamli maydonlarda

$$\text{grad}t_n = \frac{\partial t}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial t}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial t}{\partial z} \vec{k} \quad (2.4.10)$$

ko'rinishda ifodalanadi. Ichki o'lchamli maydon uchun

$$\text{grad}t_n = \frac{\partial t}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial t}{\partial y} \vec{j} \quad (2.4.11)$$

ko'rinishida va bir o'lchamli maydon uchun esa

$$\text{grad}t_x = \frac{\partial t}{\partial x} \vec{i} \quad (2.4.12)$$

shaklida ifodalanadi.

Bunda $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ birlik vektorlaridir.

Nostansionar holatda issiqlik o'tkazuvchanlik. Furrye qonuni. Issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan issiqlik ko'chirish hajmi bo'yicha temperatura taqsimlanishiga bog'liq bo'ladi. Vaqt birligida jismning barcha nuqtalarida temperaturaning bir xil bo'lishiga temperatura maydoni deyiladi. Yuqorida aytganimizdek jismning temperatura taqsimlanishi vaqt birligida uch x, y, z koordinatalarning funksiyasi sifatida (2.4.7) formula bilan ifodalanadi. Agar jismning temperaturasi vaqt birligida o'zgarmasa: $t=f(\tau)$, bunday holat statsionar holat yoki jismning temperatura maydoni statsionar deyiladi.

Agar jismning temperaturalarini aniqlanadigan nuqtalar vaqt birligida o'zgarib boradigan bo'lsa, jismning bunday holatiga $t=f(\tau)$ nostatsionar holatda yoki bunday temperatura maydoniga nostatsionar temperatura maydoni deyiladi.

Agar jismning temperaturasi izotermik yuzadan temperatura o'sishiga tomon yo'nalishda bo'lsa, jismning bunday temperatura o'zgarishiga gradiyent temperatura deyiladi. Furrye qonuniga asosan issiqlik uzatish uchun beriladigan issiqlik oqimining zichligi temperatura gradiyentiga proporsional bo'ladi.

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} \quad (2.4.13)$$

bu yerda λ - issiqlik uzatish koeffitsiyenti λ ning o'lchov birligi (Vt/m.K), minus ishora esa issiqlik oqimining zichligi q vektorining yo'nalishi qarama-qarshiligini bildiradi. Issiqlik oqimining zichligi q ning n - normal yo'nalishidagi proyeksiyasi:

$$q_n = q \cos \varphi = \lambda \text{grad}t \cos \varphi \quad (2.4.14)$$

tenglama bilan aniqlanadi.

Bunda

$$\lambda \text{grad}t \cos \varphi = \frac{\partial t}{\partial n} \text{ yoki } q_n = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} \quad (2.4.15)$$

ko'rinishida ifodalash mumkin. Shuningdek dF yuzali jismning beradigan issiqlik oqimi δQ_n , n -normal yo'nalishda ya'ni yuzaga perpendikulyar yo'nalgan bo'lsa:

$$\delta Q_n = q_n dF = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) \partial F \quad (2.4.16)$$

Ko'rinishida ifodalanadi. (4.16) ni integrallasak

$$Q = \int_F \delta Q_n = -\int_F \lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) dF \quad (2.4.17)$$

ga teng bo'ladi.

(2.4.13) formula, Furrye qonunining matematik ifodalanishida jismning issiqlik o'tkazuvchanlik formulasi quyidagicha ifodalanadi.

$$\lambda = \frac{q}{\text{grad}t} \quad (2.4.18)$$

Gazlar molekulyar kinetik nazariyasiga asosan gazlarda issiqlik o'tkazuvchanlik, molekularning intensiv harakat tezligiga bog'liq bo'ladi. Temperatura ko'tarilishi bilan gaz molekularining issiqlik harakat tezligi ortadi.

Eng yaxshi issiqlik o'tkazuvchi gaz bu vodoroddur. Uy temperaturasida vodorodning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti $\lambda \approx 0,2 \text{ Vt}/(M.K)$. Og'ir gazlarda esa issiqlik o'tkazuvchanlik kichik bo'ladi. Uglerod ikki oksidning issiqlik o'tkazuvchanligi $\lambda \approx 0,02 \text{ Vt}/(M.K)$ havoniki $\lambda \approx 0,025 \text{ Vt}/(M.K)$ ga teng. Metallarda erkin elektronlarning issiqlik harakati tufayli issiqlik o'tkazuvchanligi gazlardagiga nisbatan ancha yuqori bo'ladi.

Eng yaxshi issiqlik o'tkazuvchi metallarga kumush va mis kiradi.

- 1) $\lambda \approx 400 \text{ Vt}/(M.K)$ kumush uchun
- 2) $\lambda = 0,02 \div 3 \text{ Vt}/(m \cdot k)$ Qurilish materiallari uchun
- 3) $\lambda \approx 50 \text{ Vt}/(M.K)$ mis uchun.
- 4) Kichik $\lambda = 0,06 \text{ Vt}/(m \cdot k)$
- 5) Quruq tuproq uchun $\lambda = 0,1385 \text{ Vt}$
- 6) Nam tuproq uchun $\lambda = 0,658 \text{ Vt}$

Ammo metallar aralashmasidan iborat jismlarga issiqlik o'tkazuvchanlik sof metallarga nisbatan kichik bo'ladi. Shuningdek metall bo'lmagan qattiq jismlarni ham issiqlik o'tkazuvchanligi kichik bo'lib, $\lambda \approx 10 \text{ Vt}/(M.K)$ atrofida bo'ladi. Paxta qoplamali qatlamlarning issiqlik o'tkazuvchanligi $\lambda \approx 0,25 \text{ Vt}/(M.K)$ bo'ladi.

Pishirilmagan g'ishtning issiqlik o'tkazuvchanligi $\lambda \approx 1 \text{ Vt}/(M.K)$ ga yaqin bo'ladi.

Statsionar holatda issiqlik o'tkazuvchanlik. Qalinligi δ va tomonlaridagi temperaturalar t_1 va t_2 bo'lgan yassi devor ($t_1 > t_2$) orqali issiqlik oqimini qaraymiz, temperatura yassi devor qalinligi bo'yicha o'zgaradi. Bu holda grad $x = dt/dx$ tenglik o'rinli bo'lib, yassi devor orqali temperaturani statsionar rejimda taqsimlanishi ifodalanadi.

(2.4.13) Formulani yassi devor orqali statsionar jarayonda bo'ladigan issiqlik o'tkazuvchanlik uchun ifodalanadi.

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad (2.4.19)$$

Yassi devor orqali statsionar rejimda q- issiqlik oqimi zichligini taqsimlanishi o'zgarmasdan saqlanadi. Bunda yassi devorning issiqlik o'tkazuvchanligi λ quyidagicha ifodalanadi.

$$\vec{t} = 0,5(t_1 + t_2) \quad (2.4.20)$$

Bu holda t temperatura:

$$-\frac{q}{\lambda} = \frac{dt}{dx} t g \gamma = const \quad (2.4.21)$$

X koordinataga chiziqli bog'langan bo'ladi. (4.20) formulani chap tomondagi \vec{t} ni t_1 va t_2 bo'yicha va tomonini 0 dan δ gacha integrallaymiz.

$$\int_{t_1}^{t_2} dt = -\frac{q}{\lambda} \int_0^{\delta} dx \quad (2.4.22)$$

hamda q- issiqlik oqimini zichligini hisoblaymiz:

$$q = (t_1 - t_2) \frac{\lambda}{\delta} \quad (2.4.23)$$

yoki

$$Q = qF = (t_1 - t_2) \frac{\lambda F}{\delta} \quad (2.4.24)$$

tenglik olinadi. Bu formula yassi devor orqali uzatiladigan issiqlik miqdorini hisoblashda asosiy formuladir.

Bu yerda $\frac{\lambda F}{\delta}$ - yassi devorning statsionar jarayonda issiqlik o'tkazuvchanligi deyiladi.

Bu kattalikning teskari miqdori esa $\frac{\lambda F}{\delta} - R_{\lambda} = \frac{\delta}{\lambda} \left[\frac{K}{Vt} \right]$ - termik qarshilik deyiladi va R_{λ} bilan belgilanadi. Agar bu kattalikni e'tiborga olsak (4.24), formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$Q = (t_1 - t_2) / R_{\lambda} \quad (2.4.25)$$

va bu elektrotexnikadagi Om qonuniga o'xshaydi.

2.5. Binoning to'siq konstruksiyalari orqali issiqlik uzatish.

Biror harakatchan muhitdan ikkinchi muhitga, ya'ni ularni ajratib turuvchi bir jinsli bir qatlamli yoki ko'p qatlamli har qanday shakldagi qattiq devor orqali issiqlik uzatishga – issiqlik o'tkazuvchanlik deyiladi. Issiqlik o'tkazuvchanlik harakatchan issiq muhitdan devorga issiqlik berish, devor ichida issiqlik o'tkazuvchanlik va

devordan harakatchan sovuq muhitga issiqlik uzatishlardan iborat. Bir jinsli bir qatlamli yassi devorlar orqali issiqlik uzatishlarni ko‘rib chiqaylik. Yassi bir jinsli devor δ qalinlikka ega bo‘lsin. Devorning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ , ichki t_u va tashqi t_t havo temperaturalari, devorning ichki α_1 va tashqi α_2 yuzalarning issiqlik berish koeffitsiyentlari berilgan.

$t_u, t_t, \alpha_1, \alpha_2$ kattaliklarni doimiy va sirt bo‘ylab o‘zgarmaydi deb hisoblaymiz. Bu esa muhitda va devorda temperatura o‘zgarishi faqat devorning perpendikulyar tekisligida sodir bo‘ladi deb qarash imkonini beradi. Berilgan sharoitda issiq muhitdan sovuq muhitga issiqlik oqimini va devor sirtlaridagi temperaturalarini aniqlash zarur. Issiq muhitdan devorga issiqlik oqimining zichligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$q = \alpha_1 (t_i - t_{c1}) \quad (2.5.1)$$

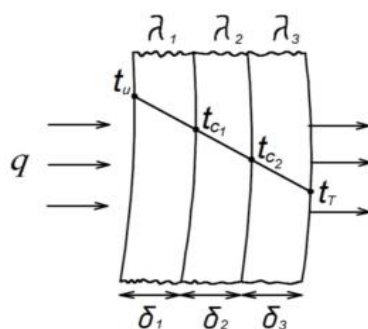
Statsionar issiqlik rejimida, shu issiqlik oqimi qattiq devordan issiqlik, issilik o‘tkazuvchanlik yo‘li bilan o‘tadi:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{c1} - t_{c2}) \quad (2.5.2)$$

Bu issiqlik oqimi devorning ikkinchi sirtidan sovuq muhitga issiqlik berishi orqali uzatiladi:

$$q = \alpha_2 (t_{s2} - t_t) \quad (2.5.3)$$

(2.5.1)- (2.5.3) tenglamalarni quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin: Xususan yassi devor uch qatlamli bo‘lganda:



$$q = \frac{t_i - t_g}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \quad (2.5.4)$$

$$q = \frac{1}{\alpha_1} t_i - t_{c1}; \quad q = \frac{\delta}{\lambda} (t_{c1} - t_{c2}); \quad q = \frac{1}{\alpha_2} (t_{c2} - t_t) \quad (2.5.5)$$

(4.29) tenglamalarni hadma –had qo‘shib, quyidagicha ega bo‘lamiz:

$$q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) = t_i - t_t$$

Bundan issiqlik oqimining zichligi:

$$q = \frac{t_i - t_t}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.5.6)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.5.7)$$

deb belgilab olsak, hamda (2.5.7) ni e'tiborga olib, (2.5.6) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$q = K(t_i - t_t), \quad Vt/m^2 \quad (2.5.8)$$

Bu yerdagi "K" kattalikning o'lchami " α " ning o'lchami bilan bir xil bo'lib, issiqlik uzatuvchanlik koeffitsiyenti deyiladi. Issiqlik uzatuvchanlik koeffitsiyenti K, muhitlar orasidagi temperaturalar farqi bir gradus bo'lganda, birlik vaqt ichida devorning yuza birligi orqali bir harakatlanuvchan muhitdan boshqa bir harakatlanuvchan muhitga issiqlik uzatish intensivligini tavsiflaydi.

Issiqlik uzatuvchanlik koeffitsiyentiga teskari bo'lgan kattalikka issiqlik uzatuvchanlikning to'la termik qarshiligi deyiladi. Bir qatlamli devorning to'la termik qarshiligi quyidagicha yoziladi.

$$R = \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (2.5.9)$$

(2.5.9) dan ko'rinadiki, to'la termik qarshilik ayrim termik qarshiliklarning yig'indisidan iborat: $R_1 = 1/\alpha_1$ - issiq muhitdan devor ichki sirtiga issiqlik berishiga termik qarshiligi; $R_0 = \delta/\lambda$ - devorning issiqlik o'tkazuvchanlikka termik qarshiligi; $R_2 = 1/\alpha_2$ - devor qarshi sirtidan sovuq muhitga issiqlik berishiga termik qarshiligi.

Umumiy termik qarshilik ayrim termik qarshiliklardan iborat bo'lsa, shubhasiz ko'p qatlamli devor holida har bir qatlamning termik qarshiligini hisobga olish kerak. Agarda devor qatlamlardan iborat bo'lsa, u holda bunday devor orqali issiqlik uzatuvchanlikning to'la termik qarshiligi quyidagiga teng:

$$R = \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (2.5.10)$$

yoki

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{l=n} \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (2.5.11)$$

Bu yerdan

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{l=n} \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.5.12)$$

n- qatlamdan iborat bo'lgan devor orqali o'tadigan issiqlik oqimining zichligi quyidagiga teng:

$$q = \frac{t_B - t_H}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{l=n} \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = K(t_i - t_t) \quad (2.5.13)$$

Ko'p qatlamli devor uchun yozilgan (4.37) tenglama bir qatlamli devor uchun chiqarilgan (2.5.8) tenglamaga o'xshash. Issiqlik uzatuvchanlik koeffitsiyentlari K uchun (2.5.7) va (2.5.12) ifodalar farqlanadi. (2.5.10) va (2.5.12) tenglamalarni solishtirganda, n=1 bo'lganda, (2.5.7) munosabat (2.5.12) tenglamaning xususiy holi hisoblanadi.

Qattiq devorning F yuzasi orqali issiqlik oqimi Q, Vt, quyidagicha:

$$Q = q F = K \Delta t F \quad (2.5.14)$$

Bir jinsli devor sirtlaridagi temperaturalarini (2.5.5) tenglamalar to'plamidan aniqlash mumkin:

$$t_{d1} = t_i - q \frac{1}{\alpha_1}; t_{d2} = t_i - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} \right); \quad (2.5.15)$$

$$t_{d2} = t_t + q \frac{1}{\alpha_2}$$

(2.5.6) va (2.5.13) tenglamalarni taqqoslab ko'rilganda, birinchi tur chegaraviy shartlarda ko'p qatlamli devor orqali issiqlik uzatish, uchinchi tur chegaraviy shartlarda issiqlik uzatish umumiy holining xususiy holi bo'lib hisoblanadi. Aytilganlarga asoslanib, uchinchi tur chegaraviy shartlarda har qanday ikki 1 va fi+1 qatlamlar chegarasidagi temperaturalar quyidagi tenglama bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$t_{(1+1)} = t_v - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{l=n} \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) \quad (2.5.16)$$

Binoning o'zida temperaturaviy sharoitlarni aniqlash uchun to'siqning ichki sirti bilan ichki muhit orasidagi hamda tashqi sirti bilan tashqi orasidagi issiqlik almashish masalasini qo'shimcha qarash zarur.

Bu issiqlik almashish nurlanish va konveksiya orqali sodir bo‘ladi.

To‘siqning ichki sirtiga issiqlik berish koeffitsiyenti:

$$\alpha_1 = \alpha_{k1} + \alpha_{l1}, \quad (2.5.17)$$

bu yerda α_{k1} – konvektiv tashkil etuvchisi, α_{l1} – nurlanishning tashkil etuvchisi

Erkin konvektiv issiqlik almashish shartlari o‘xshashlik kriteriyalarining sistemalari bilan aniqlanadi:

$$Nu = C (Gr Pr)^m, \quad (2.5.18)$$

$Nu = \frac{\alpha_{n1} d_{ek}}{\lambda_v}$ – to‘siq sirtidagi issiqlik almashishini ifodalovchi, Nusselt kriteriyasi, bundan $\alpha = \frac{\bar{N}i\lambda_s}{d_e}$, $Gr = \frac{\beta\rho\Delta t d^3}{\nu_c^2}$ – zichliklar farqi hisobida havoda hosil bo‘lgan ko‘taruvchi kuchni tavsiflovchi, Gragof kriteriyasi, yoki $Pr = \frac{\nu_v}{\alpha_v}$ – Prandtl kriteriyasi, tezliklar va temperatura maydonining o‘xshashlik o‘lchovini ifodalaydi yoki $\rho_r = \frac{\eta}{\lambda/s\rho}$, ℓ - havo oqimi yo‘nalishidagi sirtning belgilovchi o‘lcham, m, λ_v – havoning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, W/(m K), g – tushish tezlanishi, m/s², β – hajmiy kengayishning temperatura koeffitsiyenti, K⁻¹, Δt – havo va sirt temperaturalarini orasidagi farq, K, ν_v – havoning kinematik yopishqoqlik koeffitsiyenti, m²/s, α_v – havoning temperatura o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m²/s.

(4.42) formuladagi S va m koeffitsiyentlar empirik yo‘l bilan aniqlanadi.

Yassi yuzalar uchun konvektiv issiqlik almashish tenglamasi kriterial ko‘rinishda quyidagicha bo‘ladi.

$$Nu = 0,135 (Gr Pr)^{1/3} \quad (2.5.19)$$

Havo uchun Pr = 0,71 hisoblab, (4.43) formula quyidagicha soddalashadi:

$$\alpha_{k1} = A_1 A_2 \sqrt[3]{\Delta t}$$

A_1 – koeffitsiyent temperaturaga bog‘liq:

$$t_{opr} = \frac{t_B - t_{c1}}{2}$$

A_2 – ning qiymatlari issiqlik beruvchi yuzaning yo‘nalishiga bog‘liq.

Nurlanishning issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\alpha_{l1} = \varepsilon_{pr} S_0 V$$

$S_0=5,7 \text{ Vt}/(\text{m}^2\text{K})$ – absolyut qora jismning nurlanish koefitsiyenti, ε_{pr} – keltirilgan nurlanish koefitsiyenti,

$$\varepsilon_{pr} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{F_v}{F_0}(\frac{1}{\varepsilon_0} - 1)}, \quad (2.5.20)$$

ε_v - qaralayotgan to'siq ichki sirtining nurlanish koefitsiyenti, ε_0 - to'siqni o'rab turuvchi ichki sirlarning nurlanish koefitsiyenti, F_v - qaralayotgan to'siq ichki sirtning yuzasi, F_0 - to'siqni o'rab turuvchi ichki sirlarning yuzasi, V – temperatura koefitsiyenti,

$$B = 0,81 + 0,01 \frac{t_0 + t_{c1}}{2},$$

t_0 - to'siqni o'rab turuvchi sirlarning o'rtacha temperaturasi. Hisoblashlarda $t_0 = t_v$ deb qabul qilinadi.

$t_{opr}, \text{ }^\circ\text{C}$	0	20	To'siq sirtining yo'nalishi	A_2
A_1	1,69	1,66	Vertikal Gorizontal issiq tomoni yuqoriga yoki	1
			sovuq tomoni pastga qaratilgan	1,3
			issiq tomoni pastga yoki	0,7
			sovuq tomoni yuqoriga qaratilgan	

To'siqning tashqi sirtidan issiqlik berish koefitsiyenti:

$$\alpha_2 = \alpha_{k2} + \alpha_{l2} \quad (2.5.21)$$

Issiqlik berishning konvektiv tashkil etuvchisi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\alpha_{k2} = 10\sqrt{v_v} \quad (2.5.22)$$

v_v - shamol oqimining tezligi, m/s.

Nurlanish orqali issiqlik berish:

$$\alpha_{l2} = \varepsilon_{pr} S_0 V, \quad \varepsilon_{pr} = \varepsilon_n \varepsilon_0 \quad (2.5.23)$$

ε_n - qaralayotgan to'siqning tashqi sirtidagi nurlanish koefitsiyenti, ε_0 - atrofdan o'rab turuvchi tashqi sirlarning nurlanish koefitsiyenti

$$B = 0,81 + 0,01 \frac{t_{c2} - t_n}{2} \quad (2.5.24)$$

Havo orqali qatlam bo'lgan holda, havo oraliqli qatlamning termik qarshiligini hisobga olish shart. Bunday holda (4.35) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{vp}} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (2.5.25)$$

Havo oraliqli qatlamning termik qarshiligi:

$$R_{vp} = 1/\alpha_{vp} \quad (2.5.26)$$

$$\alpha_{vp} = \alpha_{kvp} + \alpha_{lvp} \quad (2.5.27)$$

α_{vp} – havo oraliqli qatlamning issiqlik berish koeffitsiyenti.

Konvektiv tashkil etuvchisi:

$$q_{kvp} = A_3(t_1 - t_2)^{1/3} \quad (2.5.28)$$

t_1, t_2 – to'siqning 1 va 2 qatlam sirtlarning temperaturasi.

A_3 – koeffitsiyent to'siq sirtlarning yo'nalishiga bog'liq.

Sirtning yo'nalishi		
Gorizontaal	Qiyalik bilan	Vertikal
$A_3=1$	$A_3 = 0,85$	$A_3 = 0,7$

Nurlanishning tashkil etuvchisi:

$$\alpha_{lvp} = \varepsilon_{pr} S_0 \frac{\left| \left[\frac{T_1}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_2}{100} \right]^4 \right|}{t_1 - t_2} \quad (2.5.29)$$

$$T_1 = 273 + t_1, \quad T_2 = 273 + t_2, \quad \varepsilon_{pr} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)},$$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - 1 va 2 sirtlarning nurlanish koeffitsiyentlari.

1-misol. Qalinligi 200 mm, balandligi 2,5 m va uzunligi 2 m bo'lgan yassi beton devor tomonlaridagi temperaturalar $t_1=20^0S$, $t_2=10^0S$ ga teng. O'tadigan issiqlik oqimi Q ni aniqlang. Beton devorning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti $\lambda = 1 \text{ Vt}/(\text{m.K})$ ga teng.

$$Q = \frac{\lambda F}{\delta} \Delta t$$

Yechish: $Q = (20 + 10) \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot \frac{2}{0,2} = 750 \text{ Vt}$

2-misol. Yassi devordan o'tadigan issiqlik oqimining zichligi $q=100 \text{ Vt/m}^2$ devorning qalinligi $\delta = 20\text{mm}$ devor tomonlaridagi temperaturalar farqi $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ bo'lsa, yassi devorning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini aniqlang.

$$\text{Formula} \quad q = (t_1 - t_2) \frac{\lambda}{\delta}; \quad \lambda = \frac{q \delta}{t_1 - t_2}$$

$$\text{Yechish:} \quad \lambda = \frac{100 \cdot 0,025}{20} = 0,25 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Agar yassi devor qatlami bir nechta bo'lsa, u holda (15.21) formuladan foydalanib, ko'p qatlamli devor orqali uzatiladigan issiq oqimni hisoblash mumkin. Masalan, binoning pishirilgan g'ishtdan tayyorlangan devori va uning sirtqi sement-qum aralashmali suvoq hamda uning sirtqi buyoqlansa uch qatlam hosil qiladi. Bu uch qatlamlarning issiqlik uzatish qarshiliklarining yig'indisi umumiy issiqlik o'zatish qarshiligiga teng bo'ladi [adabiyotda keltirilgan sxemadan ko'rinib turibdiki, har bir qatlamda temperatura taqsimlanishi chiziqli, ammo umumiy qatlamga nisbatan egri qiyalikni hosil qiladi va (4.21) formuladan hisoblanadi, tenglik o'rinli bo'ladi.]

$$R_\lambda = \sum_{i=1}^n R_{\lambda i} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{F \lambda_i} \quad (2.5.30)$$

Bu formulani e'tiborga olib, (2.5.29) formulani ko'p qatlamli devor uchun quyidagicha ifodalash mumkin:

$$Q = \frac{t_1 - t_{(n+1)}}{\sum_{i=1}^n R_{\lambda i}} = \frac{t_1 - t_{(n+1)}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{F \lambda_i}} \quad (2.5.31)$$

$$tg\gamma_i = -\frac{q}{\lambda_i} = -\frac{Q}{(F \cdot \lambda_i)}$$

Tajribalar ko'rsatadiki, statsionar rejimda qatlamlarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentlari har xil bo'ladi, ammo temperatura taqsimlanishi har xil bo'lib, issiqlik oqimi zichligi o'zgarmasdan qoladi. Bu esa issiqlik saqlovchi materiallarda muhim ahamiyatga egadir. Shunga asosan temperatura o'zgarishini qatlam ohiridagi qiymati quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$t_{(k+1)} = t_1 - Q \sum_{i=1}^n R_{\lambda i} \quad (2.5.32)$$

Agar issiqlik o'tkazuvchanlikni silindrsimon devorlarda aniqlanishi talab etilganda, undan o'tadigan issiqlik tashuvchini temperaturasini bilish zarur bo'ladi.

Ko'p hollarda silindrsimon trubalardan issiq suv, bug' yoki issiq havo harakatlanadigan (oqadigan) rejimlarni o'rganishga to'g'ri keladi. Bunday hollarda dastlab silindrsimon truba devorlari bo'ylab issiqlik taqsimlanishini o'zgarmas temperaturada hisoblanadi. Trubaning ichki va tashqi sirtlaridagi temperaturalar bir o'lchamli holatda o'rganiladi.

Silindrik quvurning r radiusi bo'yicha temperatura o'zgarib, bo'ylama va silindrik truba parametri bo'yicha temperatura o'zgarmaydi. Shuning uchun bu holda Furrye qonuni

$$q = -\lambda \left(\frac{dt}{dr} \right) \quad (2.5.33)$$

yoki

$$Q = Fq = -2\pi r l \lambda \left(\frac{dt}{dr} \right) \quad (2.5.34)$$

orqali ifodalanadi.

(2.5.34) tenglamani silindrik devor qalinligi bo'yicha integrallab issiqlik oqimini aniqlaymiz.

Bunda $q = \frac{Q}{F} = \text{const}$, $F = 2\pi r l$ tengligini e'tiborga olinadi.

Demak $Q = -2\pi r l \lambda dt$

yoki

$$dt = -\frac{Q}{2\pi\lambda l} \cdot \frac{dr}{r} \quad (2.5.35)$$

$$\int dt = -\frac{Q}{2\pi\lambda l} \cdot \int \frac{dr}{r} \quad t = -\frac{Q}{2\pi\lambda l} \ln \frac{l}{r} + C \quad (2.5.36)$$

Silindrik quvurlarda temperaturani radius bo'yicha o'zgarishi logarifmik qonun asosida amalga oshar ekan. (2.5.35) tenglamani t_1 va t_2 hamda r dan r_1 r_2 gacha integrallab, silindrik trubalar devoridan uzatiladigan issiqlik oqimini aniqlaymiz

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{l}{2\pi\lambda l} \ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{t_1 - t_2}{R_\lambda} \quad (2.5.37)$$

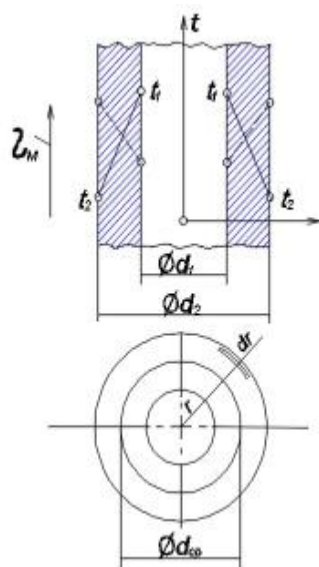
bu yerda

$$R_\lambda = \frac{1}{2\pi\lambda l} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad (2.5.38)$$

bo'lib, silindrik devorning termik qarshiligini hisoblash formulasi deyiladi.

Bir qatlamli silindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanligi. Issiqlik mashinalari va issiqlik almashinuv apparatlari devorining sirtlari ko'pincha konsentrik joylashgan ikkita silindrik sirt (quvurlar, apparatlarining korpuslari, dvigatelning silindrlari va shunga o'xshash) bilan chegaralangan bo'ladi.

4.3- rasmda uzunligi l bo'lgan quvur bo'lagi ko'rsatilgan. Uning ichki diametri d_1 va tashqi diametri d_2 . Materialning issiqlik o'tkazuvchanligi χ ga teng. Quvurning ichki va tashqi sirtlari temperaturallari t_1 va t_2 ga teng va $t_1 > t_2$. Temperatura faqat radial yo'nalishda o'zgaradi. Tekshirilayotgan devor ichidan radiusi r va qalinligi dr bo'lgan elementar silindrik qatlam ajratamiz. U holda Fure qonuniga asosan shu qatlamdan vaqt birligi ichida o'tadigan issiqlik miqdori quyidagiga teng.



4.5-rasm. Bir qatlamli silindrik devor.

$$Q = -\chi S \frac{dt}{dr} = -\chi 2\pi r l \frac{dt}{dr} \quad (2.5.39)$$

bunda

$$dt = -\frac{Q}{2\pi\chi l} \frac{dr}{r} \quad \text{va} \quad t = -\frac{Q}{2\pi\chi l} \ln r + c \quad (2.5.40)$$

Chegara shartlariga asosan: $r = r_1; t = t_1$ va $r = r_2$ da $t = t_2$

$$t_1 = -\frac{Q}{2\pi\chi l} \ln r_1 + c \quad (2.4.41)$$

$$t_2 = -\frac{Q}{2\pi\chi l} \ln r_2 + c \quad (2.5.42)$$

bu tenglikdan

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{2\pi\chi l} (\ln r_2 - \ln r_1) = \frac{Q}{2\pi\chi l} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

yoki

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{2\pi\chi l} \ln \frac{d_2}{d_1}$$

bunda

$$Q = \frac{2\pi\chi l}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \Delta t \quad (2.5.43)$$

Olingan tenglama silindrik devorning issiqlik o'tkazuvchanligini hisoblash formulasi bo'lib, u $t_1 < t_2$ hol uchun ham to'g'ridir.

Silindrik devor qalinligi bo'yicha temperaturaning o'zgarishini aniqlash uchun (2.5.39) tenglikka (2.5.41) tenglikdan S ning qiymatini va (4.68) formuladan Q ning qiymatini qo'yamiz:

$$t_x = -\frac{2\pi\chi\ell\Delta t}{\ln \frac{d_2}{d_1} 2\pi\chi\ell} \ln r_x + t_1 + \frac{2\pi\chi\ell\Delta t}{\ln \frac{d_2}{d_1} 2\pi\chi\ell} \ln r_1$$

yoki

$$t_x = t_1 - \frac{\Delta t}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \ln \frac{d_x}{d_1} \quad (2.5.44)$$

Bu tenglik logarifmik egri chiziqning tenglamasi bo'lib, $t_1 < t_2$ da egri chiziqning egriligi yuqoriga yo'nalgan bo'ladi.

Silindrik devor uchun issiqlik oqimining zichligi ichki yuzaning birligiga q_1 yoki tashqi yuzaning birligiga q_2 , ko'pincha quvurning uzunlik birligiga q_1 nisbatan olinadi.

Ko'p qatlamli silindrik devorlardan uzatiladigan issiqlik oqimini hisoblashda, barcha qatlamlarni termik qarshiliklarini e'tiborga olib,

$$Q = \frac{t_1 - t_{(n+1)}}{\sum_{i=1}^n R_{\lambda i}} = \frac{t_1 - t_{(n+1)}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi\lambda_i l} \ln \frac{d_{(n+1)}}{d_i}} \quad (2.5.45)$$

ko'rinishda ifodalanadi.

Olib boriladigan tadqiqotlar sharsimon jismlarda amalga oshiriladigan bo'lsa, u holda sharning ichki temperaturasi t_1 , tashqi qismidagi temperatura t_2 bo'lsa va ichki radius r_1 , tashqi radius r_2 ga teng bo'lsa, Sferik koordinatalar sistemasida shar sirtiga uzatiladigan issiqlik oqimi

$$Q = q \cdot F = -\lambda F \left(\frac{dt}{dr} \right) = -\lambda 4\pi r^2 \left(\frac{dt}{dr} \right) \quad (2.5.46)$$

Formula yordamida aniqlanadi. Bu formulani t_1 va t_2 , r_1 dan r_2 gacha integrallab

$$\int_{t_1}^{t_2} dt = \frac{Q}{4\pi\lambda} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} \quad (2.5.47)$$

bunda Q shar devor orqali uzatiladigan issiqlik oqimini:

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{4\pi\lambda l} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} = \frac{t_1 - t_2}{R_\lambda} \quad (2.5.48)$$

tenglama yordamida hisoblash mumkin.

1. Issiqlik o'tkazuvchanlik fizik mohiyati va qo'llanilishi.

Demak sharsimon jismlar, tuproq osti issiqlik akkumulyatorlari uchun ishlatiladigan qayroq toshlarda sutka davomida temperatura o'zgarishni hisoblashda yechiladigan masalalarning fizik mohiyatiga asosiy e'tiborni qaratish lozim bo'ladi.

Shuning uchun qish faslining kunduz kunlari Issiqlik akkumulyatorli gelioteplitsa-quritgichlarda ishlatiladigan substrat qatlamda, silindrik quvurlarda issiqlik tashuvchi massa havo harakati bilan bog'liq holda temperatura o'zgarishiga erishadi.

Kechalari harorat pasayishi bilan teskari jarayon amalga oshadi. Bunday jarayonlarda temperatura taqsimlanishiga muvofiq issiqlik oqimini hisoblash bilan sodir bo'ladigan teplofizik masalani yechilishiga erishiladi.

2.6. Tajriba nazariyasi natijalarini qayta ishlash va umumlashtirish.

Issiqlik almashuvining issiqlik-fizikaviy jarayonlardagi masalalar.

Issiqlik almashuvi jarayonida suyuqlik temperaturasi turli nuqталarda turlicha bo'ladi. U issiqlik almashuv qurilmalarining kundalang kesimi va uzunligi bo'yicha o'zgarib turadi. Fizikaviy va texnik tajribalardan olingan hisoblashlarda suyuqlikning o'rtacha temperaturasini o'rtachalashtirish metodidan foydalanish muhimdir. Truba bo'ylab suyuqlik oqadigan bo'lsin. Unda temperatura o'zgarishi 5.1-rasimda ko'rsatilganidek bo'ladi. Turubaning kundalang kesimini d f qismlar orqali, vaqt birligida tezligi ω va temperaturasi T doimiy bo'lgan suyuqlik har xil

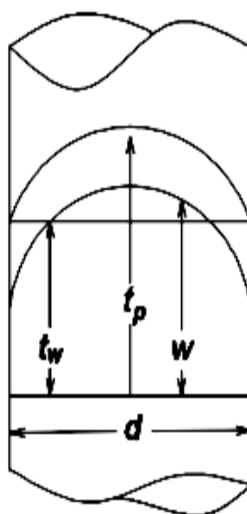
miqdorda ($\gamma \omega df$) oqib o'tadi. Bu holda trubaning kundalang qismi df orqali o'tadigan suyuqlikning $t_{o'rt}$ o'rtacha temperaturasi:

$$t_{fo'rm} = \frac{\int_f \gamma c_p \omega t_f df}{\int_f \gamma \gamma c_p \omega dt} \quad (2.6.1)$$

Agar bu yerda γ va S_r larni etiborga olmasak (5.1) formula quyidagicha:

Formula yordamida aniqlanadi.

$$t_{fypm} = \frac{\int_f \gamma \omega t_f df}{\int_f \omega df} = \frac{1}{v} \int_f \omega t_f df \quad (2.6.2)$$



5.1.rasm Trubaning ko'ndalang kesimi bo'yicha suyuqlikning tezligi va temperaturasini o'zgarishi.

Bu yerda V suyuqlik hajmi sarfi m^3/s (2.6.2) formulada truba bo'ylab oqadigan suyuqlik tezligi kundalang kesimi o'zgarmas, u holda

$$t_{fo'rt} = \frac{1}{f} \int_f t_f df \quad (2.6.3)$$

tenglik o'rinli bo'ladi. Bu holda suyuqlikning issiqlik fizikaviy xossalarini bilgan holda temperaturasining o'rtachalashtirilishi mumkin:

1. (5.1) formula suyuqlikni issiqlik saqlash hodisasidagi fizik parametrlar ko'paytirilib o'rtachalashtiriladi.

2. Trubaning hajmi bo'yicha sarfi bilan.

3. Kanalning kundalang qismi bo'yicha temperatura o'rtachalashtirilib o'rganiladi. Trubadan oqadigan suyuqlikning temperaturasini o'rtachalashtirib tezlik va temperatura o'zgarishi kundalang kesmi bo'yicha bir vaqtda o'rnatiladi.

Agar suyuqlik temperaturasini sistemali o'zgarishga nisbatan qaramasdan o'rtacha temperaturasini aniqlamoqchi bo'lsak, u holda trubadagi suyuqlik aralashtirilib uni o'rtacha qiymatini o'lchab o'rganish mumkin.

Shuningdek (5.1-5.3) formulalar yordamida suv yoki havoni va boshqa suyuqliklarni issiqlik fizik parametrlarini konkret hollari uchun aniqlab, ma'lum bir diopozondagi temperatura o'zgarishi uchun qullash mumkin.

Masalan (5.2) formula suv yoki havoni temperaturasini o'rtachalashtirishda foydalanish mumkin.

Suv bo'g'lari uchun (5.1) formuladan foydalaniladi.

Issiqlik almashinuvi jarayonida eksperimentda yoki hisoblashlarda temperaturani o'rtachalashtirish jarayoni issiqlik-fizikaviy parametrlarni e'tiborga olmasak u holda ancha xatoliklarning kelib chiqishiga sabab bo'ladi.

b) Uzunlik bo'yicha o'rtalashtirish.

Issiqlik almashinuv jarayonida suyuqlik temperaturasi doimiy bo'lmasdan faqatgina kundalang kesim bo'yicha emas balki uzunlik bo'yicha o'zgaradigan bo'lsin. Bu holda suyuqlikning o'rtacha temperaturasi $\bar{t}_f, Q = \alpha F \cdot (t_f - t_\omega)$ kj/soat formula uchun hisoblashda uning o'rtachalashtirilgan qiymatini uzunlik bo'yicha ham hisobga olinib kupaytirilishi kerak.

Masalan trubaning boshlang'ich kesimidagi o'rtacha temperaturasi t_f^1 va oxirgi kesimidagi temperaturasi t_f^2 bo'lsin.

Bu holda truba uzunligi bo'yicha temperaturani o'zgarishini o'rtacha qiymati quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$\bar{t}_f = \frac{1}{2}(t_f^1 + t_f^2) \quad (2.6.4)$$

Ammo umumiy holda truba bo'yicha suyuqlikni o'rtacha qiymatini hisoblash

$$\bar{t}_f = t_\omega \pm \Delta t \quad (2.6.5)$$

formula yordamida hisoblanishi mumkin. Truba uzunligi bo'yicha sovishi (+) va(-) suyuqlikni qizdirishni ifodalaydi. Bu yerda t_{ω} devorning temperaturasi Δt temperatura o'zgarishini o'rtacha arifmetik mikdoridir. Shunga asosan

$$\Delta t = \Delta t_{11} \left(\frac{\Delta t^{11}}{\Delta t^1} - l / \ln \frac{\Delta t^{11}}{\Delta t^1} \right) = \frac{t_f^1 - t_f^{11}}{\frac{t_f^1 - t_{\omega}}{t_f^{11} - t_{\omega}}} \quad (2.6.6)$$

Temperaturaning o'rtacha logarifmik qiymati hammavaqt o'rtacha arifmetik qiymatidan kichik bo'ladi. Ammo $\frac{\Delta t^{11}}{\Delta t^1} > 0,5$ bo'lib, ular orasidagi farq juda kichik (hatto 4%) t_f - qurilma ichidagi suyuqlik temperaturasi belgilanadi. Demak issiqlik almashinuvi apparatlarida suyuqlik temperaturasi doimiy o'zgarib borishi bilan uning fizik parametrlari ham o'zgaradi. Shuning uchun issiqlik almanishuvi qurilmalarida temperatura o'rtachalashtirishda fizik parametrlarni ham o'rtachalashtirilgan qiymatlaridan foydalanish kerak. Chegara qatlamlari uchun odatdagi temperaturani o'rtachalashtirishgan $\bar{t}_m = 0,5 \cdot (t_{\omega} + t_{\gamma})$ formuladan foydalaniladi. t_{ω} –devor temperaturasi, t_f – suyuqlik temperaturasi.

Issiqlik almashinuv jarayonlarida \bar{t}_m ni hisoblash ba'zi mualliflar oqimni to'g'ri yo'nalishda deb, ayrimlari teskari yo'nalishda deb olib \bar{t}_m ni hisoblaydilar. Ayrimlari \bar{t}_{ω} ni o'rtachalashtirilgan qiymatini, ayrimlari t_{γ} ni o'rtachalashtirilgan qiymatlarini olib hisoblaganlar. Shuningdek ayrim mualliflar kombinatsiyalashtirilgan qiymatlardan foydalanadilar. Shuning uchun tajribada olingan natijalarni umumlashtirishdan har xil Emperik formulalar oladilar. Issiqlik almashinuv jarayonlarida gidravlik yoki aerodinamik qarshiliklarni aniqlash uchun tajribadan olingan natijalarni umumlashtirib hisoblashlarni bajarish mumkin. Suyuqliklarni yoki havoni trubalarda majburiy yoki tabiiy harakatlanishida, kundalang yoki bo'ylama issiqlik almashinuv apparatlar yuzasi orqali oqimi jarayonida, shuningdek plita devorlar bo'ylab havo tabiiy harakatlanganda, o'rtacha temperatura qabul qilinib hisoblashlar bajarilishi mumkin. Suyuqlik qaynashida yoki bug'lanishining kondensatsiyalanishidagi temperatura davriy ravishda to'yingan holdagi qiymatlari olinadi. Bunday hollarda temperatura o'zgarishi chegara qatlamdagi qismida suyuqlikni fizik parametrlari o'zgaradi. Shunga asosan

maxsus tajribalar o‘tkazish yo‘li bilan issiqlik almashinuv jarayonlari o‘rganiladi. Bunda asosan kriterial tenglamalardan foydalaniladi. Jumladan Prandtel kriteriyasi berilgan temperatura uchun:

$$Pr_f = \frac{v}{a} ya'ni \left(\frac{Pr_{tf}}{Pr_{r\omega}} \right)^{0.25}$$

bu yerda p_{rt} – suyuqlik temperaturasi, $p_{r\omega}$ – devor temperaturasi uchun olinadi, tajriba natijalarini olishda va hisoblashda temperaturaning qiymatlari barcha hollarda bir qiymatli olinishi kerak. Masalan truba yoki kanalda suyuqlik yoki havo harakatlanganda issiqlik balans tenglamasi.

$$\lambda F(t_\omega - t_f) = \omega \gamma C_p f(t_f^{11} - t_f^1) \quad (2.6.7)$$

bu yerda: ω - suyuqlik tezligi, γ – suyuqlik solishtirma og‘irlik C_p – bosim o‘zgarmasdagi solishtirma issiqlik sig‘imi, $\frac{kJ}{kt \cdot ^\circ S}$; \bar{t}_f – suyuqlikni o‘rtacha temperaturasi $^\circ S$, (2.6.7) formulani ikkala tomonini d ga ko‘paytirib, λ – ga bo‘lamiz:

$$\frac{\lambda d}{\lambda} F(t_\omega - t_f) = \frac{\omega d \gamma C_p}{\lambda} \cdot f(t_f^{11} - t_f^1) = \frac{\omega d}{\lambda} \cdot \frac{\partial}{\partial a} f(t_f^{11} - t_f^1) \quad (2.6.8)$$

Bunda

$$\frac{Nu}{Pye} = \frac{Nu}{Re \cdot Pr} = \frac{f}{F} \approx \frac{\delta t}{pt} \quad (2.6.9)$$

kriterial tenglamalar oralig‘ida bog‘lanish hosil bo‘ladi.

Issiqlik almashinuvini hisoblashda bu kriterial tenglamalarni emperik xarakteristikasini keltirib chiqarish talab etiladi.

$$Nu = CR en^n \cdot Pr^m \quad (2.6.10)$$

Bu yerda S, n va m – lar doimiy sonlar bo‘lib, tajriba natijalari qayta ishlanishi jarayonida aniqlanadi. Amalda issiqlik almashinuvi masalalarini yechishda

$$Nu = CRe^n \quad (2.6.11)$$

Kriterial tenglama grafik asosida ifodalanadi. Buning uchun (2.6.11) formulani logariflaymiz:

$$\ell n Nu = \ell n C + n \ell n Re \quad (2.6.12)$$

$$\ell n Nu = Y$$

$$\ell n Nu = X$$

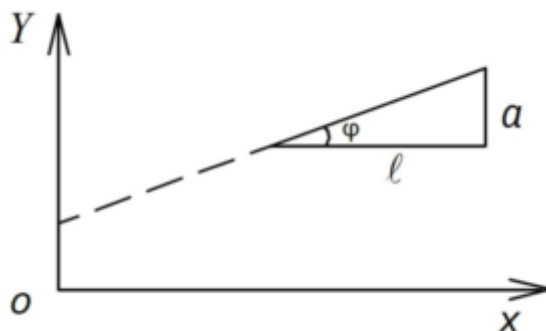
$$\ln C = A \quad (2.6.13)$$

(2.6.13) ni (2.6.12) quysak

$$Y = A n x \quad (2.6.14)$$

Grafikda bu belgilarni quyidagicha ifodalaymiz.

$$\frac{a}{b} = tq\varphi \quad (2.6.15)$$



2.6.1 – rasm.

(2.6.14) tenglama to‘g‘ri chiziqni ifodalaydi. $a / v = n$ deb belgilaymiz va (2.6.15) ga ko‘yamiz: $n = tq\varphi$. Bu ifodaga qiymat berib borsak u to‘g‘ri chiziqni istalgan nuqtasini qoniqtiradi.

$$S = \frac{Nu}{Re^n} \quad va \quad Re = \frac{\omega \cdot d}{v}$$

formuladagi tengliklar ham to‘g‘ri chiziqni belgilaydi. Issiqlik tashuvchi va quvurlarni devorlari oralig‘idagi issiqlik almashinuvini aniqlaydi. Tajriba asosida kriterial tenglamadagi fizik parametrlarni aniqlaymiz. Masalan: quvurdan oqadigan gazning tezligini ω ni o‘lchab olsak, Reynoldes kriteriyasini aniqlash mumkin:

$$Re = \frac{\omega \cdot d}{v} \quad (2.6.16)$$

Agar tajribada issiqlik tashuvini quvur bo‘ylab oqim sarfi G_t (kg/s) aniqlanadigan bo‘lsa, u holda

$$Re = \frac{Gd}{fgm}; \quad a = \frac{3600}{\pi ld} Cp G_t \frac{\delta f}{\delta t} \quad (2.6.17)$$

va

$$Nu = \frac{ad}{\lambda} = \frac{3600}{\pi \cdot l} \cdot \frac{Cp G_t}{\lambda} \cdot \frac{\delta f}{\delta t} \quad (2.6.18)$$

Shunga o‘xshash jarayonlar uchun ham yechish mumkin.

$$\frac{Nu}{Pe} = \frac{a}{\omega \cdot \gamma \cdot C_p} = \frac{\delta t}{\Delta t} \cdot \frac{f}{F} = \frac{\delta t}{\Delta t} \cdot \frac{d}{4e}$$

$$\frac{Nu}{Pye} = \frac{a}{\omega \gamma C_p} = \frac{\delta t}{\Delta t} \cdot \frac{f}{F} = \frac{\delta t}{\Delta t} \cdot \frac{d}{4ye} \quad (2.6.19)$$

Tajriba natijalarini aniqlik darajasiga muvofiq issiqlik almashinuvi amalga oshadi. Issiqlik tashuvchi va oqim quvurlarining devorlari bilan bo'ladigan issiqlik almashinuv jarayonlarida olingan tajriba natijalarini umumlashtirish o'xshashlik kriteriyalari orqali amalga oshiriladi.

$$d = A \cdot \Delta t^n \quad va \quad d = B \cdot \omega^m \quad (2.6.20)$$

Bu tenglamalar issiqlik tashuvchi va oqim harakatlanadigan quvurlarni devorlari o'rtasida issiqlik berish koeffitsiyentlarini ifodalanishidir. Quvurlarda oqadigan issiqlik tashuvchi (suv yoki issiq havo) bilan bog'liq issiqlik almashinuvi jarayonlari tajribalardan olingan aniq ma'lumotlar asosida kriterial tenglamalar olinadi.

Nusselt quvurdan oqadigan gaz issiqligidan quvur devorlariga beriladigan issiqlikni tajribalar yordamida tekshirib quyidagi kriterial tenglamani olindi.

$$Nu = 0,018 Re^{0,8} \quad (2.6.21)$$

$$Nu_u = \frac{\alpha d}{\lambda_\gamma} \quad va \quad Re = \frac{wd}{\nu} \quad (2.6.22)$$

(5.22) ni (5.21) ga olib borib qo'yamiz.

$$\frac{\alpha d}{\lambda_\gamma} = 0.018 \left(\frac{\omega d}{\nu} \right)^{0.8} \quad (2.6.23)$$

bu yerda,

$$\alpha = \frac{0,018}{[9.81]^{0,8}} \cdot \left[\frac{\lambda_f}{m_f^{0,8}} \right] \cdot \frac{(\gamma \omega)^{0,8}}{d^{0,2}} [kJ/m^2 K] \quad (2.6.24)$$

Bundan issiqlik tashuvchi gazni quvur devorlariga issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlash mumkin.

$$\alpha = 0,018 \left(\frac{\omega \cdot d}{\nu} \right)^{0,08} \cdot \frac{\lambda_\gamma}{d} \quad (2.6.25)$$

Shuningdek, bu ifodani quyidagicha emperik tenglama ko'rinishida ifodalash mumkin.

$$\alpha = \beta \cdot \frac{(a \cdot \omega)^{0,8}}{d^{v,2}} [kJ/m^2 \cdot k] \quad (2.6.26)$$

bu yerda

$$\beta = \frac{0,018}{(9,81)^{0,8}} \cdot \frac{\lambda}{\mu_{0,8}} \quad (2.6.27)$$

teng bo‘lib, issiqlik tashuvchini o‘rtacha temperaturasiga bog‘liq bo‘ladi. Masalan, quvur ichidan issiq havo ω tezlik bilan oqadigan bo‘lsa, issiqlik tashuvchidan quvur devorlariga beriladigan issiqlikni, issiqlik berish koeffitsiyenti tajriba asosida o‘lchanib α quyidagi formula yordamida aniqlanadi.

$$\alpha = 0,021 \frac{\lambda_k \omega^{0,8}}{d^{0,2} \omega_r^{0,037} \alpha^{0,43}} \left(\frac{P_r}{P_{rd}} \right)^{0,25} \quad (2.6.28)$$

Bu tenglamalar yordamida suyuqlik yoki gaz oqimli quvurdan ω tezlik bilan oqishi jarayonida quvur devorlariga issiqlik berish koeffitsiyentini emperik aniqlash imkonini beradi.

Tenglamalar yordamida tajribadan olingan natijalar analiz qilinadi, umumlashtiriladi va soddalashtirib yechiladi.

2.7. Tajribadagi o‘lchashlarning natijalari. O‘lchashlar va ulardagi xatoliklarning turlari.

1. Tajribadagi o‘lchashlarning natijalari.

Jismlarni va hodisa tabiatini to‘la ochish uchun shu xususiyatlarni tavsiflovchi muayyan issiqlik fizik kattaliklarni kiritish hamda ular yordamida turli xil sifatijihatlarini miqdoriy baholash zarur. U holda hodisaning turli xossalari orasidagi munosabat energetika va fizik kattaliklar orasidagi munosabatlarni tavsiflovchi kattaliklardir. Fizik kattaliklar yordamida har qanday jarayonni matematik ifodalash mumkin. Shuning uchun energetik va fizik jarayonlarni kuzatish va o‘lchash alohida ahamiyatga ega. Energetik va fizik kattalikni o‘lchash uchun etalon qabul qilingan bo‘lib, o‘zaro solishtirish jarayonidan iboratdir. O‘lchashlarni ikkiga bo‘lish mumkin.

1. Bevosita o‘lchash.

2. Bilvosita o‘lchash.

Bevosita o‘lchashda o‘lchanadigan energetik va fizik kattalik to‘g‘ridan to‘g‘ri etalon bilan yoki tegishli birliklarda darajalangan o‘lchov asboblari bilan

solishtiriladi. Biror masofa oralig'ini chizg'ich, shtangensirkul bilan o'lchash, termometr yordamida temperaturani o'lchash, ampermetr yoki voltmetrlar yordamida mos ravishda tok kuchini va kuchlanishini o'lchashlar bevosita o'lchashlarga misol bo'la oladi. O'lchanayotgan kattalikning qiymati bevosita asbobning shkalasi bo'yicha hisoblanadi yoki shkaladagi bo'limlar soni aniqlanib, bir birlikka teng qilib olingan qiymatiga ko'paytiriladi. **Bilvosita o'lchashda** aniqlanadigan kattalik bevosita o'lchanishi mumkin bo'lgan kattaliklar orasidagi funksional bog'lanishdan aniqlanadi. Masalan, tekis harakat tezligini o'lchash uchun muayyan vaqt oralig'ida bosib o'tilgan S yo'l va t vaqtni bevosita o'lchab, so'ngra tezlik ular orasidagi $v = \frac{S}{t}$ bog'lanishdan hisoblanadi. Shuningdek, jism zichligi ρ ni aniqlash uchun bevosita jismning m massasini va V hajmini o'lchab, so'ngra ular orasidagi $\rho = \frac{m}{V}$ bog'lanishdan zichlik hisoblanadi. Elektr zanjirni belgilangan qismidagi qarshiligini o'lchash kuchlanish va tok kuchini o'lchash va $R = \frac{U}{I}$ formuladan hisoblab aniqlanadi yoki $R = \rho \frac{l}{S}$ formuladan l – o'tkazgich uzunligi S - ko'ndalang kesimining yuzasi o'lchanadi va ρ – solishtirma qarshilik jadvaldan olinib hisoblanadi.

Energetik va fizik kattalikni aniqlash uchun quyidagi amallar ketma-ket bajarilishi kerak:

1. Asboblarni o'rnatish va tekshirish.
2. Asboblarning ko'rsatishini kuzatish va yozib olish.
3. O'lchashlar natijasidan foydalanib, aniqlanishi kerak bo'lgan fizik kattalikni hisoblash.
4. Xatolikni hisoblash.

Tajribachi sezgi a'zolarining tabiiy holda xatolikka yo'l qo'yishi va o'lchov asboblarning mukammallashmaganligi tufayli har qanday o'lchashda energetika va fizik kattaliklarning taqribiy qiymati aniqlanadi. Demak, har qanday o'lchashni ma'lum aniqlikdagina bajarilishi mumkin.

Masalan, agar plastinkaning qalinligi shtangensirkul yordamida 0,1 mm aniqlik bilan o'lchansa, plastinkaning haqiqiy qalinligi o'lchangan qalinlikda 0,1

mm dan ortiq farq qilmaydi. O'lchash aniqligi, avvalo, o'lchov asbobining aniqligi bilan belgilanadi. Fizik kattalikni asbob aniqligidan katta aniqlikda o'lchash mumkin emas.

Asbobning aniqligi uning shkalasining eng kichik ulushi bilan tavsiflanib, u topilgan qiymatning o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqinlashish darajasini belgilaydi. Asbob aniqligi asbobning sinfi bilan beriladi va uning pasportida ko'rsatilgan bo'ladi.

Ayrim o'lchashda asbob xatoligi uning aniqligiga bog'liq. Bu xatolik asbob shkalasidan hisoblash mumkin bo'lgan eng kichik ulushning $\pm 0,5$ ga teng. Masalan, agar termometr shkalasining eng kichik ulushi $0,2^\circ$ ga teng bo'lsa, uning xatoligi $\pm 0,1^\circ$ ga teng bo'ladi, tarozida o'lchashda eng kichik tosh massasi 10 mg bo'lsa, tarozining xatoligi deb ± 5 mg olinadi. Asbob qanchalik aniqroq bo'lsa, xato shunchalik kamroq bo'ladi.

O'lchov asbobining shkalasidan olinadigan hisobning aniqligini oshirish bilan o'lchash aniqligini o'zgartira olmaymiz. Masalan, qalam uzunligini santimetrga bo'lingan shkalali chizg'ich yordamida o'lchanganda, uning shkalasiga lupa vositasida qarash bilan chizg'ichning aniqligini o'zgartira olmaymiz.

Har bir amaliyot ishida har xil fizik kattaliklar turli aniqlikda o'lchanadi. Biror o'lchashning aniqligi boshqalarining aniqligiga ta'sir qiladi, Shuning uchun bilvosita aniqlanadigan fizik kattalikni o'lchashdan oldin uning aniqligiga eng katta ta'sir ko'rsatadigan o'lchash xatoligini aniq bilib olish lozim.

Agar fizik kattaliklar har xil aniqlikda o'lchansa, ayrim o'lchash aniqligini eng kam aniqlik bilan o'lchangan kattalik aniqligidan oshirishga intilishning hojati yo'q.

Masalan, kalorimetrik o'lchashlarda suvning va kalorimetrning masalasini 0,1 mg aniqlikka o'lchash mumkin.

Suvli kalorimetrning massasi 200 g bo'lganda uni 0,00005% aniqlikda o'lchash imkoni bor. Lekin bunday o'lchashlarda temperaturani o'lchash aniqligi $0,1^\circ$ ga va o'lchanayotgan temperatura $5^\circ S$ ga teng bo'lganda o'lchash aniqligiga 2% bo'ladi.

Shuning uchun kalorimetrik o'lchashda suvning massasi aniqligi 100 mg ga teng bo'lgan tarozi bilan o'lchansa ham bo'ladi. Bunda o'sha 200 g massani 0,1% aniqlik bilan o'lchagan bo'lamiz. Oxirgi natija aniqligini oshirish uchun har qanday fizikaviy kattalikni bir xil tajriba sharoitida bir marta emas, bir necha marta o'lchash kerak.

O'lchashlar va ulardagi xatoliklarning turlari. Har qanday o'lchashlar hamma vaqt qandaydir xatoliklar bilan bajariladi. Bu xatoliklar ikki guruhga – *muttasil va tasodifiy* xatoliklarga bo'linadi.

A) **muttasil xatolik** – hamma vaqt mavjud bo'ladigan xatolikdir. Asbobning notug'ri o'rnatilishidan (asbobni tayyorlash aniqligiga bog'liq bo'lgan xatolik) va o'lchash usulining noto'g'ri tanlanishidan kelib chiqadigan xatoliklar muttasil xatoliklardir. Bu xatoliklar ba'zi tashqi omillar ta'sirida, masalan, chizg'ich shkalasining notekis darajalanishidan, termometr nolining haqiqiy nol temperaturaga mos kelmasligi, termometr kapillyari kesim yuzining kapilyar bo'yicha bir xil bo'lmasligi, ampermetrdan elektr tok o'tmagan vaqtda uning mili (strelkasi) ning shkala noliga mos kelmasligi va boshqalar tufayli ham bo'ladi. Suyuqlik va gazning hajmini o'lchashda temperatura o'zgarishi sababli ularning hajmiy kengayishini; massasi o'lchanganda o'lchanayotgan jisimga, tarozi toshlariga havo tomonidan ta'sir etuvchi itarib chiqarish kuchi ta'sir qilishini va kalorimetrik o'lchashlarda asbobning tashqi muhit bilan issiqlik almashinishini hisobga olmaslik tufayli muttasil xatolikka yo'l qo'yiladi.

Ba'zi bir fizik kattaliklar qiymatini jadvaldan olganda (zichlik, solishtirma issiqlik sig'imi, qovushqoqlik modullari va boshqa), ularni yaxlitlaganda, shuningdek, formulaga kiruvchi ba'zi doimiylar (π , ye – natural logarifmning asosi, g , $\sqrt{2}$ va boshqalar) ning tarkibiy qiymatlarini olganda muttasil xatolikka yo'l qo'yiladi.

Masalan, $\pi = 3$; $\pi = 3,1$; $\pi = 3,14$; $\pi = 3,142$ deb, suvning singdirish ko'rsatkichi uchun $n = 1,333$ deb olish o'rniga $n = 1,3$; $n = 1,33$ deb olsak ham biz har safar muttasil xatolikka yo'l qo'ygan bo'lamiz. Muttasil xatolik aniq sabablar tufayli yuz berib, uning kattaligi takroriy o'lchashlarda o'zgarmay qolishi yoki

muayyan qonun bo'yicha o'zgarishi mumkin. O'lchash usulini o'zgartirib, asbobning ko'rsatishlariga tuzatishlar kiritib, muttasil ravishda ta'sir qiluvchi tashqi omillarni hisobga olish bilan bu xatolikni kamaytirish mumkin.

B) Tasodifiy xatoliklar – oldindan hisobga olinishi qiyin bo'lgan har bir o'lchashga ta'siri har xil bo'lgan tasodifiy sabablarga ko'ra yuz berdigan xatoliklardir. Masalan, elektr o'lchashlarda elektr tarmoqdagi kuchlanishning o'zgarishi, plastinka qalinligini o'lchaganda qalinlikning hamma joyda bir xil bo'lmasligi, o'lchashlarda asbob shkalasining yetarlicha yoritilmasligi, asboblarning stol ustida yaxshi joylashtirilmasligi, sezgi a'zolarimizning tabiiy nokomilligi oqibatida tasodifiy xatolikka yo'l qo'yamiz. Bu xatoliklar tufayli biror fizik kattalikni bir necha marta o'lchaganda har xil qiymat olinadi.

Ayrim o'lchashdagi tasodifiy xatolikni yo'qotib bo'lmasada, tasodifiy hodisalar to'g'risidagi matematik nazariyadan foydalanib, bu xatolikning o'lchash natijasiga ta'sirini kamaytirish va xatolik kattaligini hisoblash uchun ma'qulroq bo'lgan ifodani aniqlash mumkin. Tasodifiy xatolikni kamaytirish uchun aniqlanayotgan fizik kattalikni bir marta emas, bir necha marta takroriy o'lchash kerak.

Agar tasodifiy xatolik muttasil xatolikdan katta bo'lsa, tasodifiy xatolikni kamaytirish va uning asbob xatoligi bilan bir xil darajada bo'lishi uchun o'lchashlar sonini orttirish lozim.

Muttasil va tasodifiy xatoliklardan tashqari yana *qo'pol xatoliklar* ham bo'ladi. Qo'pol xatolikni kuzatish va o'lchashlar noto'g'ri bajarilishi tufayli yuz beradi. Hisoblashda bunday natijalar hisobga olinmasligi kerak. Bu xatolik shkala bo'yicha beparvo hisob olishdan, natijalarni pala-partish yozishdan kelib chiqadi. Bunday qo'pol xatolikni yo'qotish uchun yozilganlarni qayta qarab chiqib, o'lchashlarni qayta bajarish kerak. Har qanday o'lchashda qo'pol xatolikni yo'qotishning birdan – bir usuli – o'lchashni juda puxtalik va e'tibor bilan qayta bajarishdir.

Bevosita o'lchash natijalarining xatoligi. O'lchash davomida o'lchash asbobi beradigan xatolikdan boshqa har xil muttasil xatoliklar va qo'pol xatoliklar

yo‘qotilgan deb faraz qilib, bevosita o‘lchash xatoliklari nazaryasining asosiy qoidalarini qarab chiqamiz.

Quyida keltiriladigan xatoliklar nazaryasida tasodifiy xatoliklar son qiymati jixatidan muttasil xatoliklardan katta deb faraz qilingan.

2.8. Bilvosita o‘lchashlar natijasining ishonchligi mutloq va nisbiy xatoliklar.

Biroq energetik va fizik kattalikning o‘lchashlar natijasida topilgan $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ qiymatlari ichida *haqiqiy qiymatga* eng yaqini ushbu

$$X \approx \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Ifodadan aniqlanadi, bu yerda n – o‘lchashlar soni.

O‘lchash vaqtida topilgan qiymatlar bir-biridan farqli bo‘lib, ularning o‘rtacha qiymatdan farqi ayrim o‘lchashning *mutlaq xatoligi* deyiladi. Qaysi o‘lchashning *mutlaq* xatoligi kichik bo‘lsa, shu o‘lchash aniqroq bajarilgan deb hisoblanadi. O‘rtacha qiymatdan katta farq qiluvchi qo‘pol xatoliklar xatolikni hisoblash vaqtida tushirib qoldiriladi.

Agar n ta takroriy o‘lchash natijasida $\Delta X_1, \Delta X_2, \dots, \Delta X_n$, mutlaq xatoliklar yuz bergan bo‘lsa, *o‘lchashlarning o‘rtacha mutlaq xatoligi* shu xatolikdir, *mutlaq* qiymatlarining o‘rtacha arifmetik qiymatiga tengdir:

$$\Delta \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta X_i|}{n}$$

Tabiiyki, energetik va fizik kattalikning haqiqiy qiymati topilgan o‘rtacha qiymatdan $\pm \Delta \bar{X}$ qadar farq qiladi, ya’ni:

$$X = \bar{X} \pm \Delta X$$

O‘lchashlar soni nega shunday tanlanganligi magistr talabani qiziqtirishi mumkin. O‘lchashlar sonini tanlashda asosan shunga e’tibor berish kerakki, shu o‘lchashlar sonida sodir bo‘luvchi o‘rtacha mutlaq xatolik asbob xatoligidan katta bo‘lmasin. Masalan, vaqtni o‘lchash asbobi 0,2 sekund xatolik bilan o‘lchasa, biror

jarayonning o'tish davomlilikigi uchun olingan haqiqiy vaqt $(t+0,2)$ va $(\bar{t} - 0,2)$ sekund oraliqda bo'ladi.

Biroq ba'zi bir hollarda o'lchash natijasiga ta'sir qiluvchi tashqi omillar o'lchashlar sonini yetarlicha katta qilib olganda ham energetik va fizik kattalikning o'rtacha mutloq xatoligini o'lchash asbobi kiritadigan xatolikdan kichraytirishga imkon bermaydi. Bunday hollarda o'lchashlar soni amaliy mashg'ulot sharoiti (ishga ajratilgan vaqt, o'lchashlarni takrorlash imkoni va boshqalar) bilan belgilanib, aniqlanayotgan kattalikning xatoligi uchun o'lchashning o'rtacha mutloq xatoligini olishga to'g'ri keladi. Aksincha, o'lchashlar vaqtida yuz beruvchi tasodifiy xatoliklar juda kichik bo'lib, o'lchashlarni qancha ko'p takrorlamaylik, topilgan qiymatlar orasidagi tafovutlar o'lchash asbobi kiritadigan xatolikdan katta bo'lmaydi. Bunday hollarda magistr talabaga muayyan o'lchash xatoligi uchun asbob xatoligini yoki uning yarmisini olish tavsiya qilinadi. Shunday yo'l tutish uchun talaba bir necha nazorat o'lchashlar bajarib, aytilgan hol yuz berayotganiga qanoat hosil qilishi kerak. Agar tajriba vaqtida bir qator energetik, fizik kattaliklarni o'lchash zarur bo'lsa, ularning har biri uchun o'lchash xatoligini aniqlash kerak bo'ladi. Biroq har bir kattalikka oid mutloq xatolikni bilganimiz holda kattaliklar bir jinsli bo'lmaganligi sababli ularni o'zaro solishtirish mumkin emas. Bunday hollarda xatolikning *nisbiy qiymati* bilan ish ko'rish lozim. Biror kattalikning o'lchashlar natijasida topilgan o'rtacha qiymati $\Delta\bar{X}$ bo'lsa, nisbiy xatolik $E = \frac{\Delta\bar{X}}{\bar{X}}$ yoki foizlarda ifodalasak, $E = \frac{\Delta\bar{X}}{\bar{X}} \cdot 100\%$ bo'ladi.

Masalan, stol qirrasining uzunligi chizg'ichda 0,002 m mutloq xatolik bilan, yorug'lik to'lqinining uzunligi esa $2 \cdot 10^{-8}$ m mutloq xatolik bilan o'lchangan bo'lsa, stol qirrasining va yorug'lik to'lqini uzunligining muayyan qiymatlarida ($l = 1m, \lambda = 6 \cdot 10^{-7}$) o'lchashlarning nisbiy xatoliklari quyidagicha bo'ladi:

$$E = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\% = 0,2\%, \quad E = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \cdot 100\% = 3,3\%,$$

Demak, yorug'lik to'lqini uzunligi stol qirrasiga nisbatan taxminan 16 marta kattaroq nisbiy xatolik bilan o'lchangan ekan.

Bevosita o'lchashlar natijasining ishonchliligi va ishonch oralig'i.

Energetik va fizik kattalikning xatoligini yoki uning haqiqiy qiymatini o'z ichiga oluvchi oralig'i (interval)ni ko'rsatish tasodifiy xatolikni yetarli darajada tavsiflamaydi. O'lchashlar natijasining qay darajada ishonchli ekanligini ko'rsatuvchi kattalik kiritish kerak. Bu kattalik o'lchanayotgan kattalik haqiqiy qiymatining ko'rsatilgan oraliqda mavjud bo'lishi ehtimolligidan iboratdir.

Har qanday voqeaning *ehtimolligi* W deb, voqeaning sodir bo'lishiga qulaylik yaratuvchi hollar soni n ning umumiy hollari soni N ga nisbati bilan ifodalanuvchi kattalikka aytiladi va quyidagicha ifodalanadi.

$$W = \frac{n}{N}$$

Masalan, qutida 70 dona shar bo'lib, uning 3 tasi qizil, qolgani oq bo'lsin, deylik. Bunday qutidan sharlar olayotganda qizil sharning chiqish ehtimolligi $3/70$, oq sharlarniki esa $67/70$ bo'ladi. Oq yoki qizil sharlar chiqish ehtimolligining yig'indisi birga, qora sharlar chiqish ehtimolligi esa nolga tengdir.

Tasodifiy xatoliklar asosiy rol o'ynaganda o'lchashlar aniqligi faqat ehtimollik bilan baholanishi mumkin. Gauss tasodifiy xatolikni tasodifiy hodisalarning bir turi deb hisoblagan holda ehtimollik nazariyasi usullaridan foydalanib, tajribada yuz beradigan xatoliklarning normal taqsimot qonunini topdi. Bu qonunning chiqarilishida biror fizik kattalikning o'zgarmas tashqi sharoitda takroriy o'lchanishlari uzluksiz qiymatlar berishi, shuningdek, o'rtacha qiymatdan chetlashish ham musbat, ham manfiy bo'lishligi, o'lchashlar soni yetarlicha katta bo'lganda katta xatoliklar kichik xatoliklarga nisbatan kamroq uchrashi nazarga olinadi. O'lchashlar soni n yetarlicha katta bo'lganda ayrim o'lchashlar mutlaq xatoligining $\overline{\Delta X}$ o'rtacha mutlaq xatolikka ta'siri juda kichik bo'ladi. Shunday sharoit uchun $\Delta \overline{X}$ ning taqsimoti quyidagi qonun ko'rinishida ifodalanishi mumkin:

$$X = \frac{(\Delta X)^2}{2\sigma_X^2}; \quad y = \frac{1}{\sqrt{2l\sigma_X}} e^{-\frac{(\Delta x)^2}{2\sigma^2}}$$

Bu yerda σ_X^2 – taqsimot dispersiyasi bo'lib, uni tajribada topilgan qiymatlar orqali quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{n(n-1)} \quad (2.8.1)$$

Bundan

$$\sigma_{\bar{X}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{n(n-1)}} \quad (2.8.2)$$

$\sigma_{\bar{X}}$ kattalik o'rtacha xatolik yoki o'rtacha arifmetik qiymatning o'rtacha kvadratik xatoligi deb ataladi.

Odatda, o'lchanaytgan kattalikning haqiqiy qiymati taqriban $X = \bar{X}$ deb olinadi yoki haqiqiy qiymat quyidagi oraliq ichida joylashgan deb aytish mumkin:

$$\bar{X} - \Delta X < \bar{X} < \bar{X} + \Delta X \text{ yoki } X = \bar{X} \pm \Delta X$$

ΔX kattalik muayyan o'lchashlar soni uchun $\sigma_{\bar{X}}$ bilan quyidagicha bog'langan:

$$\Delta X = K_{\alpha} \sigma_{\bar{X}} \quad (2.8.3)$$

bu yerda K_{α} – Gaussning normal taqsimoti koeffitsiyenti deyilib, u α_n ishonchlilikka bog'liqdir. Xususan, biz ishonchlilikni oshirishni istasak, oraliqni kenroq olishimiz kichik ishonchlilikda esa oraliqni torroq qilib olishimiz kerak bo'ladi. Issiqlik energetikasi va fizikaviy kattaliklarni haqiqiy qiymatini oldindan belgilangan ehtimollik bilan mavjud bo'ladigan $(X - \Delta X, \bar{X} + \Delta X)$ oraliq ishonch oralig'i deyiladi.

Ikkinchi tomondan, α_n ishonchlilik haqiqiy qiymatning muayyan oraliqda uchrash ehtimoligini bildiradi, u odatda foizlarda ifodalanadi. Turli sabablarga ko'ra o'lchashlar sonini juda katta qilib ($n \leq 15$) olish va K_{α} ni aniqlashda (6.3) dan foydalanish mumkin bo'lmaydi. O'lchashlar soni chekli bo'lganda ishonch oralig'ining chegaraviy qiymatini belgilovchi K_{α} Gauss koeffitsiyenti o'rniga Gosset tomonidan 1908 yilda kiritilgan va *Student koeffitsiyenti* deb ataluvchi $t_{\alpha}(n)$ koeffitsiyent kiritiladi. Bu koeffitsiyent o'lchashlar soni va ishonchlilik oralig'i bilan quyidagicha bog'langan:

$$t_{\alpha}(n) = \frac{\Delta X}{S_{\bar{X}}}, \quad (2.8.4)$$

Bu yerda

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{n(n-1)}} \quad (2.8.5)$$

(2.8.5) kattalik chekli n ta o‘lchash uchun o‘rtacha kvadratik xatolikdan iborat bo‘lib, u taqriban $\sigma_{\bar{X}}$ ga teng. (2.8.4) va (2.8.5) lar asosida o‘lchashlarning mutloq xatoligi uchun

$$\Delta X = t_{\alpha}(n) S_{\bar{X}} = t_{\alpha}(n) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{n(n-1)}} \quad (2.8.6)$$

ifoda kelib chiqadi.

Muayyan n o‘lchashlar soni hamda α ishonchlilik uchun (6.6) dan hisoblangan ΔX ishonch oralig‘i (6.5) ga qo‘yilsa, fizikaviy kattalikning haqiqiy qiymati mavjud bo‘ladigan soha aniqlangan bo‘ladi. Aksincha, laboratoriya sharoitida ko‘pincha tavsiya qilinadigan $n \leq 15$ o‘lchashlar sonida ΔX ishonch oralig‘ini $\sigma_{\bar{X}}$ ga va demak, $S_{\bar{X}}$ ga teng qilib olishni istasak, $\alpha_n = 0,66$ ga teng bo‘ladi. Shu o‘lchashlar sonida $\Delta X = 2\sigma_{\bar{X}}$ qilib olinganda $\alpha_n = 0,93$; $\Delta X = 3\sigma_{\bar{X}}$ qilib olinganda esa $\alpha_n = 0,99$ bo‘ladi.

O‘lchashning ΔX mutloq xatoligini (6.6) formula bo‘yicha hisoblash uchun, odatda, Styudent koeffitsiyentlari jadvalidan foydalaniladi. Quyidagi 2.8.1-jadvalda n o‘lchashlar soni va α_n ishonchlilik uchun Styudent koeffitsiyentlari qiymatlari keltirilgan.

2.8.1-jadval

Styudent koeffitsiyentlari

n	α_n												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	0,16	0,33	0,51	0,73	1,00	1,38	2,0	3,1	6,3	12,7	31,8	63,7	636,6
3	14	29	45	62	0,82	1,06	1,3	1,9	2,9	4,3	7,0	9,9	31,6
4	14	28	42	58	77	0,98	1,3	1,6	2,4	3,2	4,5	5,8	12,9
5	13	27	41	57	74	94	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6	8,6
6	13	27	41	56	73	92	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0	6,9
7	13	27	40	55	72	90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1	3,7	6,0
8	13	26	40	55	71	90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,5	5,4

9	13	26	40	54	71	90	1,1	1,4	1,9	2,3	2,9	3,4	5,0
10	13	26	40	54	70	88	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3	4,8
11	13	26	40	54	70	88	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,2	4,6
12	13	26	40	54	70	87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1	4,5
13	13	26	40	54	70	87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1	4,3
14	13	26	39	54	69	87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,0	4,2
15	13	26	39	54	69	87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	3,0	4,1
16	13	26	39	54	69	87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	2,9	4,0
17	13	26	39	54	69	86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9	4,0
18	13	26	39	53	69	86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9	4,0
19	13	26	39	53	69	86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9	3,9
20	13	26	39	53	69	86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,9
21	13	26	39	53	69	86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
22	13	26	39	53	69	86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
23	13	26	39	53	69	86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
24	13	26	39	53	69	86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
25	13	26	39	53	69	86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,7
26	13	26	39	53	68	86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,7
27	13	26	39	53	68	86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,7
28	13	26	39	53	69	86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
29	13	26	39	53	68	86	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	2,8	3,7
30	13	26	39	53	68	85	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	2,8	3,7
40	13	26	39	53	68	85	1,1	1,3	1,7	2,0	2,4	2,7	3,6
60	13	25	39	53	68	85	1,0	1,3	1,7	2,0	2,4	2,7	3,5
120	13	25	39	53	68	85	1,0	1,3	1,7	2,0	2,4	2,6	3,4
∞	13	25	39	52	67	84	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	3,3

2.8.1 - Jadvaldan foydalanish tarzini tushuntirish uchun quyidagi misolni keltiramiz.

Shtangensirkul yordamida sterjen eni α ni o'lchaganda $\alpha = 40,25$ mm bo'lib, o'lchashning o'rtacha kvadratik xatoligi $S_{\bar{\alpha}} = 0,4$ mm ga teng bo'lsin.

Ishonchlilikni $\alpha = 0,6$ deb olib, $n = 10$ ta o'lchash soniga to'g'ri keluvchi Styudent koeffitsiyentini 1-jadvaldan qidirsak, $y t_{0,6}(10) = 0,88$ ga teng ekanligi aniqlanadi.

Endi $S_{\bar{\alpha}}$ va $t_{\bar{\alpha}}(10)$ ning qiymatlarini bilgan holda sterjen enini o'lchashdagi mutlaq hatolikni (6.6) formula asosida hisoblansa, $\Delta\alpha = 0,88 \times 0,4 \cong 0,35$ mm, ishonch oralig'i esa muayyan $\alpha = 0,6$ ishonchlilik uchun

$$(40,25 - 0,35)mm < \alpha < (40,25 + 0,35)mm$$

$$39,90 \text{ mm} < \alpha < 40,60mm$$

bo'ladi. Agar bu misolimizda $\alpha = 0,9$ deb olinsa, $t_{0,9}(10) = 1,8$ va $\Delta\alpha = 0,92$ mm bo'ladi. U holda o'lchanayotgan kattalik haqiqiy qiymatining mavjud bo'lish oralig'i kengayadi, ya'ni:

$$(40,25 - 0,92)mm < \alpha < (40,25 + 0,92)mm$$

$$39,33 \text{ mm} < \alpha < 41,17mm$$

Ishonchlilik yana ham oshirilsa, ya'ni $\alpha = 0,99$ deb olinsa, $t_{0,99}(10) = 3,3$ ga, $\Delta\alpha = 1,32$ mm ga teng bo'lib, ishonch oralig'i esa

$$(40,25 - 1,32)mm < \alpha < (40,25 + 1,32)mm$$

$$38,93 \text{ mm} < \alpha < 41,57mm$$

bo'ladi. Topilgan natijalarni bir – biriga solishtirsak, shunday xulosaga kelamiz: α ishonchlilikni oshirish bilan o'lchanayotgan issiqlik energetik va fizik kattalikning ishonch oralig'i kattalashadi, lekin uning aniqligi kamayadi.

Bilvosita o'lchash natijalarining xatoligi. Kirish qismida berilgan ta'rifga asosan bilvosita o'lchanuvchi kattalikni aniqlash uchun uning bevosita o'lchanishi mumkin bo'lgan kattaliklar bilan qonuniy bog'lanishidan foydalaniladi. Izlanayotgan issiqlik energetik va fizik kattalik bevosita o'lchanishi mumkin bo'lgan bir yoki bir necha kattalikning funksiyasi bo'lsa, avvalo, bu kattaliklarni bir necha martadan o'lchab olinadi, so'ngra izlanayotgan kattalik va bevosita o'lchangan kattaliklarni o'zaro bog'lovchi formulalardan foydalanib va bu formuladagi doimiylarning qiymatlarini jadvallardan olgan holda izlanayotgan kattalik

hisoblanadi. Bunday o'lchash *bilvosita o'lchash* deb ataladi. Aksariyat laboratoriya ishlarini bajarishlar shunday o'lchashlardan iborat.

Bilvosita o'lchashdagi xatolikni hisoblashni bilish zarurdir. Bilvosita o'lchash natijalarining xatoliklarini hisoblash usuli bevosita o'lchash natijalarining xatoliklarini hisoblashdan farq qiladi. Xatoliklarning umumiy nazariyasida uchta asosiy masala qaralib, ularni quyidagicha tavsiflash mumkin.

1. Agar Y kattalik bilvosita izlanayotgan bo'lsa, uni aniqlash uchun bevosita X_1, X_2, \dots, X_n kattaliklarni o'lchash lozim. Bu kattaliklarni bevosita o'lchashda yo'l qo'yilgan xatoliklarni bilgan holda ular yordamida izlanayotgan Y ning xatoligini aniqlash kerak. Xatoliklar nazariyasining ushbu birinchi masalasi shunday ta'riflanadi: funksional bog'lanishning matematik ifodasi berilgan bo'lib, funsiya argumentining xatoligi ma'lum bo'lganda funksiyaning xatoligi hisoblansin.

2. Ikkinchi masala shunday ta'riflanadi: funksional bog'lanish berilgan bo'lib, funksiyaning xatoligi ma'lum bo'lganda funsiya argumentining xatoligi hisoblansin.

3. O'lchash uchun eng qulay bo'lgan sharoitni, ya'ni funsiya xatoligi eng kichik bo'ladigan sharoitni belgilash zarur.

Ko'pincha amaliy ishlarida issiqlik energetikasi va fizik kattalikni bilvosita aniqlaymiz. Ish jarayonida yuz beruvchi issiqlik energetikasi va fizikaviy hodisalarni ifodalovchi qonunlar tekshiriladi. Qonunning matematik ifodasidagi har bir issiqlik fizikaviy va fizikaviy kattalikning qiymati tarkibiy o'lchanadi yoki jadvaldan olinadi. Demak, izlanayotgan asosiy issiqlik fizikaviy va fizikaviy kattalikning xatoligi o'lchashlar aniqligiga hamda foydalanilgan qonun ifodasining ko'rinishiga bog'liq. Qonun ifodasining ko'rinishi o'zgarishi bilan natijaning xatoligi ham o'zgaradi. Xatolik hisoblashni osonlashtirish maqsadida har xil hollar uchun differensial hisobning maxsus usullari ishlab chiqilgan. Bu usullar yordamida har qanday ko'rinishdagi funksiyaning xatoligini aniqlash mumkin. Bunday hollarda izlanayotgan kattalik bevosita o'lchanayotgan va formulaga kiruvchi doimiy kattaliklarning funksiyasi deb hisoblanadi. Differensial hisobning maxsus usullaridan foydalanib, xatoliklar nazariyasining birinchi masalasini yechish

mumkin, ya'ni funksional bog'lanish berilib, funksiya argumentining xatoligi ma'lum bo'lganda ular yordamida funksiya xatoligi hisoblanadi.

Issiqlik fizikaviy va fizik qonunni ifodalovchi funksional bog'lanishda uch xil tarkibiy kattalik bo'lishi mumkin:

A) taqribiy sonlar ($\sqrt{2}, \pi, e$ larga o'xshash); b) har xil fizik doimiylar (jisimning zichligi, kengayish koeffitsiyentlari, solishtirma issiqlik sig'imi, qovushlik koeffitsiyentlari); v) oddiy o'lchash natijalari. Oldingi ikki tur taqribiy kattaliklar jadvaldan olinganligi sababli, ularni istalgancha aniqlikda tanlash mumkin. Bilvosita o'lchashdagi asosiy xatolik bevosita o'lchanayotgan kattaliklarning xatoligiga bog'liqdir.

Bevosita o'lchanayotgan kattaliklarning xatoliklari va jadvaldan olingan qiymatlarning aniqligi ma'lum bo'lganda differensial usuldan foydalanib, bilvosita o'lchash natijasining xatoligini hisoblash bilan tanishib chiqamiz.

Bilvosita o'lchashdagi xatolikni aniqlashning umumiy qoidasini differensial hisobdan keltirib chiqamiz.

2.9. Absolyut va nisbiy xato. O'lchamlarni aniqlash mezonini. Funksiya xatoliklarini differensial usul yordamida hisoblash.

Bir qator hollarda biror Y issiqlik energetikasi va fizik kattaliklarni aniqlash uchun Y bilan $\gamma = f(X)$ qonun orqali bog'langan X ni o'lchash kerak bo'ladi. X ni qator o'lchashlarda o'lchash asbobi kiritgan muttasil xatoliklar hamda tashqi faktorlar ta'sirida yuz bergan tasodifiy xatoliklar orqali Y kattalik – funksiyaning xatoligi baholanadi. Bunday hollarda differensiallash qoidalari asosida maksimal mutlaq xatolikni va unga mos maksimal nisbiy xatolikni hisoblash uchun ifodalar olish mumkin. Agar X (argument)ni o'lchashdagi xatolik ΔX , bo'lsa, Y ning mutlaq xatoligi ΔY taqriban ushbuga teng:

$\Delta Y \approx |dY| = |f'(X)|\Delta X$ (2.9.1) bunda $|\Delta X|$ kattalik X ni o'lchashda yo'l qo'yilgan xatolikning mutlaq qiymati. Bunday fizik mazmunini nazarga olsak,

$$\Delta Y = f'(X)\Delta X \quad (2.9.2)$$

Bo'ladi, ya'ni Y kattalik $Y \pm \Delta Y$ oraliqda joylashgandir.

Bilvosita o'lchanuvchi kattalikning mutlaq *xatoligini* aniqlashga misol ko'raylik.

Aytaylik, kubning qirrasini o'lchanganda 2 m ga teng bo'lsin. Agar qirrani o'lchashdagi xatolik $\Delta l = 0.01 \text{ m}$ bo'lsa, kubning hajmi uchun mutlaq xatolik qanday bo'ladi?

Yechilishi. $V = l^3$ - kubning hajmi, bunda l - kub qirrasining uzunligi, (2.9.2) ifodaga ko'ra

$$\Delta V = 3l^2 \Delta l = 3 \cdot 0,01 \text{ m}^3 = 0,12 \text{ m}^3 \quad (2.9.3)$$

ya'ni kubning hajmini aniqlashdagi mutlaq xatolik $0,12 \text{ m}^3$ ga teng.

Endi bilvosita aniqlanuvchi kattalikning *nisbiy xatoligini* aniqlash qoidasi bilan tanishaylik. Ta'rifga ko'ra Y ning nisbiy xatoligi $\frac{\Delta Y}{Y}$ ga teng. Differensiallash qoidasiga binoan ushbu $\frac{\Delta Y}{Y}$ ifoda funksiyaning natural logarifmidan olingan hosiladan, ya'ni

$$\left| \frac{\Delta Y}{Y} \right| \approx |d \ln Y|$$

yoki

$$\frac{\Delta Y}{Y} = (\ln Y)' = [\ln f(X)]$$

ifodaning mutlaq qiymatidan iboratdir. Masalan, biror Y fizikaviy kattalik X ga $Y = aX^n$ qonuniyat orqali bog'langan bo'lsa, uning nisbiy xatoligi $\frac{\Delta Y}{Y} = [\ln(aX^n)] = n \frac{\Delta X}{X}$ (7.3) bo'ladi. Yuqoridagi kub hajmiga oid misolimizda nisbiy xatolik

$$\frac{\Delta V}{V} = [d \ln(l^3)]' = \frac{3 \cdot 0,01}{2} = 0,015 = 1,5\% \quad (2.9.4)$$

Ko'p hollarda tajribada biror kattalikni aniqlash uchun shu kattalik bilan muayyan qonuniy bog'lanishda bo'lgan ikki yoki undan ortiq issiqlik energetik kattaliklarni bevosita o'lchash va demak, aniqlanishi kerak bo'lgan kattaliklarning xatoliklarini bevosita o'lchanuvchi kattaliklarning xatoliklari orqali aniqlash zarur bo'ladi. Bu vazifa ham differensial usullar asosida hal qilinadi. Matematika tili bilan aytganda ko'p argumentli ushbu $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ funksiyaning mutlaq va nisbiy xatoliklarini aniqlash lozim. Buning uchun argumentlar orttirmalari mutlaq

qiymatlarining funksiyaning shu argument bo'yicha hosilasi mutlaq qiymatiga tegishli ko'paytmalari yig'indisi aniqlanadi. U funksiya orttirmasining mutlaq qiymatiga (xatosiga) teng bo'ladi:

$$\Delta Y = \left| \frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_1} \right| + \left| \frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_2} \Delta X_2 \right| + \dots + \dots + \left| \frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_n} \Delta X_n \right|,$$

Bunda $\frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_1}$, \dots , $\frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_n}$ lar funksiyaning xususiy differensiallari. Argument orttirmalarining mutlaq qiymatlari $[|\Delta X_1|, |\Delta X_2|, \dots, |\Delta X_n|]$, bevosita o'lchanadigan issiqlik energetikasi va fizikaviy kattaliklarning mutlaq xatoliklarini aks ettiradi. Funksiyani differensiallash vaqtida argumentlar orasidagi turlicha bog'lanish xarakterlari tufayli musbat va manfiy ishorali hadlar hosil bo'ladi. Xatoliklar nazaryasining, o'lchash jarayonida sodir bo'luvchi xatoliklar qo'shiladi, degan qoidasiga binoan biz yuqorida murakkab funksiya differensial ifodasida hamma hadlarning mutlaq qiymatlarini oldik. Misollar qaraymiz. Elektr quvvat ushbu

$$W = JU \quad (2.9.5)$$

Ifodadan aniqlanishi mumkin. Quvvatni aniqlashdagi mutlaq xatolik bevosita o'lchanuvchi I tok kuchi va U kuchlanishlarning mutlaq xatoliklari orqali quyidagicha topiladi:

$$\Delta W = J\Delta J + J\Delta U \quad (2.9.6)$$

Om qonuni asosida bevosita o'lchashlardan $R = \frac{U}{I}$ ifoda orqali aniqlanuvchi qarshilikning mutlaq xatoligini topish uchun ushbu ifodaning argumentlari (U, I) bo'yicha hosilasini topamiz:

$$dR = \frac{dU}{I} - \frac{UdI}{I^2} \quad (2.9.7)$$

Bu ifoda asosida funksiyaning mutlaq xatoligini hisoblash uchun ikkinchi had oldidagi manfiy ishorani musbat ishora bilan almashtirish lozim:

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{I} + \frac{U\Delta I}{I^2} \quad (2.9.8)$$

Bilvosita o'lchanayotgan fizikaviy kattalik ifodasi bo'yicha shu kattalikning nisbiy xatoligini aniqlash uchun yuqorida ko'rsatilgan usuldan foydalanish tavsiya

qilinadi. YA'ni $\frac{\Delta Y}{Y}$ ni aniqlash uchun murakkab ifoda-funksiyaning natural logarifmidan hosila olinadi:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = [\ln f(X_1, X_2, \dots, X_n)]' \quad (2.9.9)$$

Aytilganlarga konkret misol keltiramiz. Sterjenning egilishidan Yung modulini aniqlashda qo'yidagi ifodadan foydalaniladi:

$$E = \frac{PL^3}{4ab^3\lambda} \quad (2.9.10)$$

Bunda P- sterjenni eguvchi yuk, L – sterjenning tayanch nuqtalari orasidagi uzunligi, α –sterjenning eni, b – sterjenning qalinligi, λ – egilish yoyi. E ni aniqlashdagi nisbiy xatolikni hisoblash ifodasini topaylik. Avval (7.10) ifodaning natural logarifmini yozamiz:

$$\ln E = \ln P = 3\ln L - \ln 4 + \ln \alpha - 3\ln b - \ln \lambda,$$

Endi shu ifodani differensiallaymiz:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta P}{P} + 3\frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta \alpha}{\alpha} - 3\frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$$

Barcha manfiy ishoralarni musbat ishoralar bilan almashtirib chiqamiz:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta P}{P} + 3\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta \alpha}{\alpha} + 3\frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta \lambda}{\lambda}. \quad (2.9.11)$$

Bu ifoda E ning nisbiy xatoligini hisoblashga imkon beradi. Bunda $\Delta P, \Delta L, \Delta \alpha, \Delta \lambda$ lar o'rniga tajriba paytida o'lchash asboblari kiritilgan va tasodifiy xatoliklar yig'indisi olinadi.

Aniqlanuvchi kattalikning to'la xatoligi ayrim o'lchashlarning xatoliklari yig'indisi asosida belgilanganligidan har bir bevosita o'lchashda yo'l qo'yiladigan xatolikning umumiy xatolikka qo'shadigan hissasini bilish muhimdir. Agar o'lchanuvchi har bir kattalik xatoligining hissasini bilsak, bu kattalikni o'lchashda ishlatiladigan asboblarga muayyan talablar qo'ya olamiz, shuning bilan birga, bu o'lchashni necha marta takrorlash kerakligini belgilab olishimiz mumkin. Ikkinchi tomondan, ba'zi kattaliklarni o'lchashda ortiqcha aniqlikka intilish zaruriyati bo'lmay qoladi. Bu aytilgan mulohazalarni qo'yidagi amaliy misollarda tushuntiramiz.

1. Aytaylik, (2.9.11) ifoda asosida tajribada muayyan jism uchun Yung modulini aniqlashda o'lchash asboblari qo'yiladigan talablarni va tajribaning natijaviy xatoligini aniqlash zarur bo'lsin. Magistrlar va talabalar tajriba sharoitida sterjen uzunligini millimetrli chizg'ichda, sterjenning eni va qalinligini shtangensirkulda o'lchaydilar. Qo'yiluvchi yuklarning massasi esa yetarlicha katta aniqlikda tarozilarda o'lchanishi mumkin. Yog'och sterjen olinganda amalda uning o'lchamlari ko'pincha qo'yidagicha bo'ladi:

$$L = 600 \text{ mm}, a = 30 \text{ mm}, b = 6 \text{ mm}, P = 100 \text{ G}.$$

Alohida o'lchashlarning nisbiy xatoliklarini aniqlash va o'zaro taqqoslash orqali egilish yoyini o'lchashda ishlatiladigan asbobga qo'yiladigan shart aniqlanadi.

Buni (*) ifoda yordamida bajarish mumkin. Aytilganlarga ko'ra, $\Delta a = \Delta b = 0,05 \text{ mm}$, $\Delta L = 1 \text{ mm}$, P ni esa tajriba sharoitida istalgancha yuqori aniqlikda o'lchash mumkin, shuning uchun $\Delta R = 0$ deb olamiz. U holda

$$\frac{3 \Delta L}{L} = 0,005 = 0,5\%, \frac{\Delta a}{a} = 0,002 = 0,2\%; \frac{3 \Delta b}{b} = 0,025 = 2,5\%$$

Yog'och uchun $E = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$ deb olsak, tajriba sharoitida $\lambda = 0,56 \text{ mm}$ bo'ladi. Endi λ ni o'lchashdagi xatolik boshqa kattaliklarni o'lchashdagi eng katta xatolikdan, ya'ni 2,5% dan ortiq bo'lmasligi uchun λ o'lchanadigan asbob aniqligiga qo'yiladigan shartni topamiz. U qo'yidagi munosabatdan aniqlanadi:

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = 0,025 \text{ yoki } \Delta \lambda = 0,56 \cdot 0,025 = 0,014 \text{ mm}.$$

Ko'rinib turibdiki, bu aniqlikka shtangensirkul yordamida erishib bo'lmaydi. Shu sababli λ ni o'lchashda shtangensirkulga qaraganda 10 marta yuqori aniqlikni ta'minlovchi mikrometrdan foydalanish tavsiya qilinadi.

Tajribada issiqlik energetikasi va fizik kattalikni o'lchash vaqtida yo'l qo'yiluvchi to'la nisbiy xatolikni bilvosita usul bilan aniqlashga oid misol qaraymiz.

2. Yoqilg'ining issiqlik berish qobiliyatini D.I.Mendeleyevning empirik formulasi:

$$Q^n = 339^\circ S + 1030 H^i - 109(0^i - 5^i) - 24(9 H^i - W^i) \text{ kJ/kg} \quad (2.9.12)$$

bilan va laboratoriyada yoqilg‘ining issiqlik berish qobiliyatini tajriba yo‘li bilan kalometr yordamida aniqlanishi mumkin. Shuningdek qattiq jism (toshko‘mir)ni solishtirma issiqlik sig‘imini ham kalometr yordamida aniqlash laboratoriyasiga doir “Qattiq jismning solishtirma issiqlik sig‘imini kalometr yordamida aniqlash degan ishda jismning solishtirma issiqlik sig‘imi

$$S = \frac{(S_1 m_1 + C_2 m_2)(T_m - T_0)}{m(T_2 - T_m)} \quad (2.9.12)$$

Ifodadan hisoblanadi. Bunda tekshirilayotgan jismning massasi

$$m = (110 \pm 0,5) \cdot 10^{-3} \text{ kg};$$

Kalorimetrning qorgich bilan birgalikdagi massasi $m_1 = (150 \pm 0,5) \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ va solishtirma issiqlik sig‘imi $S_1 = (386 \pm 0,5) \text{ J/kg} \cdot \text{K}$; kalometr ichidagi suvning massasi $m_2 = (100 \pm 1) \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ va solishtirma issiqlik sig‘imi $S_2 = (4190 \pm 0,5) \text{ J/kg} \cdot \text{K}$; kalometr bilan uning ichidagi suvning boshlang‘ich temperaturasi $T_0 = (291 \pm 0,1)^\circ \text{K}$; tekshirilayotgan jismning qizdirilgandan keyingi temperaturasi $T_2 = (371 \pm 2)^\circ \text{K}$; jism va kalometrda suvdan iborat aralashmaning temperaturasi $T_m = (299 \pm 0,1)^\circ \text{K}$ bo‘lsin. O‘lchangan kattaliklar uchun keltirilgan mutlaq xatoliklarda asboblarning muttasil xatoliklaridan tashqari o‘lchash usuli bilan bog‘liq bo‘lgan bir qator xatoliklar ham hisobga olinadi. Masalan, kalometr idishi, qorgich va isitiluvchi jism massalarini hamda temperaturalarini aniqlashda bir qator kamchiliklarga (massalari o‘lchanishi kerak bo‘lgan jismlarning qoldiq namligi, jismlarning notekis isishi, energiyaning tashqi muhitga tarqalishi va hokozo) yo‘l qo‘yiladiki, ularni tajriba paytida nazorat qilib turish mushkuldir.

Yuqoridagi ko‘rsatmalar asosida (7.12) ifodaning nisbiy xatoligini aniqlaymiz. Ifodani logarifmlash va differentsiallashtirish qo‘yidagini beradi:

$$\frac{dC}{C} = d[\ln S] = d[\ln(C_1 m_1 + C_2 m_2) + \ln(T_m - T_0) - \ln m - \ln(T_2 - T_m)] = \\ \alpha[\ln(C_1 m_1 + C_2 m_2) + d[\ln(T_m - T_0)]] - d[d[\ln m] - d[\ln(T_2 - T_m)]].$$

O‘xshash o‘zgaruvchilar differentsiallarini yig‘ib chiqqandan so‘ng, hozirgi zamonaviy quyosh energiyasidan foydalanib isitiladigan namunaviy uylarda qo‘llaniladigan yassi devor suvli bak issiqlik akkumulyatoridagi temperatura

o‘zgarishini aniqlash maqsadida issiqlik energetikasi mutaxassisligi magistrleri “suv aralashmasi temperaturasi aniqlash” mavzusidagi laboratoriya ishining topshirig‘ini bajarishi lozim differensialning matematik tushunchasidan maksimal nisbiy xatolik tushunchasiga o‘tamiz. Buning uchun hamma hadlarning mutloq qiymatlarini olamiz, d ni Δ bilan almashtiramiz, ifoda oldiga \pm ishora yozamiz va $\Delta T_0 = \Delta T_m$ ekanligini hisobga olgan holda qo‘yidagini yozamiz:

$$\frac{\Delta S}{S} = \left(\frac{2\Delta T_0}{T_m - T_0} + \frac{S_1 \Delta m_1 + C_2 m_2}{S_1 m_1 + C_2 m_2} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta T_2 + \Delta T_m}{T_2 - T_m} \right) \cdot 100\% = (0,25 + 0,0048 + 0,0045 + 0,034) \cdot 100\% = (2,5 + 0,48 + 0,45 + 3,4)\% = 7,3\%.$$

Oxirgi natijadan ko‘rinib turibdiki, massalarni o‘lchashga oid bo‘lgan xatoliklar temperaturalarni o‘lchashdagi xatoliklarga nisbatan kichikdir. Hozirgi zamonaviy quyosh energiyasidan foydalanib isitiladigan namunaviy uylarda qo‘llaniladigan yassi devor suvli bak issiqlik akkumulyatoridagi temperatura o‘zgarishini aniqlash maqsadida issiqlik energetikasi mutaxassisligi magistrleri “suv aralashmasi temperaturasi aniqlash” mavzusidagi laboratoriya ishining topshirig‘ini bajarishi lozim.

“Suv aralashmasi temperaturasi aniqlash”.

Ishning maqsadi: Temperaturalari t_1 va t_2 bo‘lgan, m_1 va m_2 massali suv miqdorlarini kalorimetrda aralashtirish va aralashmaning temperaturasi 0°C aniqlash.

I. Kerakli asbob va jixozlar:

1. Dyuar idishli kalorimetr 38416,
2. Temperaturani o‘lchash uchun raqamli asbob 666 190,
3. Temperatura datchigi 83 02,
4. O‘quv laboratoriya tarozisi 610 315 23,
5. Menzurka, 400 ml, 664 104,
6. Saqlovchi to‘r, qizdirish uchun rezistor (elektroplitka)-303 58

II. Ishni nazariy qismi

Har qanday jismda atom va molekullarning o‘zaro ta’siri va uzluksiz harakatlari jismning issiqlik holatiga bog‘liqdir. Jismning temperaturasi ko‘tarila

borishi Broun harakati, idish devorlariga ko'rsatadigan bosim va diffuziya tezligi orta boradi. Bu esa jismning issiqlik holati molekulalarning tartibsiz harakat tezliklari bilan bog'liqligini ko'rsatadi. Shuning uchun molekulalarning xaotik harakatiga issiqlik harakati ham deyiladi.

Jismni tashkil qilgan molekulalarni har biri issiqlik harakati hisobiga kinetik energiyaga ega bo'ladi.

Ular orasida o'zaro ta'sir kuchlari sababli jismni tashkil qilgan molekulalar potensial energiyaga ham ega bo'ladi. Jismni tashkil qilgan molekulalarning kinetik va potensial energiyalarining yig'indisiga jismning *ichki energiyasi* deyiladi. Har qanday jismning ichki energiyasi issiqlik holatiga bog'liq bo'lib, jismni issiqlik holatining o'zgarishi bilan ichki energiyasi o'zgaradi. Jismni issiqlik holatini uni temperaturasi belgilaydi. Jismning temperaturasi molekulalarning kinetik energiyasiga bog'liq: molekulalarning kinetik energiyasi qanchalik ko'p bo'lsa, jismni temperaturasi shunchalik yuqori bo'ladi.

Mexanik ish bajarmasdan jismlar bilan atrofdagi muhit orasidagi ichki energiyaning almashinishiga *issiqlik almashinish* deyiladi. Issiqlik almashinish jismlarning bir – biriga tegib turganda va bir-biridan ma'lum uzoqlikda sodir bo'lib, bunda jismlarning ichki energiyasi o'zgaradi.

Jismni issiqlik almashish protsessida ichki energiyaning o'zgarishiga berilgan yoki olingan issiqlikga *issiqlik miqdori* deyiladi va Q harfi bilan belgilanadi. Q issiqlik miqdori issiqlik almashinish jarayonida berilgan yoki olingan energiya miqdorini belgilaydi. Issiqlik miqdorini o'lchov birligi qilib kaloriya qabul qilingan edi.

1 kaloriya *deb*, 1 g distillangan suvni $19,5^{\circ}S$ dan $20,5^{\circ}S$ cha isitish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoriga aytiladi. 1 kaloriya issiqlik miqdori 4,19 J ishga ekvivalent $1\text{ kal}=4,19\text{ J}$.

Tabiatda issiqlik almashish hodisasi issiqlik o'tkazuvchanlik, nurlanish va konveksiya yo'li bilan amalga oshiriladi.

Tajriba ko'rsatadiki, berilgan jismni isitish, ya'ni ichki energiyasini oshirish uchun zarur bo'lgan issiqlik Q miqdori uning qizish temperaturasi $\Delta t = t_2 - t_1$ ga proporsional bo'ladi, ya'ni

$$Q = C(t_2 - t_1) = C\Delta t \quad (2.9.13)$$

t_1, t_2 – jismning boshlang'ich va oxirgi temperaturasi. S-moddaning issiqlik sig'imi, moddaning tarkibi va massasiga bog'liqdir. (2.9.13) formulaga asosan moddaning issiqlik sig'imi qo'yidagiga teng bo'ladi.

$$C = \frac{Q}{t_2 - t_1} \quad (2.9.14)$$

Moddaning solishtirma issiqlik sig'imi esa qo'yidagiga teng bo'ladi:

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

bu yerda c – moddaning solishtirma issiqlik sig'imi bo'lib, u moddaning tarkibiga bog'liq bo'lib, har xil moddalar uchun turlicha qiymatga ega.

Moddalarning solishtirma issiqlik sig'imi va boshqa issiqlik kattaliklarini aniqlashda kalorimetr usulidan foydalaniladi.

III. Asosiy tushunchalar.

a) Aralashma temperaturasi:

Turli temperaturali suvlar aralashmasining θ temperaturasini aniqlaymiz. Sovuq suv t_1 temperaturadan θ ga isiganda olgan issiqlik miqdori

$$Q_{ol} = cm_1(\theta - t_1) \quad (2.9.15)$$

Issiq suv t_2 temperaturadan θ gacha isiganda olgan issiqlik miqdori:

$$Q_{ber} = cm_2(t_2 - \theta) \quad (2.9.16)$$

Issiqlik balans tenglamasini tuzamiz. Agar turli temperaturali ikki modda bir biriga tutashtirilsa, issiqlik almashinuvi jarayonidan keyin bu moddalar orasidagi temperaturalar farqi nolga teng bo'ladi.

Aralashmaning temperaturasini aniqlash uchun quyidagi qoida qo'llaniladi:

$$cm_1(\theta - t_1) = cm_2(t_2 - \theta) \quad (2.9.17)$$

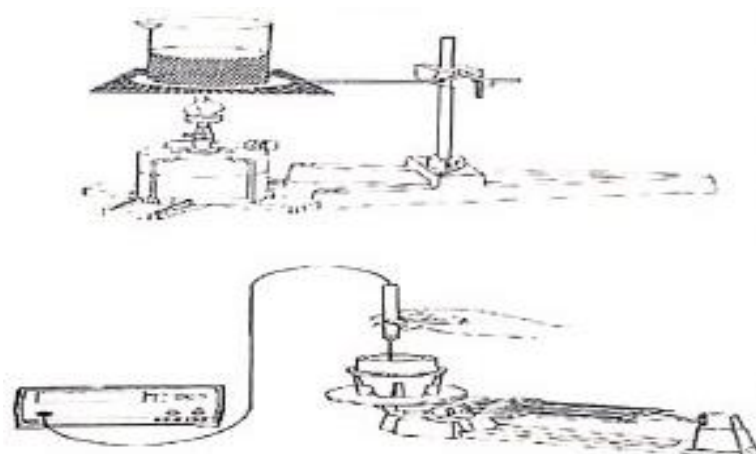
bu yerda c – moddaning solishtirma issiqlik sig'imi; m_1 va m_2 ularning massalari; t_1 va t_2 mos ravishda ularning temperaturalari, θ – esa aralashmaning umumiy temperaturasi.

Turli temperaturali moddalarni aralashtirish bo‘yicha tajribalarda issiq jismdan berilgan issiqlik miqdori, sovuq jism olgan issiqlik miqdoriga teng. Ko‘rilayotgan holda, issiq suv bergan issiqlik miqdori Q_1 , sovuq suv olgan issiqlik miqdoriga Q_2 , teng, ya’ni $Q_1 = Q_2$. Agar suvning solishtirma issiqlik sig‘imi s ma’lum bo‘lsa, unda turli massali suv aralashmasining temperaturasi (7.18) formula yordamida quyidagi formula bo‘yicha hisoblanishi mumkin (tajriba qurilmalarining sxemasi va umumiy ko‘rinishi (2.9.1) va (2.9.2) rasmlarda keltirilgan)

$$c = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kgK})$$

$$\theta = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} \quad (2.9.18)$$

b) Tajriba qurilmasi:



2.9.1-rasm. Suv aralashmasi temperaturasi tajribada aniqlash qurilmasi



2.9.2-rasm. Tajriba qurilmasi.

v) Ishni bajarish tartibi:

1. Dyuar idishini taroziga qo‘ying va uni bo‘sh holatda torting.
2. Unga temperaturasi 60^0 gacha qizdirilgan, $m_2 = 0,1\text{kg}$ massali suv quyung.

3. Oldin sovuq suvning temperaturasi t_1 aniqlang va keyin kalorimetr ichidagi suvning temperaturasi t_2 aniqlang

4. Kalorimetrga $m_1 = 0,15$ kg massali sovuq suv qo'shing.

5. Suvni aralashiring va aralashmaning temperaturasi θ o'lchang.

6. Tajribani sovuq suv va issiq suv massalarining boshqa nisbatlari uchun qaytaring.

7. Tajribani 3-4 marta takrorlang va ularning xatoliklarini hisoblang.

g) Hisoblash natijalari

Tajriba namunasi: (2.9.6-jadval).

2.9.6-jadval

Suv massasi m_1	Kg	0,1	0,125	0,15
Suv massasi m_2	Kg	0,125	0,125	0,1
m_1 massali suvning <u>temperaturasi</u> t_1	°S	22,8	22,8	23,0
m_2 massali suvning <u>temperaturasi</u> t_2	°S	69,2	69,2	64,0
Aralashmaning o'lchangan temperaturasi θ	°S	43,4	43,4	38,8
Aralashmaning hisoblangan temperaturasi θ	°S	46,0	46,0	39,4

Tajriba natijalari (2.9.7-jadval).

2.9.7-jadval

Suv massasi m_1	kg			
Suv massasi m_2	Kg			
m_1 massali suvning <u>temperaturasi</u> t_1	°S			
m_2 massali suvning <u>temperaturasi</u> t_2	°S			
Aralashmaning o'lchangan temperaturasi θ	°S			
Aralashmaning hisoblangan temperaturasi θ	°S			

Tajriba natijalari va ularning tahlili (1-2-jadval asosida) va absolyut va nisbiy xatoliklari hisoblanadi.

2.10. Muttasil va tasodifiy xatoliklarni birgalikda hisobga olish.

O'lchanayotgan kattalikni haqiqiy qiymatini baholari.

Biz yuqorida tajribada yuzaga kelgan xatoliklarni aniqlash jarayonidagi muttasil xatolik bilan tajribachiga va tashqi omillarga bog'liq bo'lgan tasodifiy xatoliklarning yig'indisiga bog'liq ekanligini ko'rsatib o'tgan edik.

Aytaylik, qonun ifodasi $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ko'p argumentli funksiya ko'rinishida bo'lsin. Unda funksiyaning o'rtacha kvadratik xatoligi

$$\Delta Y_{kv} \sqrt{\Delta Y^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial X_1}\right)^2 \Delta X_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial X_2}\right)^2 \Delta X_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial X_n}\right)^2 \Delta X_n^2} \quad (2.10.1)$$

ko'rinishda ifodalanadi.

Bu ifodadagi $\Delta X_1, \Delta X_2, \dots, \Delta X_n$, lar muayyan ishonchlilik uchun (2.10.1) dan hisoblangan xatoliklardir. Bunda $\left(\frac{\partial f}{\partial X_1}\right), \left(\frac{\partial f}{\partial X_2}\right), \dots, \left(\frac{\partial f}{\partial X_n}\right)$ lar funksiya argumentlarining o'rtacha qiymatlari bo'yicha hisoblanadi. Demak, bu holda izlanayotgan energetik va fizik kattaliklarni haqiqiy qiymatini Y dan chetlashishi yuqorida tanlangan ishonchlilikka ega bo'ladi. a_n ishonchlilik uchun Y ning mavjud bo'lish oralig'i

$$\bar{Y} - \Delta Y_{kv} < Y < \bar{Y} + \Delta Y_{kv}$$

bu yerda \bar{Y} funksiya argumentlarini bir xil sharoitda qator takroriy o'lchashlardan topilgan o'rtacha qiymatidir. Agar tajriba sharoitida takroriy o'lchashlar imkoni bo'lmasa, u holda \bar{Y} o'rniga muayyan yakka o'lchash asosida hisoblangan Y_i olinadi. $\Delta X_1, \Delta X_2, \dots, \Delta X_n$, lar o'rniga esa berilgan kattalikni o'lchashda ishlatilgan asbobning xatoligi olinadi. Shunday tarzda aniqlangan Y kattalik $a_n = 0,68$ ishonchlilikka ega bo'ladi.

Umuman aytganda, agar muttasil xatolik asbob pasportida ko'rsatilgan xatolikdan tashqari asbob xususiyatining o'zgarishi (eskirishi) bilan ham bog'liq bo'lsa, ularning yig'indisini baholash lozimdir. Odatda, asbobni darajalash vaqtida shkalaning eng kichik bo'limi asbob xatoligidan katta qilib olinib, amaliy maqsadlarda asbob xatoligi uchun kichik bo'limning yarmiga to'g'ri kelgan qiymatdan foydalaniladi. Asbob xatoligi $\alpha = 0,99$ ishonchlilik uchun berilib, u

maksimal mutloq xatolikka mos keladi. Bilvosita o'lchashlar usul bilan bog'liq xatolik aloxida baholanishi lozim.

Bitta kattalikni bir xil sharoitda o'lchashlar bir xil qiymatlar bersa, bu hol tasodifiy xatolikning asbob xatoligidan kichik ekanligini bildiradi va bunday hollarda takroriy o'lchashlarga zaruriyat bo'lmaydi hamda asbob xatoligi to'la xatolikni belgilaydi. Aksincha, ko'p marta o'lchashlarda ham tasodifiy xatolik muttasil xatolikdan $5 \div 10$ marta ortiqlicigicha qolaversa, to'la xatolikni hisoblashda asbob xatoligini nazarga olmaslik mumkindir. Biroq tasodifiy xatolik qiymati muttasil xatolik bilan taqqoslanadigan darajada bo'lib qolgan hollarda o'lchash natijasining ishonch oralig'ini belgilash uchun har ikkala tur xatolikni nazarga olish kerak bo'ladi. Agar asbob xatoligi δ ga teng deb olsak, biror bevosita o'lchanayotgan X kattalikning a_n ishonchlilik uchun ishonch oralig'i quyidagicha bo'ladi.

$$\Delta X = \sqrt{t_{\alpha}^2(n)S_{\bar{x}} + \frac{t_{\alpha}^2(\infty)}{9}} \delta^2 \quad (2.10.2)$$

Bunda $t_{\alpha}(n)$ -ishonchlilik a_n va tajriba vaqtidagi n o'lchashlar soni uchun Styudent koeffitsiyenti, $t_{\alpha}(\infty)$ esa a_n ishonchlilik va cheksiz katta o'lchashlar soni uchun Styudent koeffitsiyenti. Bilvosita o'lchashlar holida qator bevosita o'lchanuvchi kattaliklar uchun muttasil va tasodifiy xatoliklar hisobga olinishi lozim bo'lsa, har safar (2.10.2) ifodadan foydalanish lozimdir.

Laboratoriya sharoitida "Kapillyar viskozimetr yordamida suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsiyentini aniqlash" degan ish natijasining xatoligini hisoblash formulalarini tatbiq qilish va muttasil xatoliklarni hisobga olish. Bu ishda suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsiyenti bevosiga o'lchanadigan kattaliklar bilan quyidagicha bog'langan:

$$\eta = \eta_0 \frac{\rho \cdot t}{\rho_0 \cdot t_0}, \quad (2.10.4)$$

Bu yerda η_0 – tajriba o'tkazilayotgan temperaturadagi suvning ichki ishqalanish koeffitsiyenti; ρ_0 – suvning shu temperaturadagi zichligi; ρ – tekshirilayotgan suyuqlikning zichligi, t_0 va t – muayyan hajimdagi suv va suyuqlikning oqib chiqish vaqtlari. Tajribada ρ, t_0 va t o'lchanadi, $\eta_0 \rho_0$ lar

jadvaldan olinadi. Bularning $291^{\circ}K$ temperaturadagi qiymatlari va ularning aniqliklari quyidagichadir:

$$\eta_0 = 1,05 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s; \Delta\eta_0 = 0,005 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s;$$

$$\rho_0 = 990 \frac{kg}{m^3} \Delta\rho = 2 \frac{kg}{m^3}$$

t_0 va t ni tajribada o'lchashdan olinadigan natijalar quyidagi 2.10.1 jadvalda keltirildi.

2 - jadval

Tartib raqami	t_{0l}	t_l	$\varepsilon_l = (t_l - \bar{t})$	ε_l^2
1	4,4	24,1	0,5	0,25
2		24,1	0,5	0,25
3		23,8	0,2	0,04
4		24,0	0,4	0,16
5		23,5	-0,1	0,01
6		23,4	-0,2	0,04
7		23,4	-0,2	0,04
8		23,2	-0,4	0,16
9		23,1	-0,5	0,25
		$\bar{t} = 23,6$		$\sum_{l=1}^n \varepsilon_l^2 = 1,20$

Areometr bilan o'lchangan glitserin zichligi $\rho = (1170 \pm 5) \frac{kg}{m^3}$ ga teng. Suvning oqib chiqish vaqtini besh marta o'lchash natijasi bir xildir, bu narsa asbobning muttasil xatoligi o'lchashlardagi tasodifiy xatolikdan katta ekanligini ko'rsatadi. Odatda bunday o'lchashlar bir marta bajariladi. t_0 va t larni o'lchashlar bir – biriga bog'liq bo'lmaganligi uchun ichki ishqalanish koeffitsiyentini aniqlash formulasiga vaqtning va zichlikning o'rtacha qiymatlarini qo'yib hisoblash mumkindir, ya'ni

$$\bar{\eta} = \eta_0 \frac{\bar{t} \cdot \bar{\rho}}{\bar{t}_0 \cdot \rho_0}, \quad (2.10.4)$$

U vaqtda topilgan qiymatlarni qo'yib hisoblab chiqarsak,

$$\eta = 6,70 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$$

$$\Delta\eta = \sqrt{\left(\frac{\partial\eta}{\partial d}\right)^2 \Delta\rho^2 + \left(\frac{\partial\eta}{\partial t}\right)^2 \Delta t^2 + \left(\frac{\partial\eta}{\partial t_0}\right)^2 \Delta t_0^2} \quad (2.10.5)$$

$\Delta\rho$, Δt , va Δt_0 ishonch oraliqlari chegaralari yuqorida bayon qilingan bevosita o'lchash natijalprini ishlash qoidalariga asosan bir xil α_n ishonchlilikda (8.1) formuladan hisoblanadi. Agar bularning ichida birortasi boshqalariga nisbatan katta bo'ladigan bo'lsa, ushbu xatolik $\Delta\eta$ ni aniqlashda ahamiyatlidir. Suvning oqib chiqish vaqtini aniqlashda sekundomerning muttasil xatoligi (0,2 sek) tasodifiy xatoligidan katta va axamiyatlidir. Glitserinning oqib chiqish vaqti t ni aniqlashdagi 9 ta o'lchashning tasodifiy xatoligi sekundomerning xatoligiga yaqin bo'lgani uchun Δt muttasilni aniqlashda har ikkala xatolikni quyidagi formula bo'yicha hisobga olinadi:

$$\Delta t = \sqrt{[t_\alpha(n)S_{\bar{t}}]^2 + \left[\frac{t_{\alpha(\infty)^2}}{3}\right] \delta^2} \quad (2.10.6)$$

Va shu tajribada $\alpha_n = 0,997$ ishonchlilik bilan $\Delta t = 0,45s$ bo'ladi.

Glitserin zichligini o'lchash xatoligi uchun ham yuqoridagi aytilganlar talluqlidir. Yuqorida aytilganlarning hammasini e'tiborga olib, $\alpha_n = 0,997$ deb olgan holda bajarilgan hisoblash natijasi $\Delta\eta = 0,5 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$ qiymatni beradi. Demak, izlanayotgan kattalik $\alpha_n = 0,997$ ishonchlilik bilan

$$\eta = (6,70 \pm 0,50) \cdot 10^{-3} Pa \cdot s \text{ ga teng. va } E = \frac{\Delta\eta}{\eta} = 7\%.$$

O'lchash natijalarini grafik ravishda tasvirlash. Hodisa va jarayonlarni o'rganish biror issiqlik energetik va fizik kattaliklarning boshqa bir yoki bir necha issiqlik energetik va fizik kattalikka bog'liq tarzda o'zgarishini qayd qilishdan iboratdir.

Matematika atamalariga ko'chsak, hodisa qonuniyatini o'rganish funksiyaning argumentlari orqali oshkor ko'rinishini aniqlashdan iboratdir. Bir yoki

ikkita parametrga (argumentga) bog‘liq bo‘lgan issiqlik fizikaviy kattaliklarning analetik ifodasini grafik ravishda yaqqol tasvirlash mumkin.

Masalan: Gorizontal quvurlar orqali erkin harakatlanadigan havo oqimida issiqlik berish koeffitsiyenti aniqlash mavzusidagi laboratoriya ishini bajarish jarayonida dastlab ishni tarkibini aniqlash lozim:

1. Issiqlik berish koeffitsiyenti α ni aniqlash uchun tajriba qurilmasini ishlash jarayonini o‘rganiladi.

2. Nazorat-o‘lchov pribor bilan tanishish va ishga tushirish jarayonini to‘g‘riligiga ishonch hosil qilinadi.

3. α – issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlash.

4. Turli issiqlik rejimlari uchun Nusselt va Grasgof o‘xshashlik kriterial sonlarini qiymatlari aniqlanishi kerak.

5. Nusselt va Grasgof o‘xshashlik kriteriyalari orasidagi bog‘lanishni topish kerak.

Binoda issiqlik almashtirish sistemasi bilan isitilganda havo isishi jarayonida erkin harakatlanish tizimiga muvofiq amalga oshadi. Bunda bino ichidagi havoga issiqlik almashtirish panelidan issiqlik beriladi va konvektiv issiq almashinuv jarayoni amalga oshadi. Issiqlik almashinuv panelidan havoga beriladigan issiqlik miqdori Nyuton – Rixman formulalardan foydalanib aniqlanadi:

$$Q = \alpha F \Delta t \quad (2.10.7)$$

bu yerda α – issiqlik berish koeffitsiyenti, $Vt/(m^2k)$; F –issiqlik beruvchi panelni yuzasi, m^2 ; Δt – issiqlik beruvchi panelning o‘rtacha temperaturasi bilan bino ichida serkulsiyalangan o‘rtacha havo temperaturalarining farqi, 0k ;

Issiqlik berish koeffitsiyenti α juda ko‘pgina faktorlarga bog‘liq bo‘ladi: temperaturalarga, va jinsining g‘adir – budirligiga va havo oqimining tezligi va boshqalarga.

Konvektiv issiqlik almashinuviga ta’sir etuvchi biror jarayonni tadqiq etish uchun boshqa faktorlarni o‘zgarimas deb hisoblanmasa juda ko‘p katta sondagi o‘zgaruvchilar yuzaga kelishi tufayli, murakkab jarayon tizimi hosil bo‘ladi. Bu marakkab jarayon o‘xshashlik nazariyasi orqali yechilishi uchun o‘lchanish issiqlik

fizikaviy kattaliklarni, o'lchashsiz komplekslar bilan birlashtirishni taqazo etadi. Shuning uchun issiqlik berish koeffitsiyenti α ni aniqlashda ko'pgina faktorlarni e'tiborga olmasdan o'lchashsiz kompleksdan foydalanish o'rinli bo'ladi.

Bu kompleks o'xshashlik kriteriyasi deyiladi. Bunday kriteriyalar tabiiy konveksiya jarayonida quyidagilar hisoblanadi:

1. Nusselt kriteriyasi yoki issiqlik berish kriteriyasi

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} \quad (2.10.8)$$

Bu yerda α – issiqlik berish koeffitsiyenti, $W/(m^2 \cdot K)$; λ – suvning issiqlik uzatish koeffitsiyenti, $W/(m \cdot K)$; d – quvurning diametri, m;

2. Grashof kriteriyasi yoki ko'tarish kuchi kriteriyasi;

$$Gr = \frac{g\beta\Delta T d^3}{\nu^2} \quad (2.10.9)$$

bu yerda g – erkin tushish tezlanishi ($g = 9,8m/s^2$); β – suyuqlikning temperaturasini hajmi kengayish koeffitsiyenti, K^{-1} (havo uchun $\beta = \frac{1}{T_{o'r}}K^{-1}$, bu yerda $T_{o'r} = \frac{T_g + T_x}{2}$ temperatura aniqlanadi); $\Delta T = T_g - T_x$ – temperatura o'zgarishini hisobi (bino devori va ichki havo temperaturasi), K; ν – suyuqlikning kinematik yopishqoqlik koeffitsiyent, m^2/s ;

3. Prandtl kriteriyasi, yoki suyuqlik tarkibini issiqlik fizikaviy kriteriyasi,

$$Pr = \frac{\nu}{a} \quad (2.10.10)$$

Bu yerda a – temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m^2/s ;

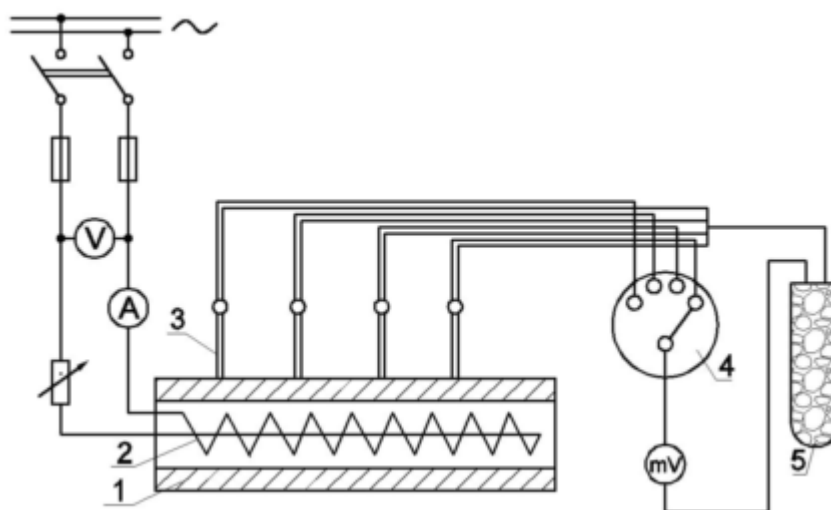
O'xshashlik nazariyasiga muvofiq yuqorida ko'rsatilgan kriteriyalarni bir qiymatli bog'lanishi quyidagi ifodalanadi

$$Nu = f(G_2, Pr) \quad (2.10.11)$$

Gazlar uchun $Pr = const$ deb hisoblash mumkin, chunki Pr - kriteriyasi amaliy jihatdan berilgan yuz uchun bosim va temperaturaga bog'liq bo'lmaydi. Shuning uchun (2.10.11) formula quyidagicha ifodalanadi

$$Nu = f(G_2) \quad (2.10.12)$$

α – issiqlik berishi koeffitsiyentini tajribada aniqlash qurilmasi quyidagi 2.10.1- rasmda keltirildi.



2.10.1 – rasm Issiqlik berish koeffitsiyenti α – ni aniqlash qurilmasini sxemasi: 1- quvur; 2- isitgich; 3- termopara; 4 – ko‘p tarmoq nuqtali qo‘shgich – ajratgich (potensiometr) 5 – bir tomoniga muz saqlanadigan Dyuar idish.

Qurilmada 1- po‘lat quvur bo‘lib, ularning diametri $\alpha \approx 54 \div 60 \text{ mm}$ va uzunligi $800 \div 1500 \text{ m}$ dan iborat. Quvurlarning ichidan 2 – nixromli elektr qizdirgich sim o‘tkazilgan bo‘lib, uzunlik bo‘yicha issiqlik teng taqsimlanadi. Simdan ajraladigan issiqlik miqdori quvurni qizdirishiga sarflanadi. Qizdiriladigan istemolchi uchun elektr quvvat ampermetr va voltmotr bilan o‘lchanadi. Reostat esa elektr qizdirgich quvvatini roslash yani istemolchiga beriladigan issiqlik rejimni o‘zgartirish vazifasini bajaradi.

Quvur sirtidagi temperatura o‘zgarishi unga biriktirilgan 3 termoparalar soni 4 tadan 6 tagacha bo‘lib temperatura o‘zgarishi o‘lchab boriladi. Termoparalar maxsus tayyorlanib, 4 potensiometr ga va ikkinchi tomoni muzli Dyuar idishga joylashtirilgan bo‘lib, termopara orqali harakatlanadigan Eyuk laboratoriya potensiometri bilan har 5 minutda 1 martadan o‘lchab boriladi.

Gorizontal quvur orqali harakatlanadigan havoning issiqlik berishi koeffitsiyenti quyidagi formula bilan hisoblanadi.

$$\alpha = \frac{Q_k}{F(T_g - T_x)} Vt / (m^2 \cdot k); \quad (2.10.13)$$

Bu yerda Q_k – quvur atrofida konvektiv harakatlanadigan havoga berilgan issiqlik miqdori, Vt . F – po‘lat quvurning issiqlik beradigan yuzasi, m^2 ; T_g – po‘lat

quvur yuzasining o'rtacha absolyut temperaturasi, K; T_h – laboratoriyadagi havoning absolyut temperaturasi, K; T_g va T_h larning o'rtacha temperaturasi quyidagi formulada hisoblanadi:

$$T_g = \frac{t_1+t_2+t_3+t_4}{4} + 273,15 \text{ k va } T_h = t_h + 273,15 \text{ k}$$

bu yerda t_1, t_2, t_3, t_4 , – temperaturalar quvurlarda joylashtirilgan nuqtalardagi termoparalarni ko'rsatishi, °S. Gorizontall joylashgan quvurlardan konvektiv harakatlangan havoga beriladigan konvektiv issiqlik Q_k –miqdori quyidagi tenglamadan hisoblanadi.

$$Q_k = Q_{to'l} - Q_n \quad (2.10.14)$$

bu yerda Q_t –gorizontall quvurdan konvektiv va nurlanish yo'li bilan berilgan to'liq issiqlik miqdori; Q_n –laboratoriyadagi havoga nurlanish yo'li bilan berilgan issiqlik miqdori; Q_t – to'liq issiqlik miqdori, gorizontall quvurli qizdirishga sarflangan elektr energiyasi quvvati orqali aniqlanadi; U – qizdirgich klemalaridagi kuchlanish, V.

Nurlanish yo'li bilan beriladigan issiqlik miqdori quyidagi formula orqali aniqlanadi.

$$Q_n = S_{kel} F \left[\left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_x}{100} \right)^4 \right] \quad (2.10.15)$$

bu yerda F –quvurning yuzasi, m²; S_{kel} – issiqlik nurlanishining keltirilgan koeffitsiyenti, Vt/(m² · k); T_g va T_x - po'lat quvurning absolyut temperaturasi va atrof muhitning havo temperaturalarini.

Issiqlik nurlanishining keltirilgan koeffitsiyenti quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$S_{kel} = \frac{1}{\frac{1}{S_1} + \frac{F}{F_1} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0} \right)} \quad (2.10.16)$$

bu erda S_1 – po'lat quvur devorining nurlanish koeffitsiyenti, Vt/(m² · k⁴); C_2 – bino devorini nurlanish koeffitsiyenti, Vt/(m² · k⁴); C_0 – absolyut qora jismning nurlanish koeffitsiyenti, Vt/(m² · k⁴); F – quvurning yuzasi, m²; F_1 – bino devorining yuzasi, m².

Quvur yuzasi bino devorining yuzasiga nisbatan ancha kichik, shuning uchun (2.10.15) tenglamadagi S_{kel} –keltirilgan issiqlik nurlanish koeffitsiyenti taxminan quvur devori yuzasini nurlanish koeffitsiyenti S_1 ga teng deb olinadi.

Demak

$$Q_n = S_1 F \left[\left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_x}{100} \right)^4 \right], \text{ Vt}$$

Tenglama orqali Q_n – hisoblash o‘rinli bo‘ladi.

Nu va Gr kriteriyalari (2.10.8) va (2.10.9) formulalardan aniqlanadi. λ va α larni berilgan temperaturadagi qiymatlari 2.10.2-jadvaldan olinadi.

2.10.2- jadval

Aniqlanadigan temperatura	Havoning issiqlik uzatish koeffitsiyenti, Vt/(m· k)	Havoning kinematik yopishqoqlik koeffitsiyenti, 10⁻⁶m²/s
20	0,0260	15,6
30	0,0272	17,6
40	0,0281	18,6
50	0,0288	19,5
60	0,0294	21,6

Odatda o‘xshashlik kriteriyalarni darajalari o‘zaro bog‘liq funksiyalar sifatida quyidagicha ifodalanadi.

$$Nu = c Gr^n \quad (2.10.17)$$

Bu yerda s va n lar tajribadan olinadigan doimiy sonlar (2.10.11) tenglamani logarifmlab quyidagi tenglamani olamiz

$$\lg Nu = \lg c + n \lg Gr \quad (2.10.18)$$

$\lg Nu = Y$, $\lg Gr = X$ va $\lg c = A$ deb belgilaymiz va to‘g‘ri chiziq tenglamasini olamiz.

$$Y = A + nx$$

Bu yerda n –absissa o‘qiga nisbatan tangens burchak α - qiylalini ifodalaydi va kriterial tenglamalar orasidagi bog‘lanish $\lg Nu = f(\lg Gr)$ ko‘rinishida

ifodalanadi va koordinatalardagi bog‘lanishlarga grafigiga muvofiq n –ning qiymatlarini aniqlanadi.

n – ning son qiymatlarini quyidagi tenglamadan aniqlaymiz $n = tg\alpha = \frac{\alpha}{b}$ va s -ni qiymatlarini quyidagi munosabatdan aniqlaymiz.

$$c = \frac{Nu}{Gr^4}$$

Tajriba natijalarini 2.10.3- jadvalga joylashtiramiz

2.10.3 jadval

Tajriba raqami	O‘lchash-lar raqami	Vaqt	Tok kuchi	Kuchlanish	Potensiometr ko‘rsatishni				Devorning temperaturasi, °C				Havoning temperaturasi, °C					
			A	V	M	V	1	2	3	4	1	2	3	4				

Laboratoriya ishlarini bajarayotganda talabalarga asosan to‘g‘ri burchakli koordinatalar tizimidan foydalanishga to‘g‘ri keladi. Issiqlik fizikaviy qonuniyat xarakteriga qarab, parametrlar orasidagi bog‘lanish chizig‘iy, kvadratik, eksponensial, logarifmik va hokazo tarzda bo‘lishi va demak, grafikda ularni xarakterlovchi chiziqlar ham tegishli xarakterda bo‘lishi mumkin. Grafik chizishda, odatda tajribachi kordinatalar tizimining absissa o‘qiga o‘z ixtiyori bilan tanlab oladigan kattalikni tajriba natijalariga muvofiq joylashtiriladi. Grafik chizishda eng muhim amaliy holatlardan biri- olingan ma’lumotlarning o‘zgarish oralig‘ini hisobga olgan holda har bir koordinata o‘qi uchun maqbul masshtab tanlashdir. Masshtab tanlashda amal qilinadigan muhim shartlardan biri shuki, uning eng kichik ulushi o‘lchashning to‘la xatoligidan kichik bo‘lmasligi lozim. O‘qlarga qo‘yiladigan kattaliklar o‘zlarining issiqlik fizikaviy tabiatlari jihatdan turlicha bo‘lishligidan, ularning har biri uchun masshtab shunday tanlanishi lozimki, bunda grafik o‘qlari juda uzun yoki juda qisqa bo‘lib qolmasin. Grafik chizish oldidan tajriba natijalari jadvalda qayd qilinadi. Jadvaldagi bir biri bilan bog‘liq bo‘lgan ma’lumotlar jufti grafikda muayyan nuqtani beradi. Shunday nuqtalar majmuasi asosida tegishli chiziq chiziladi. O‘lchash asbobining xatoliklari va boshqa omillar

ta'sirida yuz beradigan xatoliklar mavjudligi tufayli bu nuqtalar biror ravon chiziq ustida joylashmaydi. Shu sababli bog'lanish chizig'ini tajribaviy nuqtalar ikkala tomonda simmetrik joylashadigan qilib o'tkaziladi. Har bir nuqtaning o'rni grafikda ko'rinarli qilib ko'rsatilishi lozim. Har bir o'qqa qo'yiluvchi kattalikning xatoligini grafikda tegishli masshtabda kesmacha bilan ko'rsatish qabul qilingan. Kesmachaning uzunligi xatolikning ikkilanganiga teng qilib olinadi. Albatta, grafik chizig'ining yo'g'onligi o'lchash xatoligiga nisbatan ancha kichik bo'lishiga e'tibor berish lozim.

Grafik chizig'ining egriligi katta bo'lgan hollarda (xususan, grafik maksimum yoki minimumga ega bo'lganda) chiziqning aniqligini oshirish maqsadida egrilanish yaqinida o'lchash ma'lumotlarini zichroq olgan ma'qul.

Issiqlik fizikaviy bog'lanish xarakterini ifodalovchi chiziqni to'g'rilash, masshtab tanlashni osonlashtirish maqsadida koordinata o'qlaridan biriga olingan kattaliklarning kvadrati, kubi, logarifmi va hokazo qo'yilishi mumkin. Grafik chizishda qo'llaniladigan qulay vositalardan biri – koordinata boshini ko'chirish qoidasidir. Bunda koordinata boshiga nol emas, balki o'lchangan kattalikning eng kichik qiymatini qo'yish bilan grafik chiziladigan sathdan unumli foydalanish mumkin.

Grafiklar issiqlik fizik qonuniyatlar xarakterini kurgazmali tasvirlash, analitik ifodalardan kattalikning o'rtacha qiymatini, xatoligini aniqlash imkonini beradi.

II-bob bo'yicha nazorat savollari.

1. Jamiyat hayotida energetikaning o'rni nimadan iborat?
2. Energetik resurslar necha turga bo'linadi?
3. Tiklanadigan resurslarni tasnifini tushuntiring?
4. Tiklanmaydigan resurslarni tasnifini aytib bering?
5. Ilmiy bilish tushunchasini tushuntirib bering?
6. Qonunlar mohiyatini aytib bering.
7. Nazariya aksioma va metodlarni xarakteristikalarini tushuntiring.
8. Analiz, sintez va analitik hamda sonli metodlarni tushuntirib bering.

9. “Tajribalar nazariyasi va amaliyoti” fanini o‘rganishda issiqlik fizikasi asosidagi tavsifini tushuntirib bering.

10. Tajriba nazariyasi va amaliyoti fanini o‘rganishda o‘lchov asboblari mohiyatini aytib bering.

11. 1- rasmda ko‘rsatilgan geotermal suvni majburiy serkulyatsiyasi jarayonida oqim rejimini tushuntirib bering.

12. “Tajriba nazariyasi va amaliyoti” fanini boshqa muxandislik fanlari bilan bog‘lanishini aytib bering.

13. Tajribalar nazariyasi va amaliyoti fanini o‘qitish metodikasining maqsadi va vazifalarini tushuntiring.

14. Tajribalar nazariyasi va amaliyoti fanining mazmunini tadqiq etish metodini yoritib bering.

15. Muxandislik tadqiqotlarda innovatsion g‘oyalar, qonunlar, izlanishlar va ilmiy tadqiqotlarni yo‘nalishiga qanday erishiladi.

16. Tajribalar nazariyasi va amaliyoti fanining sanoat issiqlik energiyasini taraqqiyotiga, innovatsion g‘oyalarni rivojlanishiga ta’sirini tushuntiring.

17. Issiqlik o‘tkazuvchanlik qanday kattaliklar bilan xarakterlanadi?

18. Statsionar issiqlik o‘tkazuvchanlik mohiyatini tushuntiring?

19. Nostatsionar issiqlik o‘tkazuvchanlik deb nimaga aytiladi?

20. Vaqt bilan bog‘liq uch o‘lchamli koordinat sistemasidan qanday ifodalaniladi?

21. Furrye qonuni tushuntirib bering.

22. Suyuqlik yoki gazning quvurdan oqishidagi o‘rtacha temperaturasi qanday termik parametrlarga bog‘liq bo‘ladi?

23. Issiqlik tashuvchini quvur uzunligi bo‘yicha o‘rtacha temperaturasini tushuntiring?

24. Emperik formulalarni kriterik ifodalanishini mohiyati qanday?

25. Kriterial formulalarni umumlashtirilgan ifodasini tushuntiring.

27. Tajriba natijalariga doir o‘lchashlarni qanday tushunasiz?

28. O‘lchashlardagi xatoliklarni turlari nimalardan iborat?

29. Bilvosita o'lashlardagi ishonchlilikni tushintiring?
30. Mutlaq va nisbiy xatoliklarni qanday tushunasiz?
31. Absolyut va nisbiy xatolik mohiyatini tushintiring.
32. O'lashlarni aniqlash mezonini qanday parametrlarga bog'liq bo'ladi?
33. Funksiya xatoliklarini differensial usulining mohiyati nimadan iborat?
34. Nima uchun jism eriyotganida issiqlik miqdori berilayotganiga qaramay, uning harorati o'zgarmay turadi?
35. Issiqlik miqdori deb nimaga aytiladi va uning birligi qanday?
36. Issiqlik almashinish deb nimaga aytiladi?
37. Issiqlik balans qoidasini ta'riflang.
38. Tajribani tushintiring?
39. Issiqlik uzatilishi va issiqlik protsessi nima?
40. Moddaning issiqlik va solishtirma issiqlik sig'imi deb nimaga aytiladi va qanday aniqlanadi?
41. Erish va qotish deb nimaga aytiladi?
42. Muttasil va tasodifiy xatoliklarni kasbiy tushunchasi.
43. O'lash kattaliklarini haqiqiy baholash qiymatini qanday eritasiz.
44. O'lash natijalarini grafikda tasvirlash mohiyatini ifodalang.
45. Tajriba qurilmadan issiqlik rejimi qanday o'zgaradi.
46. Issiqlik gorizental quvurdan konvektiv issiqlik almashinuvi tufayli havoga berilishi qanday hisoblanadi?
47. To'la issiqlik miqdori qanday aniqlanadi?
48. Gorizental quvur orqali havo erkin harakatlanishi jarayonida issiqlik berish koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?
49. Nu va Gr – kriteriyalarini o'zaro bog'lanishi qanday metod asosida topiladi?

Uchinchi bob
ISHONCHLI INTERVAL BAHOLAR

3.1. Tasodifiy miqdorlar taqsimoti. Taqsimot turlari.

Oldingi paragraflarda qaralgan hollarda bevosita o'lchanayotgan yoki bilvosita aniqlanayotgan kattalik bir qator ketma-ket o'lchashlarning hammasida ham o'zgarishdan turar edi. Ammo o'lchanayotgan kattalikka ta'sir qiluvchi boshqa kattaliklarning o'lchash jarayonida o'zgarishi tufayli uning o'zi ham o'zgarib qoladigan hollar uchraydi. Bunday hollarda o'lchashning maqsadi izlanayotgan kattalikning boshqa kattaliklar bilan funksional bog'lanishini eng yaxshi qanoatlantiruvchi qonunni aniqlashdan iborat bo'ladi. Gaz zichligining bosimga, suyuqlik qovushqoqligining temperaturaga va matematik tebranishda tebranish davrining uning uzunligiga bog'lanishini aniqlash, yassi plastika metodi bilan issiqlik o'tkazuvchanlikni aniqlash va boshqalar shunday o'lchashlarga misol bo'ladi. Bunday o'lchashlar ham tasodifiy xatolikka ega, chunki kuzatish natijalarida statistik chetlanishlar mavjud bo'lib, ular o'zgaruvchan "haqiqiy" qiymatga nisbatan chetlanishlarni beradi. X o'lchash natijasidan Y izlanayotgan kattalikning bir necha qiymatlari topiladiki, bular to'g'ri burchakli kordinata tekisligidagi nuqtalar koordinatasidan iboratdir. Agar bu nuqtalarni ketma-ket bir-biri bilan tutashtirsak, sinq chiziq hosil bo'lib, u biz izlanayotgan $Y = f(X)$ bog'lanishni aks ettirmaydi. Maqsad tajribaviy nuqtalardan foydalanib, $Y = f(X)$ haqiqiy bog'lanishni ifodalovchi chiziqni hosil qilishdir. Ehtimollik nazariyasining ko'rsatishicha, bunday chiziq uchun nuqtalardan chiziqqacha tushirilgan tik chiziqning uzunligi bilan aniqlanuvchi masofa kvadratlarining yig'indisi minimal bo'lishi kerak. Bu usul eng kichik kvadratlar usuli yoki ishonchli interval baholar usuli deb ataladi. Bu usulning mohiyati qo'yidagicha: nazariy mulohazalarga asosan matematik tebranish davrining kvadrati uning uzunligiga to'g'ri mutanosib, deyish mumkin. Shuning uchun tajribadan olingan nuqtalarni eng yaxshi qanoatlantiruvchi

chiziq to'g'ri chiziqdan juda kam farq qilishi kerak. Agar nuqtaning absissasini X_1 deb, koordinatasini Y_1 deb belgilasak, u holda izlanayotgan to'g'ri chiziq tenglamasi

$$Y_i = \alpha + bX_i \quad (3.3.1)$$

ko'rinishda bo'ladi. Izlanayotgan to'g'ri chiziq tenglamasi (3.3.1) ni eng kichik kvadratlar usuli bo'yicha aniqlash qo'yidagicha bajariladi: kordinatasi Y_1 ga teng bo'lgan nuqtalardan izlanayotgan to'g'ri chiziqqa kordinatalar o'tkazamiz. Bu to'g'ri chiziq kordinatalarining qiymati $\alpha + bX_i$ ga teng. Nuqtadan kordinata bo'yicha to'g'ri chiziqqa bo'lgan masofa esa $(\alpha + bX_i - Y_i) = \varepsilon_i$ ga teng.

Agar bunday masofalar kvadratlarining yig'indisi eng kichik, ya'ni

$$\sum_{i=1}^n (\alpha + bX_i - Y_i)^2 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \min \quad (3.3.2)$$

bo'lsa to'g'ri chiziq biz izlayotgan to'g'ri chiziqqa eng yaqin keluvchi chiziq bo'ladi, deb faraz qilish mumkin. Bu yig'indining minimumi differensial hisoblash qoidalariga asosan topiladi. (3.3.2) tenglamadagi α va b koeffitsiyentlar o'zgaruvchan kattaliklar bo'lib, ular uchun shunday qiymatlarni aniqlash kerakki, bu qiymatlar (3.3.1) ni to'la qanoatlantirsin. Buning uchun (3.3.2) dan α va b o'zgaruvchilar bo'yicha xususiy hosilalar olib, ularni nolga tenglashtirsak,

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha} = 2 \sum_{i=1}^n (\alpha + bX_i - Y_i) = 0, \quad (3.3.3)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (\alpha + bX_i - Y_i)X_i = 0, \quad (3.3.4)$$

ifodalarni olamiz. Bularni quyidagicha yozish mumkin:

$$\sum_{i=1}^n (\alpha + bX_i - Y_i) = 0, \quad (3.3.5)$$

$$\sum_{i=1}^n (\alpha + bX_i - Y_i)X_i = 0, \quad (3.3.6)$$

Yig'indi ichidagi qavsni ochib chiqsak:

$$n\alpha + b \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n Y_i, \quad (3.3.7)$$

$$\alpha \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2 = \sum_{i=1}^n Y_i X_i. \quad (3.3.8)$$

(3.3.6) ifoda (3.3.1) boshlang'ich tenglamalarning *normal tenglamalari* deyiladi. Bu normal tenglamalar muayyan usul bo'yicha tuziladi. Haqiqatan ham (3.3.5) dan ko'rinish turibdiki: 1) uning α uchun yozilgan normal tenglamasini (birinchi tenglama) hosil qilish uchun (2.1) boshlang'ich tenglamaning har birining chap va o'ng tomonlarini α ning oldida turgan koeffitsiyenga ko'paytirib, hosil

bo‘lgan tenglamalarni yig‘ib chiqish kerak. Bizning boshlang‘ich tenglamamizda bu koeffitsiyent birga teng.

2) (3.3.6) ning b ga tegishli normal tenglamasini (ikkinchi tenglama) hosil qilish uchun xuddi oldingiga o‘xshash, (3.3.1) ning chap va o‘ng tomonini b ning oldidagi koeffitsiyentga ko‘paytirib, hammasini yig‘ib chiqish kerak. Bu normal tenglamalardan foydalanib (9.1) boshlang‘ich tenglamadagi noma‘lum α va b koeffitsiyentlarni aniqlash mumkin. Bu noma‘lum koeffitsiyentlarni aniqlash usullari xilma-xildir. Ushbu usullardan biri bilan tanishib chiqamiz. (9.8) dan α ni aniqlash uchun birinchi yo‘lga b ning normal tenglamasini yozamiz, ikkinchi yo‘lni bo‘sh qoldirib, uchinchi yo‘lga α ga tegishli normal tenglamani yozamiz. Bo‘sh qoldirilgan yo‘lga α ga tegishli normal tenglamani yozamiz. Bo‘sh qoldirilgan ikkinchi yo‘lga b ning normal tenglamasini b oldidagi $\sum X_i^2$ koeffitsiyentga bo‘lishdan hosil bo‘ladigan tenglamani yozamiz. Ikkinchi yo‘ldagi tenglamani b ning normal tenglamasidagi α ning koeffitsiyenti $\sum_{i=1}^n X_i$ ga ko‘paytirishdan hosil bo‘ladigan tenglama to‘rtinchi yo‘lga yoziladi. Aytilganlarni bajarib ko‘raylik:

$$\alpha \sum X_i + b \sum X_i^2 = \sum X_i Y_i, \quad (3.3.9)$$

$$\frac{\alpha \sum X_i}{\sum X_i^2} + b = \frac{\sum X_i Y_i}{\sum X_i^2},$$

$$n\alpha + b \sum X_i = \sum Y_i \quad (3.3.10)$$

$$\frac{\alpha \sum X_i \sum X_i}{\sum X_i^2} + b \sum X_i = \frac{\alpha \sum X_i Y_i \sum X_i}{\sum X_i^2} \quad (3.3.11)$$

Agar uchinchi tenglamadan to‘rtinchi tenglamani ayirsak,

$$\alpha \left(n - \frac{\sum X_i \sum X_i}{\sum X_i^2} \right) = \sum Y_i - \frac{\alpha \sum X_i Y_i \sum X_i}{\sum X_i^2} \quad (3.3.12)$$

tenglik hosil bo‘ladi, bundan izlanayotgan α koeffitsiyent topiladi:

$$\alpha = \frac{\sum Y_i - \frac{\sum X_i Y_i \sum X_i}{\sum X_i^2}}{n - \frac{\sum X_i \sum X_i}{\sum X_i^2}} = \frac{\sum Y_i - \frac{\sum X_i Y_i \sum X_i}{\sum X_i^2}}{P_\alpha} \quad (3.3.13)$$

α ning oldidagi R_a koeffitsiyent α ning statistik vazni deb ataladi. b ni aniqlash uchun birinchi yo‘lga α ning normal tenglamasini, uchinchi yo‘lga b ning normal tenglamasini yozamiz. α uchun yozilgan birinchi yo‘ldagi tenglamani α ning oldidagi n koeffitsiyentga bo‘lishdan hosil qilingan tenglamani bo‘sh qoldirilgan

ikkinchi yo'lga yozamiz. α ning normal tenglamasidagi α ning koeffitsiyenti $\sum X_i$ ga ikkinchi yo'ldagi tenglamani ko'paytirishdan hosil bo'ladigan tenglama to'rtinchi yo'lga yoziladi. Aytilganlarni bajarsak:

$$\alpha n + b \sum X_i = \sum Y_i, \quad (3.3.14)$$

$$\alpha + \frac{b}{n} \sum X_i = \frac{1}{n} \sum Y_i$$

$$\alpha \sum X_i + b \sum X_i^2 = \sum X_i Y_i$$

$$\alpha \sum X_i + \frac{b}{n} \sum X_i^2 \sum X_i = \frac{\sum Y_i \sum X_i}{n} \quad (3.3.15)$$

Uchinchi yo'ldan to'rtinchi yo'lni hadma-had ayirsak:

$$b \left(\sum X_i^2 - \frac{1}{n} \sum X_i \sum X_i \right) = \sum X_i Y_i - \frac{\sum Y_i \sum X_i}{n} \quad (3.3.16)$$

Bundan izlanayotgan b koeffitsiyent

$$b = \frac{\left(\frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum Y_i \sum X_i}{n}}{n} \right)}{\left(\sum X_i^2 - \frac{1}{n} \sum X_i \sum X_i \right)} = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum Y_i \sum X_i}{n}}{P_b} \quad (3.3.17)$$

tengligi kelib chiqadi. b oldidagi R_b koeffitsiyent, b ning *statistik vazni* deb ataladi. (3.3.17) bilan ifodalanuvchi normal tenglamalar tizimini birgalikda yechib, α ni aniqlashda uning normal tenglamasi ustida hech qanday matematik amal bajarilmaydi, b ning normal tenglamasi ustida esa bo'lish va ko'paytirish amallari bajariladi. Aksincha, b ni aniqlashda uning normal tenglamasi o'zgarishsiz qoldirilib, α ning normal tenglamasi ustida bo'lish va ko'paytirish amallari bajariladi.

Demak, (3.3.3) tenglamalarning yechimlari (3.3.5) va (3.3.6) dan iborat. Ulardan aniqlangan α va b ni (3.3.1) ga qo'ysak, tajriba natijalaridan juda kam farq qiluvchi izlanayotgan $Y_i^* = \alpha + bX_i$ to'g'ri chiziq tenglamasi topiladi. Bu funksional bog'lanish tajriba natijalari beradigan nuqtalardan chetlanishi eng kichik bo'lgan to'g'ri chiziqni ifodalaydi. Eng kichik kvadratlar usulining mohiyati chetlanishlar kvadratlarining yig'indisi minimal qiymatga ega bo'lgan funksional bog'lanishni tasodifiy miqdorlar taqsimotini aniqlashdan iboratdir. Xatolik nazariyasi α va b no'malumlarini aniqlashdagi xatoliklarni hisoblash uchun quyidagi ifodalarni beradi:

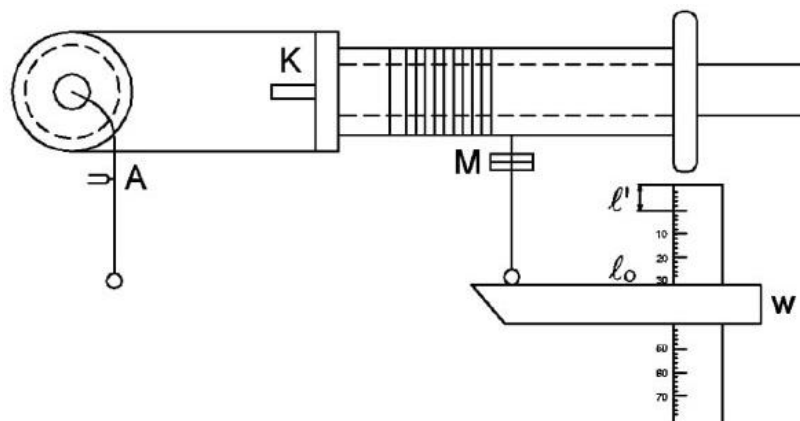
$$\Delta\alpha = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{(n-k)P_\alpha}} \Delta b = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{(n-k)P_b}}$$

Bunda k – normal tenglama (3.3.3) dagi yoki boshlang‘ich tenglama (3.3.1) dagi noma‘lumlar – bizning misolimizda α va b lar soni ($k=2$). Eng kichik kvadratlar usulini matematik tebrangich yordamida og‘irlik kuchi tezlanishini aniqlashga oid hisoblashga tatbiq qilish bilan tanishaylik. Og‘irlik kuchining tezlanishi

$$T = 2l \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3.3.18)$$

formuladan hisoblanadi. Vaqtni katta aniqlikda o‘lchash qiyin bo‘lganligi uchun bu formuladan aniqlangan tezlanish xatoligi katta bo‘ladi. Xatolikni kamaytirish maqsadida hisoblashni eng kichik kvadratlar usuli bilan bajaramiz. Yuqoridagi formuladan ma‘lumki,

$$T^2 = \frac{4l^2}{g} l, \quad (3.3.19)$$



3.3.1-rasm.

ya‘ni tebrangich tebranish davrining kvadrati uning uzunligiga chizig‘iy bog‘lanishda bo‘lib burchak koeffitsiyent $\frac{4\pi^2}{g}$ ga tengdir. Og‘irlik kuchining tezlanishi qo‘yida keltirilgan qurilmadan foydalanib (3.3.2-rasm) aniqlanadi. Tebrangich osilgan ip katta ishqalanish bilan aylanuvchi K g‘altakka bog‘langan. Ip g‘altakdan sal pastroqda joylashgan P prizma qirrasidagi A nuqtadan oshirib tashlangan bo‘lib, bu nuqta tebranish nuqtasidan iborat. Tebranish tekisligiga tik

tekislikda masshtab chizg'ich mahkamlangan. 3.3.1- Rasmdan ko'rinishicha, tebrangichning uzunligi $l = l' + l_0 - r$, bu yerda l kattalik A nuqtadan masshtab chizg'ich shkalasining nolinci bo'limigacha bo'lgan masofa, l_0 esa N planka sharchaning pastki nuqtasida tegib turgan paytdagi masshtab chizg'ichdan olinadigan uzunlik, r – sharchaning radiusi. $l_0 - r = l^*$ deb belgilab, uzunlik ifodasiga qo'ysak, tebranish davrining kvadrati uchun

$$T^2 = \frac{4l^2}{g} l^* + \frac{4l^2}{g} l_0$$

ifodani olamiz. Tebrangich uzunligini o'lchashda l' va r o'zgarmas bo'ladi, demak l^* ham o'zgarmas bo'ladi.

T^2 ning l_0 ga bog'lanishi burchak koeffitsiyenti $\frac{4\pi^2}{g}$ ga teng bo'lgan va ordinata o'qini $\frac{4\pi^2}{g} l^*$ masofa da kesib o'tuvchi to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi. Agar yuqoridagi tenglamada

$$T^2 = Y, \quad l_0 = X, \quad \frac{4l^2}{g} = b, \quad \frac{4l^2}{g} l^* = \alpha$$

Belgilashlar kiritsak, ifoda shunday ko'rinishga keladi:

$$Y = \alpha + bX. \quad (3.3.20)$$

tajribada l_0 ning har xil qiymatlari uchun 50 ta tebranish uchun ketgan t vaqtni o'lchab, uning yordamida tebranish davri va uning kvadratlarini hisoblaymiz. Bunday hisoblashlar natijalari qo'yidagi (3.3.1) jadvalda keltirilgan.

3.3.1 -jadval

Tartib raqami	l_0	T	T	T^2
1	100	99.3	1.986	3.944
2	95	96.8	1.936	3.748
3	90	93.9	1.878	3.527
4	85	91.3	0.826	3.334
5	80	88.8	1.776	3.154
6	75	85.8	1.716	2.945
7	70	82.5	1.650	2.723
8	65	79.5	1.590	2.528
9	60	76.5	1.530	2.341

Yuqorida aytilganlardan ma'lumki, izlanayotgan tenglamani qanoatlantiruvchi a va b o'zgaruvchilarni aniqlash uchun bu (3.3.2) jadvalni tuzamiz:

3.3.2 -jadval

Tartib raqami	$l_{0i} = X_i$	$l_{0i}^2 = X_i^2$	$T_i^2 = Y_i$	$l_{0i}T_i^2 = Y_iX_i$	Y_i^*	$\varepsilon_i = Y_i^* - Y_i$	$\varepsilon_i^2 \cdot 10^6$
1	100,0	10000	3,944	394,4	3,942	-0,002	4
2	95,0	9025	3,748	356,1	3,741	-0,007	49
3	90,0	8100	3,527	317,4	3,539	-0,012	144
4	85,0	7225	3,334	283,4	3,338	+0,004	16
5	80,0	6400	3,154	252,3	3,137	-0,017	289
6	75,0	5625	2,945	220,9	2,936	-0,009	81
7	70,0	4900	2,723	190,6	2,735	+0,012	144
8	65,0	4225	2,528	164,3	2,533	-0,005	25
9	60,0	3600	2,341	140,5	2,332	-0,009	81
Σ	720,0	59100	28,244	2319,9	-	-0,011	883

Bu jadvaldagi kattaliklarni (3.3.4) va (3.3.5) ga qo'ysak hamda tenglamalardagi α va b larni hisoblasak, ular uchun qo'yidagi qiymatlarni olamiz:

$$\alpha = -0,08334; b = 0,04025.$$

b ning topilgan qiymati yordamida

$$g = \frac{4l^2}{b} = \frac{4 \cdot 9,8596}{0,04025} = 979,9 \frac{sm}{c^2}$$

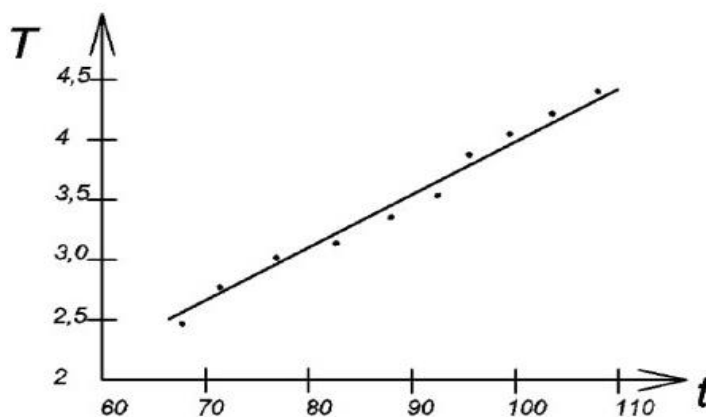
hisoblanadi. Og'irlik kuchi tezlanishining xatoligini aniqlash uchun α va b ning qiymatlarini (9.20) ga qo'yib, xatoliklar nazariyasiga ko'ra, b ning mutlaq xatoligini yuqoridagi jadvaldan foydalanib hisoblasak bo'ladi:

$$\Delta b = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{(n-k)P_b}} = 2,8 \cdot 10^4 c^2/m,$$

U holda $\Delta g = 6,8 \frac{sm}{s}$ bo'ladi. Demak, og'irlik kuchi tezlanishining izlanayotgan haqiqiy qiymati $a = 0,70$ uchun

$$g = (980 \pm 7) \text{ sm } / \text{ s}^2.$$

Agar tajribada topilgan T^2 ning l_0 ning qiymatlarini to'g'ri koordinatalar tekisligida joylashtirilsa, to'g'ri chiziq ustida yotmaydigan bir qator nuqtalar (9.2-rasm) hosil bo'ladi. Grafik chizig'i tebrangichning to'la tebranish davri kvadrati (T^2) bilan chizg'ichdan olingan uzunlik (l_0) orasidagi empirik bog'lanish chizig'idan iborat. Nuqtalar esa bevosita tajribada o'lchangan ma'lumotlar asosida topilgan.



3.3.2-rasm.

Endi shu grafikning o'zida eng kichik kvadratlar usuli bilan topilgan T^2 -jadvalning 5-ustunidagi Y^*) ning l_0 ga tegishli nuqtalarini topib, ularni tutashtirsak to'g'ri chiziq hosil bo'ladi. Bu to'g'ri chiziq tajriba natijalari beradigan nuqtalardan chetlanishi eng kichik bo'lgan to'g'ri chiziqni ifodalaydi.

Ma'lumki, har qanday bog'lanish to'g'ri chizikli bog'lanish bo'lavermaydi. Lekin ko'p hollarda murakkab bog'lanishlarga sodda almashtirishlar kiritish orqali bog'lanishni chizikli ko'rinishga keltirish mumkin. Masalan:

1) Agar $Y = l + \frac{R}{X}$ bo'lsa, bundagi $\frac{1}{X}$ o'rniga yangi Z o'zgaruvchi kiritsak, Y va Z orasidagi bog'lanish $Y = lg + kZ$ chizikli ko'rinishga keladi.

2) Xuddi shuningdek, agar $Y = \alpha b^X$ ifodani logarifmlasak, $LgY = Lg\alpha + Xlgb$ bo'lib, undagi LgY va X orasidagi bog'lanish chizikli ko'rinishga keladi.

3) $Y = \frac{1}{a+bX}$ ifodada $Y = \frac{1}{Z}$ deb almashtirsak, $Z = a + bX$ hosil bo'ladi.

4) $Y = \alpha + \frac{b}{X} + \frac{c}{X^2}$ ifodada $Z = \frac{1}{X}$ deb almashtirilsa, u holda $Y = a + bZ + sZ^2$ bo'ladi;

5) $Y = \frac{X}{a+bX+cX^2}$ ifodada , $Z = \frac{X}{Y}$ almashtirish bajarilsa, $Z = \alpha + bX + cX^2$ ifoda hosil bo'ladi.

O'lchashlar hamma vaqt energetik va fizik kattalikning taqribiy qiymatini beradi. Fizik kattaliklarning son qiymatlari ustidagi amallar ham taqribiy natijalarga olib keladi. Jadvallardan olinadigan raqamlar ham taqribiydir. Masalan, Eylar soni, $e = 273$, $\pi = 3,14$ va boshqalar taqribiy qiymatlar bo'lib, ular muayyan mutlaq xatolikka ega. Taqribiy sonning mutlaq xatoligi deb, bu sonning haqiqiy va taqribiy qiymatlari orasidagi farqqa aytiladi. Taqribiy son shunday yoziladiki, uning mutlaq xatoligi sonning oxirgi razryadi birligining yarmidan katta bo'lmasin. Masalan, 9,81 yozuv bu sonning mutloq xatoligi 0,005 dan katta emasligini ko'rsatadi, 276 uchun mutlaq xatolik 0,5 dan ortiq emas deb tushunish lozim. 276,0 uchun esa 0,05; 276.000 uchun esa 0,0005 va xakazo. Katta sonlar uchun mutlaq xatoliklar birlar, o'nlar, yuzlar va hakazo bo'lishi mumkin. Masalan, $3 \cdot 10^3$ ning mutlaq xatoligi 500 ga, 3000 ning xatoligi esa 0,5 ga tengdir. Demak, bu bitta sonning ikki ko'rinishda yozilishi ikki xil mutloq xatolikka mos keladi. Mutlaq xatolik hali taqribiy sonning aniqligini to'la belgilab berolmaydi. Hisoblash aniqligini uning nisbiy xatoligi yaxshi xarakterlab beradi. 3.3.3-jadval Masalan, 40° kenglik uchun erkin tushish tezlanishi g ning tajribada topilgan $980,255 \frac{sm}{s^2}$ qiymatini turlicha taqribiylikda yozganda, uning nisbiy xatoliklari qo'yidagicha bo'ladi.

3.3.3-jadval

Tartib raqami	g	g	$\frac{\Delta g}{g} \cdot 100\%$
1	980,255	0	0
2	980,25	0,050	0,00051
3	980,2	0,055	0,00561
4	980,0	0,255	0,02601

Issiqlik energetikadan amaliy mashgʻulotlarni va fizikadan laboratoriya ishlarining natijalarini hisoblashda talabalar va magistrlar oʻlchash asboblari beradigan aniqlikni eʼtiborga olmasdan arifmetik amallarni yuqori “aniqlikda” olib borishga urinib, vaqt va kuchlarini bekorga sarflaydilar. Masalan, 2,3 va 3,7 raqamlarining har biri 0,05 xatolikka ega. Agar ularni oʻzaro koʻpaytirsak, 8,51 hosil boʻladi. Bunday oxirgi 1 raqam ahamiyatsiz boʻlib, uni 8,5 koʻrinishida yozish yetarlidir. Raqamlar ustida amallar bajarish oldidan ularni oʻlchash aniqligiga mos tarzda yaxlitlab olish lozim. Olingan sonni yaxlitlash deganda, uning ahamiyatli razryadidan oʻngda turgan raqamlarni tashlab yuborishni tushunamiz. Demak, yaxlitlash uchun sonning haqiqiy, shubhali va notoʻgʻri raqamlarini bilib olish lozim boʻladi. Tajriba vaqtida olingan oʻlchash natijalari, muhim issiqlik energetikasi va fizikaviy doimiylarning jadvallardagi qiymatlari taqribiy sonlarni yozish qoidalari asosida qayd qilinadi. Bu sonlarni yozishda ularning mutlaq xatoliklari alohida koʻrsatilmagan boʻlsa-da, odatda, mutlaq xatolik yozuvda saqlab qolinganda oxirgi razryad birligining yarmidan katta emas, deb hisoblanadi. Sonlarni shunday tarzda yozganda uning barcha raqamlari ishonchli raqam boʻladi. Oraliq matematik amallarni bajarayotganda yaxlitlashlar tufayli xatoliklarni kattalashtirib yubormaslik maqsadida bitta yoki ikkita ahamiyatsiz raqamlarni saqlab turish tavsiya qilinadi. Hisoblash natijalari doimo shu tavsiyaga amal qilgan holda yaxlitlab turilishi lozim. Taqribiy sonlar ustida bajariladigan amallar natijalari ham taqribiydir. Koʻpaytirish, darajaga koʻtarilish, ildizdan chiqarish va boʻlish amallarida koʻpincha notoʻgʻri raqamlar kelib chiqadi. Masalan $2,77 \times 3,25 = 9,0025 = 9,00$;

Bunda 0,0025 notoʻgʻri raqamdir. Shuningdek, $5,3 \times 30,27$ amalni bajarish oldidan ikkinchi sonni ham yaxlitlab birinchi son aniqligiga keltirildi:

$$5,3 \times 30,3 = 160,59 = 160,6.$$

Demak, arifmetik amalda ishtirok etuvchi sonlar ichida qaysi biri eng kichik aniqlikka ega boʻlsa, oxirgi natija shu aniqlikda yoziladi. Darajaga koʻtarish va ildizdan chiqarishda ham natija boshlangʻich son aniqligida yoziladi:

$$(5.64)^2 = 31.2096 \approx 31.21.$$

Xulosa qilib aytganda, oxirgi natijaning aniqligi sonlar ustidagi amallar aniqligi bilan emas, balki o'lchov asbobining, o'lchash usulining aniqliklari, o'lchash jarayoniga tashqi fizikaviy va issiqlik energetik omillarning ta'siri bilan belgilanadi.

Ishonchli interval baholash tizimlarini qo'llash orqali yakka plastina metodi bilan issiqlik o'tkazuvchanlikni aniqlash.

Laboratoriya ishini bajarilishini qaraymiz.

Ishning maqsadi: Qurilish materiallarida issiqlik o'tkazuvchanlik fizikaviy hodisasini va issiqlikning jamg'arilishini o'rganish. Turli qurilish materiallarining temperaturaviy o'zgarishlarini vaqt funksiyasi sifatida qayd qilish. Qurilmaning issiqlik muvozanatini sifatli kuzatish. Qurilish materiallarining issiqlik o'tkazuvchanligini aniqlashda temperaturalar farqidan foydalanish.

Kerakli jixozlar: 1 Kalorimetrik kamera 389 29,1 Kalorimetrik kamera uchun qurilish materiallari -389 30, 1 Transformator 2 12 V; 120 Vt - 521 25, 1 Datchik-CASSY 2 - 524 013, 1 CASSY Lab 2 - 524 220, NiCr-Ni Adapter S, Tip K-524 0673, NiCr-Ni – temperatura datchigi, 1.5 mm, Tip K-. 529 676,1 Biriktiruvchi simlar 19 A, 50 sm, qora, juft-501 451, 4 Biriktiruvchi simlar 32 A, 100 cm, qora-501 33, muz, Yupqa plastikli plyonka, 1 PK s Windows XP/Vista/7/8.

Kirish. Issiqlik o'tkazuvchanlik – bu temperaturalar farqi borligi tufayli tutash muhitda issiqlikning molekulyar uzatilishidir. Issiqlik almashinuvining bunday usuli, asosan qattiq jismning ichida ham, shuningdek bir-biriga tegib turgan ikkita qattiq jism orasida ham sodir bo'ladi. Issiqlik o'tkazuvchanlik suyuqlik yoki gaz qatlami orqali ham amalga oshishi mumkin, lekin umuman olganda suyuqlik va gazlar (suyuqlangan metallar bundan mustasno) issiqlikni juda yomon o'tkazuvchan hisoblanadi.

Bir jinsli izotrop jismni isitilishini ko'raylik. Barcha yo'nalishlar bo'yicha bir xil fizik xossalarga ega bo'lgan jismlarga izotrop jismlar deb aytiladi. Bunday jismni isitish vaqtida uning turli nuqtalaridagi temperatura vaqt bo'yicha o'zgaradi va issiqlik yuqori temperatura sohasidan past temperatura sohasiga tarqaydi.

Vaqtning ayni paytida ko‘rib chiqilayotgan fazoning barcha nuqtalaridagi temperatura qiymatlarining yig‘indisi temperatura maydoni deyiladi. Temperatura maydoni quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$t=f(x,y,z,\tau) \quad (3.3.21)$$

bu yerda x,y,z – nuqta koordinatalari; τ - vaqt.

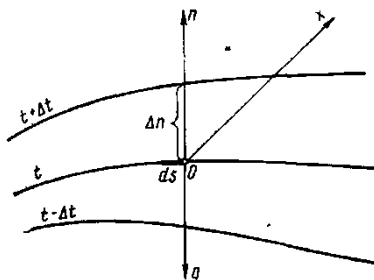
Agar jismning temperaturasi koordinata va vaqtning funksiyasi bo‘lsa, u holda temperatura maydoni nostatsionar bo‘ladi:

$$t=f(x,y,z,\tau); \partial t/\partial \tau \neq 0 \quad (3.3.22)$$

Agar jismning temperaturasi faqat koordinataning funksiyasi bo‘lib, vaqt davomida o‘zgarmasa, u holda temperatura maydoni statsionar bo‘ladi.

$$t=f(x,y,z); \partial t/\partial \tau = 0 \quad (3.3.23)$$

Temperatura maydoni uchta, ikkita va bitta koordinataning funksiyasi bo‘lishi mumkin va mos ravishda, u uch, ikki va bir o‘lchamli deyiladi. Hamma nuqtalarida temperatura bir xil bo‘ladigan sirt izotermik sirt deyiladi.



3.3.3-rasm. Izotermalar. Temperatura gradiyenti haqidagi tushunchaga doir.

Fazoning ayni nuqtasining o‘zida bir vaqtda ikki xil temperatura bo‘lishi mumkin emasligi uchun, turli izotermik sirtlar hech vaqt bir-biri bilan kesishmaydi. Ularning barchasi jism sirtida tugaydi yoki butunlay uning ichida joylashadi. Jismning temperaturasi izotermik sirtlarni kesib o‘tadigan yo‘nalishlardagina o‘zgaradi (9.3-rasm). Bunda uzunlik birligida temperaturaning eng katta o‘zgarishi izotermik sirtga normal n yo‘nalishida bo‘ladi. Temperatura o‘zgarishi Δt ning izotermadagi normal bo‘yicha masofa Δn ga nisbati temperatura gradiyenti deyiladi va quyidagicha ifodalanadi.

$$\lim\left[\frac{\Delta t}{\Delta n}\right]_{\Delta n \rightarrow 0} = \frac{\partial t}{\partial n} = \text{grad}t \quad (3.3.24)$$

Temperatura gradiyenti – izotermik sirtga tushirilgan normal bo‘yicha yo‘nalgan vektordir. Uning temperaturaning ortishi tomoniga yo‘nalishi musbat yo‘nalish hisoblanadi. Issiqlik almashinuvining boshqa turlari kabi, issiqlik o‘tkazuvchanlik jarayoni ham jismning turli nuqtalarida temperatura bir xil bo‘lmagandagina amalga oshadi, ya’ni grad $t \neq 0$. Ixtiyoriy sirt dan vaqt birligi ichida o‘tadigan issiqlik miqdori Q issiqlik oqimi deyiladi. Issiqlik oqimining vektori doimo temperaturaning pasayish tomoniga yo‘nalgan bo‘ladi. Fransuz olimi Fure qattiq jismlardagi issiqlik o‘tkazuvchanlik jarayonlarini o‘rganib, yuza birligi dS dan vaqt birligi $d\tau$ ichida o‘tayotgan issiqlik miqdori va temperatura gradiyenti o‘rtasidagi bog‘lanishni aniqladi.

$$dQ = -\lambda \, dS \, d\tau \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right), \quad dS \, \text{grad} \, t \, d\tau = -\lambda \, dS \, d\tau \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right) \quad (3.3.25)$$

(3.3.25) ifodadagi proporsionallik koeffitsiyenti λ issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti deyiladi. Izotermik sirt birligidan vaqt birligi ichida o‘tadigan issiqlik miqdori issiqlik oqimining zichligi deyiladi.

$$q = -dQ/(dSd\tau) \text{ yoki } q = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right) \quad (3.3.26)$$

Issiqlik oqimi zichligi ning vektori doimo temperaturaning pasayishi tomoniga yo‘nalgan bo‘ladi. Ixtiyoriy sirt dan vaqt birligi ichida o‘tayotgan issiqlik miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = \int\int\limits_{0}^{\tau} \lambda dS d\tau \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right) \quad (3.3.27)$$

Yuqorida o‘rganilgan kattaliklarni birliklari quyidagicha:

temperatura gradiyenti – grad/m; issiqlik oqimi – Vt; issiqlik oqimining zichligi – Vt/m²

Issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentining birligi (3.3.27) ifodadan aniqlanadi:

$$\lambda = -\frac{Q}{S\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)} = \frac{Vt}{m \cdot \text{grad}} \quad (3.3.28)$$

Demak, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining qiymati, son jihatdan, temperaturalar farqi 1°S bo'lganda devorning birlik qatlamidan o'tadigan solishtirma issiqlik oqimiga teng. Turli xil moddalar uchun λ ma'lum bir qiymatga ega bo'lib, u moddaning tuzilishiga, zichligiga, bosimiga va temperaturasiga bog'liq. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ ning qiymati har qaysi jism uchun tajribadan topiladi. Ko'pchilik materiallar uchun λ ning temperaturaga bog'liqligini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\lambda = \lambda_0 [1 + b(t - t_0)],$$

bu yerda λ_0 - $t_0^{\circ}\text{S}$ temperaturadagi issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti; t - temperatura, $^{\circ}\text{S}$; b - tajriba orqali aniqlanadigan temperatura koeffitsiyenti.

Metallar issiqlikni eng yaxshi o'tkazadilar, ularda λ 3dan 458 $\text{Vt}/(\text{m}\cdot\text{grad})$ gacha o'zgaradi. Toza metallarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti (alyuminiydan tashqari) temperatura ortishi bilan pasayadi. Yengil g'ovak materiallar issiqlikni yomon o'tkazadi, chunki ularning g'ovaklari havo bilan to'lgan bo'ladi. Agar $\lambda < 0,2 \text{ Vt}/(\text{m}\cdot\text{grad})$ bo'lsa, bunday materiallar issiqlik izolyatsiya materiallari deyiladi. Bunday materiallarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti temperatura ko'tarilishi bilan ortadi. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentiga namlikni ta'siri katta. Suvning issiqlik o'tkazuvchanligi yomon, lekin ho'l materialning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti uning quruq holatidagi issiqlik o'tkazuvchanligiga nisbatan ancha katta bo'ladi. Bunga sabab shuki, suv issiqlikni havoga qaraganda deyarli 20 marta yaxshi o'tkazadi, shu sababli jism g'ovaklarining suv bilan to'lishi uning issiqlik izolyatsiya xossalarini keskin kamaytirib yuboradi. Temperatura ko'tarilishi bilan tomchi suyuqliklarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti kamayadi, gazlarniki esa ortadi. Suvning λ si temperatura 0°S dan 127°S gacha ko'tarilganda ortadi, bundan keyin ham temperatura ko'tarilsa λ kamayadi. 3.3.4-jadvalda ayrim materiallarning issiqlik va temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyentlari keltirilgan.

Ayrim materiallarning issiqlik va temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyentlari

Materiallar nomi	ρ , kg/m ³	t, °C	λ , Vt/ (m·grad)	c, kJ/ (m·grad)	Q·10 ⁶ m ² /sek.
Azbest	0	30	0,11163	0,816	0,186
Beton	300	20	0,279	1,13	0,622
Nam tuproq	700	17	0,657	2,01	0,192
Pishiq g'isht	800	0	0,768	0,879	-
Muz	20	0	2,25	2,26	1,08
Quruq qum	500	20	0,326	0,795	2,74
Shisha	500	20	0,744	0,67	0,444
Alyuminiy	670	0	204	0,921	86,7
Mis	800	0	384	0,381	112,5
Nikel	000	20	58	0,461	17,8
Kumush	0500	0	458	0,234	170
Uglerodli po'lat	900	20	45	0,461	14,7
Suv	99,9	0	0,5513	4,212	0,131
Havo (quruq)	1,293	0	0,0244	1,005	18,8
Kislorod	1,429	0	0,0247	0,915	18,8

Asosiy tushunchalar. Yakka plastina metodi bilan issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini λ aniqlashda, $\Delta\tau$ vaqt ichida qurilish materiali ichidan o'tgan issiqlik miqdori ΔQ , plastinaning tashqi va ichki tomonlaridagi temperaturalar farqiga Δt plastinaning yuzasiga S to'g'ri proporsionalligi, plastina qalinligiga d esa teskari proporsionalligi faktlaridan foydalaniladi.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta\tau} = \lambda \cdot \frac{S}{d} \cdot \Delta t \quad (3.3.29)$$

Bu formuladan λ uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$\lambda = \frac{\Delta Q}{\Delta\tau \cdot \Delta t} \cdot \frac{d}{S} \quad (3.3.30)$$

O'lchashlar o'tkazilayotganda, issiqlik oqimi faqat namuna orqali o'tayotganiga (issiqlik miqdori sizib ketishining boshqa yo'llari yo'q) va u bir jinsli ekanligiga amin bo'lish kerak. Shuni e'tiborga olish kerakki, mazkur ishda issiqlikni izolyatsiyalovchi devorli kalorimetrik kameradan foydalaniladi.

Issiqlik oqimi qurilish materiali namunasining ichidan o'tishi uchun quyidagilar zarur:

kamerani ichki qismdan elektr qizdirish va muzni bevosita namunaning tashqi tomoniga joylashtirish. Issiqlik muvozanatida, ya'ni har bir nuqtada temperatura uzoq vaqt mobaynida doimiy bo'lgan statsionar holatda, uzatilayotgan elektr energiya quvvati P aynan issiqlik oqimiga mos keladi

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta \tau}$$

yoki

$$P \cdot \tau = W = Q$$

Shunday qilib τ vaqt ichida nurlantirilgan elektr energiya qiymati W ichida qurilish materiali namunasidan o'tgan issiqlik miqdoriga Q teng. Buni hisobga olgan holda, qurilish materiali namunasining issiqlik o'tkazuvchanligi λ quyidagi munosabat yordamida hisoblanishi mumkin (9.4-rasm):

$$\lambda = \frac{P}{\Delta t} \cdot \frac{d}{S} \quad (3.3.31)$$



3.3.4-rasm. Yakka plastina metodidan foydalanib, qurilish materiali namunasining issiqlik o'tkazuvchanligini aniqlash.

Mazkur tajribada kameraning ichidagi qurilish materialini pastki qismining temperaturasi va kameraning tashqi qismining (bu holda muz) temperaturasi

o'lanadi. Elektr plita ulanganidan sistema birdaniga issiqlik muvozanatiga erishmaydi. Temperatura muvozanati holatida, temperaturalar farqini saqlash uchun, yetarli darajada uzoq vaqtdan keyin (taxminan 1 soat) temperaturaning o'zgarishini yozib boring. Ichki temperaturaning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi temperaturaga va plus qandaydir konstantaga proporsional:

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = at + b \quad (3.3.32)$$

Bu tenglamaning vaqt funksiyasi $t(\tau)$ sifatidagi yechimi quyidagi ko'rinishga ega:

$$t(\tau) = t_{im} - t_{farq} \cdot e^{\frac{\tau}{k}} \quad (3.3.33)$$

bu yerda, t_{im} - issiqlik muvozanati holatidagi ichki temperatura, $t_{farq} = t_{im} - t_{bosh}$ temperaturalar farqi, k - vaqt doimiysi.

Issiqlik muvozanatida qurilish materiali namunasini qizdirilayotgan qismining temperaturasi quyidagi ko'rinishdagi funksiya bilan ifodalanishi mumkin:

$$f(x) = A - B \exp\left(-\frac{x}{C}\right)$$

va u tajribadagi o'lchanayotgan temperatura qiymatlarini aks ettiradi.

Mos keltirish uchun olingan parametr A berilgan temperaturaga aynan to'g'ri keladi. Kamera tashqarisida joylashgan muz, qurilish materiali namunasi ustining temperaturasini past va eng asosiysi doimiy qilib ushlab turadi. Ammo, bunda temperatura qiymatining kichik tebranishlari bo'lishi mumkin, shuning uchun tashqi temperaturaning qiymati o'rtachalashtiriladi va shu o'rtacha qiymatdan temperaturalarining va provardida issiqlik o'tkazuvchanlik hisoblanib topish mumkin. $\Delta t = t_{im} - t_{sovuq}$

Tajriba qurilmasi.

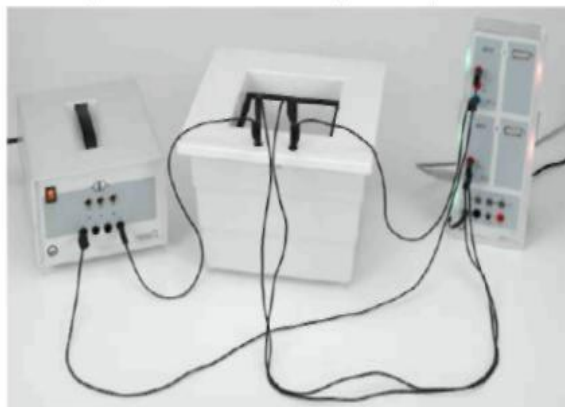
a) Quvvatni o'lchash. 3.3.5-rasmda tajriba qurilmasi keltirilgan.

- Odatda tajribani boshlashdan oldin, elektroplitkaning quvvatini P aniqlash kerak.

- Buning uchun kalorimetrik kamerani qurilish materiali plastinkasiz qisqa vaqt ulang.

- Elektroplitkani kalorimetrik kameraga joylashtiring. Biroq hali transformatorni ulamang!

- 3-rasmda tasvirlaganidek kuchlanish va tok kuchini o'lchash uchun transformator va kalorimetrik kamerani CASSY datchigiga (Sensor-CASSY) ulang.



3.3.5-rasm. Elektroplitkaning quvvatini aniqlash.

b) Temperaturani o'lchash.

- 2-rasmda tajriba qurilmasi keltirilgan.
- elektroplitkani kalorimetrik kameraga joylashtiring.
- Qurilish materialini plastinkasini kalorimetrik kameraga joylashtirish uchun tayyorlang.

- Qurilish materialini plastinkasida o'rnatish uchun mo'ljallangan aylana o'yiqlar ichiga, issiqlik o'tkazuvchi pastadan foydalanib, alyuminiyli kontakt disklarni o'rning. O'rnatishda kontakt diskda qilingan belgi o'yiqdagi chiziq bilan mos kelsin.

- Kontakt disklarni o'rnatishda faqat issiqlik o'tkazuvchi pastadan foydalaning.

- Diqqat bilan, egmasdan, yupqa alyuminiy plastinani (qalinligi 0.3 mm) qora tarafi bilan qurilish materialini namunasining issiqlik o'tkazuvchi pasta surilgan tashqi tomoniga o'rnatib, bu ikki plastinani bir biriga qising.

- Bu amalni qurilish materialini namunasining boshqa tomoni uchun ham bajaring.

- Diqqat bilan, egmasdan, temperatura datchigining uchini rezinali tiqindagi teshik (diametri 1.5 mm) orqali siljiting. Uni hali kalorimetrik kameraga oʻrnatmang!

- Tayyor qurilish materiali namunasini ochiq kameraga oʻrnatish va temperatura datchiklarini asosga hamda namuna ustiga qoʻying. Agar qurilish materiali namunasini koʻtarishga ehtiyoj tugʻilsa, ilgakli tutgichdan foydalaning.

- Adapter NiCr-Ni S dan foydalanib, 3.3.5-rasmda keltirilganidek qilib, temperatura datchigini SASSUga ulang.

- Transformatorni elektroplitka bilan ulang. Hali transformatorni ishga tushirmang!

- Kalorimetrik kamerani yupqa va suv oʻtkazmaydigan plastmassali plyonka (masalan, plastmassa oʻram) bilan qoplang. Muz kubiklarili sumkani alyuminiy plastinaning tepasiga qoʻying. Suv kameraga kirib ketmasligiga yoki kabellar bilan kontaktlashmasligiga amin boʻling.

Eslatmalar: Sumka juda kichik boʻlmasligi kerak. Muz iloji boricha alyuminiy plastina bilan zichroq kontaktlashuvi kerak. Muz kubiklari qanchalik kichik boʻlsa, qurilish materiali namunasi bilan muz shunchalik yaxshi kontaktlashadi. Sumkaga zarar yetkazmaydigan qilibjoylashtiriladigan ogʻir obyekt ham foydadan holi emas.

Ishni bajarish tartibi.

quvvatni oʻlchash:

- Laboratoriya oʻrnatmalarini SASSY ga yuklang. **(SASSY lab.2).**

- Tanlangan namunaga mos ravishda kalorimetrik kamerani transformatorga ulang.

Eslatma: Rohasell (Rohasell) plastinkasi past issiqlik oʻtkazuvchanlikka ega boʻlganligi uchun ishchi kuchlanish 6 V chegaradan katta boʻlmasligi kerak, aks holda kalorimetrik kamera oʻta qizib ketishi mumkin.

- Transformatorni ishga tushiring, ekranda UB1 kuchlanishni va IA1 tok kuchini kuzating, hamda yozib oling.

- R quvvatni yozib oling.

- Transformatorni o‘chiring.

Eslatma: o‘lchash vaqtida transformator iloji boricha qisqaroq vaqt davomida ulangan holatda bo‘lishi kerak. Shundan keyin, to issiq platina xona temperaturasigacha sovuguncha kuting.

Texnika xavfsizligi: Kalorimetrik kamerani, devoriy materiallarni yoki qurulish materiali namunalarni 60⁰S temperaturadan yuqoriroq qizishiga yo‘l qo‘ymang.

v) Temperaturalarini o‘lchash.

- Laboratoriya o‘rnatmalarini SASSY ga yuklang. **(SASSY lab.2)**

Eslatma: Zarur bo‘lgan hollarda temperatura qarshiliklarini o‘lchash kamerasiga o‘rnatilmasdan oldin tekshirib oling. Buning uchun ularni bir xil temperaturaga ega obyektga joylashtiring, masalan, ular bir xil temperaturani ko‘rsatayotganini aniqlash uchun turg‘un suvga yoki SASSY 2 laboratoriyasiga o‘rnatilgan.

- Ikkala temperatura qarshiliklari o‘zgarishlarini kuzating.

- eng past temperatura o‘zgarmay qolguncha kuting.

Eslatma: muz temperaturasiga bog‘liq ravishda, agar temperatura 0⁰S dan ancha past bo‘lsa, bu maqsadga muvofiq bo‘lishi mumkin. Shu temperaturani o‘lchash maboynda imkoni boricha doimiy qilib ushlab turish kerak, bu temperatura -2⁰S dan +4⁰C gacha oraliqda bo‘lishi tavsiya etiladi.

- Transformatorni ishga tushiring. Hali o‘lchashni boshlamang.

- Ikkala temperaturaning ham o‘zgarishlarini kuzating va to yuqoriroq temperaturaning oshishi boshlanmaguncha kuting.

- O‘lchashni 0⁰ C dan boshlang.

- Ichki temperatura ortishi boshlanganda, muz tagidagi tashqi temperatura doimiy qoladi. Tashqi temperatura 0,5⁰S ga oshsa, muz bilan kontaktlashishni yaxshilang. Zaruriyat tug‘ilganda o‘lchash vaqtida bunday tuzatishlarni qaytaring.

- Agar ichki temperatura 60⁰S ga erishsa, transformatorni o‘chiring va tajribani pastroq kuchlanish yoki quvvat bilan takrorlang.

- Agar ichki temperatura juda sekin yoki o'zgarmay qolsa (yoki taxminan minutiga $0,15^{\circ}\text{S}$ ga o'zgarsa) dan o'lchash to'xtatilishi mumkin.

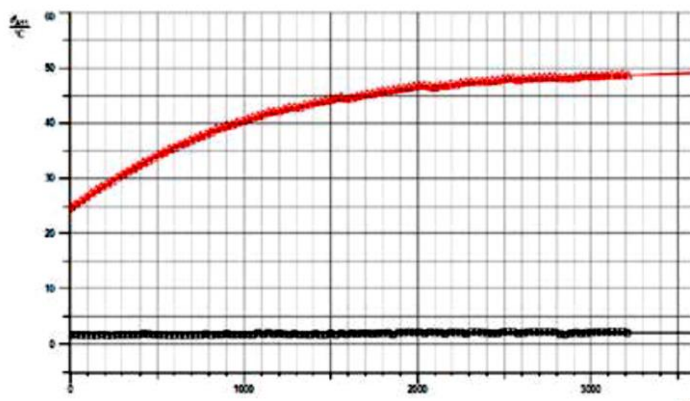
- Transformatorni tarmoqdan uzing.

Eslatma: Qismlarga ajratish vaqtida, birinchi navbatda temperatura datchiklarini oling va keyin ilgakli tutqichdan foydalanib, qurilish materiali namunasini chiqarib oling.

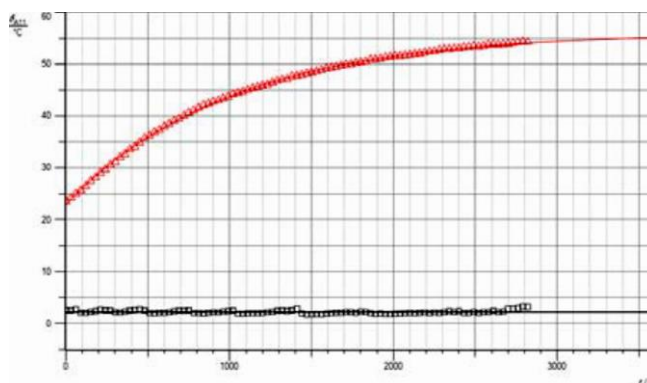
Hisoblash natijalari.

9.6-9.8 rasmlarda turli qurilish materiallari namunalari uchun uzoq vaqt davomida temperaturalarining o'zgarishi tasvirlangan. Temperatura t_{im} ichki temperatura (namuna asosining temperaturasi) egriligidan t_{A11} moslashtirish orqali aniqlangan. Uzluksiz chiziq aynan moslashtirishdan olingan funsiya. Tashqi past temperaturaning (namunaning muzli tepasi) o'rtacha qiymati t_{A12} temperatura t_{sovuq} ni beradi.

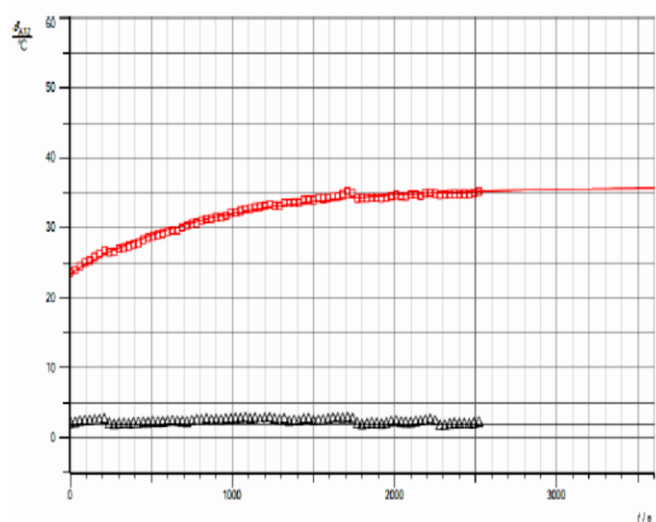
U temperatura farqini hisoblash uchun xizmat qiladi. $\Delta t = t_{im} - t_{sovuq}$



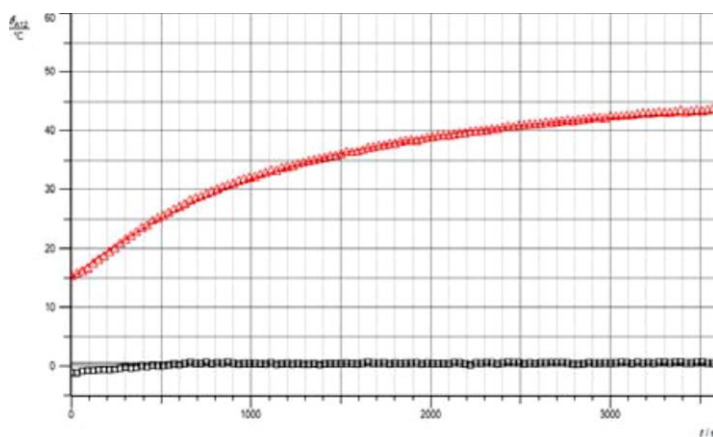
3.3.6-rasm. Polistrol.



3.3.7-rasm. Yog'och qipiqli plita (DSP).



3.3.8-rasm. Fenosell (gips)



3.3.9 - rasm. Qamish qirqimlaridan tayyorlangan panel (izolyatsion material).

3.3.5-Jadval

2. Tajribalarning yakuniy natijalari λ_N ning qiymatlari mahsulot ishlab chiqaruvchilardan olingan.

	<i>Polistrol</i>	<i>Yog'och qipiqli plita</i>	<i>Farmasell</i>	<i>Rohastll (izolyatsion materiall)</i>
$A, (m^2)$	0,0226			
$d, (m)$	0,01			
$U, (V)$	12	12	12	6
$P, (W)$	21,2	21,2	21,2	5,3

$\Delta t, (K)$	48	54	34	45
$\lambda, (\frac{W}{mK})$	0,19	0,17	0,28	0,05
$\lambda_m, (\frac{W}{mK})$	0,16-0,18	0,07-0,17	0,23-0,28	0,02-0,05

Issiqlik o'tkazuvchanlik qanchalik kichik bo'lsa, shunchalik ichki temperatura yuqori. Shuni qayd qilish kerakki, bunday temperaturaga yerishish uchun Rohasell (izolyatsion material) ancha pastroq quvvatni talab qiladi.

Sharh. Hisoblangan issiqlik o'tkazuvchanlik real issiqlik o'tkazuvchanlikdan doimo yuqori. Uni issiqlik yo'qotishlar orqali tushuntirish mumkin. Hisoblashlarda elektr quvvati R aynan issiqlik oqimiga teng deb olinadi. Issiqlik o'tkazuvchanlikni λ hisoblash uchun

$$P = \lambda \cdot \frac{S}{d} \cdot \Delta t \quad (3.3.34)$$

ega bo'lamiz. Ammo o'lchash vaqtida faqat issiqlik oqimi $\frac{\Delta Q}{\Delta \tau}$ namunadan o'tadi va shu sababli real issiqlik o'tkazuvchanlik uchun

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = Q = \lambda_{real} \cdot \frac{S}{d} \cdot \Delta t \quad (3.3.35)$$

ega bo'lamiz.

Bundan quyidagina olamiz.

$$\lambda = \lambda_{real} \cdot \frac{P}{Q} \quad (3.3.36)$$

Plastina orqali o'tayotgan issiqlik oqimi Q, elektr quvvatga R ga nisbatan $\frac{P}{Q}$ kam, shu sababli $\frac{P}{Q}$ nisbat 1 ga nisbatan katta. Shuning uchun o'lchangan issiqlik o'tkazuvchanlik real issiqlik o'tkazuvchanlikka nisbatan kattaroq.

Plastinka orqali o'tayotgan issiqlik oqimi Q , elektr quvvatga ρ nisbatan kam. Shu sababli ρ/Q nisbat 1 ga nisbatan katta. Shuning uchun o'lchangan issiqlik o'tkazuvchanlik real issiqlik o'tkazuvchanlikka nisbatan kattaroq.

Tajribalar asosida olingan natijalarini ishonchli intervallar muvofiq taqsimotlarini hisoblashda topshiriqni bajarish lozim bo'ladi.

III-bob bo'yicha nazorat savollari.

1. Absolyut va nisbiy xatolik mohiyatini tushuntiring.
2. O'lchashlarni aniqlash mezonining qanday parametrlarga bog'liq bo'ladi?
3. Funksiya xatoliklarini differensial usulini mohiyati nimadan iborat.
4. Issiqlik almashinuvini turlarini tushuntiring.
5. Issiqlik o'tkazuvchanlik orqali issiqlik almashinuvida qanday kattaliklar asosiy rol o'ynaydi?
6. Konveksiya orqali issiqlik almashinuvida qanday kattaliklar asosiy rol o'ynaydi?
7. Issiqlik o'tkazuvchanlik orqali issiqlik almashinuvida issiqlik samaradorligini qanday yo'llar orqali oshirish mumkin?
8. Furrye tenglamasini mazmunini tushuntiring.
9. Issiqlik o'tkazuvchanlik orqali issiqlik almashinuvining texnika va qurilishdagi ahamiyati.
10. Temperatura gradiyentini fizik mohiyatini tushuntiring.
11. Yuqoridagi grafiklarni tahlil qilib bering.

To'rtinchi bob
KORRELATSION REGRESSION ANALIZ

4.1. Chiziqli va egri chiziqli korreksiya.

Magistrant o'zlashtirishi lozim bo'lgan tushunchalar:

Korrelyatsiya, juft va xususiy korrelyatsiya, ko'p sonli korrelyatsiya, juft va ko'p sonli regressiyali analiz;

Ko'nikma olishi: Turli korrelaksiya koeffitsiyentlarini hisoblash, turli tipdagi regression moddellarni tuzish, korrelyatsion – regression analizlarni bajarish va statistika paketini ko'ra bilish, statistik ma'lumotlar odatda vaqt yaqinlashgan yoki o'rtacha tushunchalar bilan xarakterlanadi. Shuning uchun statistik jarayon baholash xarakteriga ega bo'lib, aniqlikni ishonchliligi uchun ko'p sonli tajriba natijalarini talab qiladi.

Statistik ma'lumotlarni analiz qilishni bir nechta ko'rinishlari bor: korrelyatsion, regression, dispersion, faktorli, klasterli va boshqalar.

Quyida ulardan ba'zilarini qaraymiz. Korrelyatsion analiz statistik analizni ko'rinishi bo'lib, nechta kuchlar va ikkita qo'shma korrelyatsiyani yo'nalishini o'zaro bog'lanishini yoki bir nechta (ko'p korrelyatsiya) yig'indi ma'lumotlarni bog'lanishini baholaydi.

O'zaro bog'liq kuchlarni son qiymati uchun qo'shma korrelyatsiya koeffitsiyenti r dan ko'p sonli korrelyatsiya R dan foydalaniladi.

Issiqlik fizikasida energetik tizimlar quyidagicha o'zaro bog'liq jarayonlar bir-biridan farq qiladi:

Qo'shma korrelyatsiya – ikkita ko'rsatgichlarni o'zaro bog'liqligi va ulardan biri natija bor, ikkinchisi vositachi;

- Xususiy korrelyatsiya–biri vositachi va boshqasi vositachilik belgilar ko'rsatgichlarini natijaviy qiymatlariga bog'langan.

- Ko'p soni korrelyatsiya–natijaviy ko'rsatgichlari vositachini bir qancha ko'rsatgichlari bilan bog'langan;

- Kanonik korrelatsiya – natijaviy guruppa ko'rsatgichlari bir nechta vositachi guruppa ko'rsatgichlariga bog'liq;

- Korrelyatsiya koeffitsiyenti- ikkita chiziqli bog'lanishni sonli ko'rsatgichlari yoki -1 dan $+1$ gacha bo'lgan intervaldagi ma'lumotlar to'plamidagi qiymatlar asos qilib olinadi. Agar korrelyatsiya koeffitsiyenti ± 1 ga teng bo'lsa, u holda ikki chiziqli bog'lanish funksional, agar 0 ga teng bo'lsa bog'lanishi yuzaga kelmaydi.

- Korrelyatsiya koeffitsiyentini xarakterlashda bog'lanishlarni sifatli baholash kuchi, maxsus quyidagi munosabatlar keltirilgan 4.1.1 jadvaldan foydalaniladi.

4.1.1-jadval

Korrelyatsiya koeffitsiyentlar

Korrelyatsiya koeffitsiyentlarni qiymatlari	Bog'lanish xarakteri
$0 < \tau < 0,3$	Juda o'ng
$0,3 \leq \tau < 0,5$	
$0,5 \leq \tau < 0,7$	Qisman
$0,7 \leq \tau < 0,9$	Kuchli
$0,9 \leq \tau < 1$	Juda kuchli

Bog'lanishni yo'nalishi plyus yoki minus belgi orqali aniqlanadi: $+1$ ga yaqin qiymatlar bir to'plam qiymatlarini ortishi boshqa to'plam qiymatini o'sishi bo'lmasligi va -1 ga yaqinlashib teskari yo'nalishiga borishini xarakterlaydi.

Ko'p sonli hodisalar uchun kurgazmali o'lchashlarni o'zaro bog'lanishda ko'p bog'lanishli korrelyatsiyani qo'llanilishi maqsadga muvofiq bo'ladi. Buning uchun korrelyatsion matritsa tizimidan tuzatish korrelyatsiya koeffitsiyeti qo'llaniladi.

Korrelyatsiya metodidan foydalanib quyidagi masalalarni yechish mumkin, tadqiqotlarda o'lchash natijalarini absolyut qiymatini belgilashda bitta o'lchash yoki kompleks faktorlarni natijalari asos qilib olinadi.

Eksperimental tadqiqotlarni natijaviy ko'rsatgichlari va boshqa biror doimiy omillar (ta'sir etuvchi kuch) bilan bog'lab o'lcham asosida aniqlanadi.

Tadqiqotlarda vaqt birligida sistemaga o'zgaruvchi ta'sir etuvchi omil va omillar olinishga nisbatan o'lchov bilan bog'laq jarayonlar e'tiborga olinadi.

Tadqiqot jarayonda variatsion natijalarning ko'rsatgichlarini umumiy hajmi o'rganiladi va har bir ta'sir etuvchi omilga bog'liqligiga mos ravishda o'zgarishi tushuntiriladi;

Korrelyatsion bog'lanishda tanlangan ko'rsatgichlarni ishonchliligi statistik nuqtai – nazardan baholanadi.

Demak korrelatsiya koeffitsiyenti - bu ikkita o'zgaruvchi o'zaro bog'liq kuchni o'lchash bilan faraz qilinadigan sistemani tekshirish asosida mumkin bo'lgan asbobdir.

Agar o'zgaruvchi sistema normal taqsimlansa yoki normal sistemadan muhim bo'lmagan tomonlari bilan farqlanmaydigan hollarda chiziqli pirson korrelyatsiya koeffitsiyenti qo'llaniladi.

Rangli (tartibli) o'zgaruvchi sistema uchun yoki o'zgaruvchi sistema normal holatdan muhim tomoni bilan farq qiladi, taqsimlanadigan tizimda korrelyatsiya koeffitsiyenti sifatida spirman yoki kendalla korrelyatsiya koeffitsiyentidan foydalaniladi.

Spirman koeffitsiyenti agar sistema o'zgaruvchanlik sonli xarakterda bo'lgan (sistemada taqsimlanish qonuni ma'lum bo'lmagan yoki normal holatda sifatli bo'lmagan) hollarda tavsiya etiladi.

Kendalla koeffitsiyenti – sistemada bitta bo'lsada sifatli (tartibli) o'zgaruvchi tizimdan foydalanilganda tavsiya etiladi

Ko'pgina iqtisodiy masalalarda, masalan, innovatsion natijalarni tanlashda asosan bir ikkinchisiga bog'liq o'zgaradigan bir xil jarayonlarda tartibli holatlardan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Chunki tartibli spirman korrelyatsiya koeffitsiyenti kuzatishdan o'lchashdan olingan o'suvchi o'zgaruvchi ikkalasi barcha hollarda doimiy saqlanadi.

U barcha tartibli shkalalarda va boshqa tartibli statistikada ham samarali hisoblanadi.

Spirmen va kendallarning tartibli korrelyatsiya koeffitsiyentlari-tasodifiy kattaliklarni o‘zaro chiziqli bog‘lanishini o‘lchashini xarakterlaydi. Sonli qiymatlar e‘tiborga olmasdan kattaliklarni o‘zaro bog‘lanish kuchlarini baholash uchun xarajatlarga mosligini bildiradi.

Bu koeffitsiyentlar sistema holat belgilarini zich va ma’lum bir yo‘nalishida bo‘lish darajasini aniqlik beradi, koeffitsiyentlarni qiymatlari +1 dan –1 intervalda yotadi hamda ularning absolyut qiymatlari sistemaning ikki holatini o‘zaro bog‘lanishining zichligi va yo‘nalishini xarakterlaydi.

Koeffitsiyentlardan foydalanishning yutuqlari shundan iboratki, sistemalarni ko‘rsatgichlariga muvofiq bog‘lanishlarini aniqlash soddalashadi va tajriba kuzatishdan olingan natijalarni bir xillik ko‘rsatgichlarini sonli ifodalash mumkin bo‘lmagan holatlarida: sub‘aktiv baholashda afzalliklarini aniqlashda va boshqalarda foydalaniladi. Xususan sistema holatini ekspert baholashda turli ekspertlarni baholarini taqqoslash mumkin va ulardan korrelyatsion kattalik orqali ekspertini bo‘sh korrelyatsion baholanish natijalarini chiqarish lozim bo‘ladi. Korrelyatsion koeffitsiyentlarni tartibi bog‘ning dinamik mustahkam holatini baholashda qo‘llaniladi.

Regression analiz- (statistik analiz). Regression analiz – statistik analiz ko‘rinishida bo‘lib-bir faktorni boshqa ko‘rinishdagi ba’zi funksiyalari (regressiya tenglamasi) bilan bog‘langan tasavvurlar asosida qaraladi va bunda oldindan prognozlash tufayli amalga oshadi va izlanishlar natijasida yuzaga keladigan savollarga javob topiladi biror vaqtdan keyin nima bo‘ladi yoki nima bo‘ladi agar??

Sistemada ma’lumotlar juft holatda berilgan bo‘lsa u holda regressiya tenglamasi ikki to‘plam asosida qaraladi va ulardan biri U o‘zgaruvchi qiymatlari qiymatlari bilan ikkinchisi unga bog‘liq bo‘lmagan holda – X bilan belgilab olinadi. Ko‘p sonli, regressiya tenglamalari yordamida bir qancha ma’lumotlar to‘plami ifodalanishi va yechilishi mumkin. Jumladan u – o‘zgaruvi qiymatlari bilan bog‘liq

fikrlar xarakterlashi mumkin. Boshqa hollarda X_1, X_2, \dots, X_n bog‘liq bo‘lmagan kattaliklar orqali ifodalanadi. Olingan regressiya tenglamasi ikki etapda bajariladi: funksiya ko‘rinishini tanlash va funksiya parametrlarini hisoblash. Funksiya ko‘rinishini tanlash ma’lum bo‘lgan fizikaviy, kimyoviy, iqtisodiy (va boshqa) jarayonlarni tarkibiy xossalari tanlab olinadi yoki boshqa fikrlarga asoslanish mumkin. Xususan ikkita kattalikni o‘zaro bog‘lanishni o‘rganish, ya’ni $U = f(x)$ atroksimatsiyalarni funksiyani izlanadi va bunda eksperimental nuqtalarni kiritish mumkin $(X_i, y_i), \dots, n$, ushbu yassi koordinatlarda nuqtalar joylashgan jarayonlarini (X_i, y_i) , xarakteriga muvofiq approksimatsiya funksiya strukturasi ifodalash mumkin. Ko‘p hollarda tanlangan funksiya chiziqli, kvadratik, darajali va boshqa ko‘rinishlarda yoritiladi. (4.1.2-jadval)

4.1.2 jadval

Approksimatsiyalash funksiyalarini ko‘rinishi

Juft (oddiy) regressiya	Ko‘paytirilgan regressiya
1	2
Chiziqli regressiya	
$y = ax + b$	$y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_m x_m$
Kvadratsimot (parabalik)	
$y = ax^2 + bx + c$	$y = a_0 + a_1 x_1^2 + \dots + a_m x_m^2$
Darajali	
$y = ax^b$	$y = a_0, X_1 a_1 X_2^{a_2} \dots X_m^{a_m}$
Logarifmik $y = ahx + b$	Giperbolik $y = a_0 + a_1(1/X^1) + \dots + a_m(1/X_m)$
Ekspontensial $y = ab^{bx}$	
Bu yerda $a, b, c \dots$ lar Juft regressiya koeffitsiyentlari	Bu yerda $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ lar ko‘p sonli regressiya koeffitsiyentlari n – yig‘indi hajmi
m – faktorlar sonini ko‘rsatgichlari	

Funksiyalar uchun quyidagi talablar joriy etiladi:

- Keyingi hisoblashlarda foydalanish uchun oddiy bo‘lishi yetarli hisoblanadi;
- Bu funksiyaning grafigi eksperimental tadqiqotdan olingan nuqtalar yaqinidan o‘tishi, shuningdek kvadratlar yig‘indisini chetlashishi y - koordinatadagi funksiya grafigi bilan eng kichik qiymatga ega bo‘lishi (eng kichik kvadratlar metodiga muvofiq bo‘lishi) kerak.

Ikkinchi etapda noma’lum approksiyamitrik funksiyaning koeffitsiyentlari prognoz qilingan sharoitda minimal o‘rtacha kvadratik xatoliklar bilan aniqlanadi.

Regressiya tenglamasidan a_0 va a_1 larni aniqlashda asosiy qo‘yilgan masalani yechish uchun eng kichik kvadratlar metodidan foydalaniladi (EKKM).

Regressiya tenglamasidan foydalanib olingan natijalarni haqiqiy qiymatlardan minimal chetlashishi kvadratik yig‘indilarga nisbatan belgilanadi,

Juft regressiya tenglamasining asosiy parametridan a_1 (ko‘p sonli regressiya a_j bo‘lgan holda, bu yerda $j = 1, 2, \dots, n$). X ko‘rsatgichni varelatsiya omili bilan o‘zaro bog‘liq kuchni xarakterlashi va u ko‘rsatgichni variatsiya natijaviy – hollariga muvofiqligi bilan ifodalanadi.

Ko‘p hollarda iqtisodiy tadqiqotlarda shunday holat yuzaga keladigan a_j parametrlar kutilgan natijasini bermasligi mumkin, qaysini bu koeffitsiyent ma’lum o‘lchamga ega bo‘lib, bu ko‘rsatgichlar hajmiga mos keladi va u yoki bu o‘zgaruvchiga nisbatan bog‘liq bo‘lmagan kichik ta’sirlarga qo‘llash mumkin bo‘lmaydi. Bunday hollarda β – koeffitsiyent yoki elastik koeffitsiyentdan foydalaniladi. β – koeffitsiyent (standartlashtirilgan regressiya koeffitsiyenti) ko‘rsatadiki, tadqiqotlarni natijaviy ko‘rsatgichlaridan o‘rtacha kvadratik o‘zgarishlarni chetlashishi sezilarli bo‘ladi.

Bitta kvadratik o‘zgarishlar omilidan iborat ko‘rsatgichlar kattaligini chetlanishi bunday hollarda quyidagicha ifodalanadi.

$$\beta_{ji} = \alpha_j \cdot \frac{\delta_{xj}}{\bar{y}} \quad (4.1.1)$$

Koeffitsiyentlarni shartli – toza regressiya foydali qiymati bog‘lanishlarni taqqoslash ko‘rsatgichlariga nisbatan ifodalash mumkin, xususan elastiklik koeffitsiyenti quyidagicha ifodalanadi:

$$E_j = \alpha_j \cdot \frac{\bar{x}_j}{\bar{y}} \quad (4.1.2)$$

Elastiklik koeffitsiyenti qiymatini aniqlash uchun Y = bog‘langan o‘zgaruvchi o‘rtacha qiymatini bir - necha foizga o‘zgarishi va bog‘lanmagan X o‘zgaruvchini 1% ga o‘zgarishi e‘tiborga olinadi. Ko‘p hollarda model tuzimda bir nechta tanlangan ma‘lumotlardan foydalaniladi.

Shuning uchun model tuzish va foydalanishda kirishidan oldin tadqiqotlardan olingan natijalarni taxlil qilinib, o‘xshash omillarni ishonchiliga e‘tibor qilish kerak bo‘ladi. Buning uchun student t – kriteriyani va Fisherni F - kriteriyasidan foydalanish maqsadga muvofiq bo‘ladi. Regressiya tenglamasini aniq sonli qiymatini tuzish uchun diterminatsiya koeffitsiyenti R^2 dan foydalaniladi. Bu esa ko‘p sonli korrelyatsiya koeffitsiyentini kvadratiga teng bo‘ladi va X_i faktori ta‘siri natijasida U – funksiya qancha protsentga o‘zgarishi bilan xarakterlanadi. U – ni qiymati 1-ga qancha yaqin bo‘lsa, tekshiriladigan obyektga nisbatan tenglamani yozilish aniqligi shuncha real holatga mos bo‘ladi.

Qoidaga asosan tadqiqot o‘tkaziladigan hodisa faraz qilinadigan makon uchun foydalaniladigan tenglamani qo‘llash o‘rinli bo‘ladi ($R^2 \approx 1$) prognoz kelgusida ilmiy tadqiqotlar yo‘nalishlarini umumlashtirish metodlaridan foydalanish yili bilan olingan natijalarni muxokama etish tufayli ehtimoli bo‘lgan jarayonlardir. Masalan ilmiy tadqiqot ishlarini moliyalashdan bajariladigan natijalarni prognoz qilishda ikkita savolga javob olish: bu qanday bo‘lishi mumkin (moliyaviy ko‘rsatgichlar, agar jarayonni o‘zgarishiga o‘lchov qabul qilinmasa) va bu qanday bo‘lishi mumkin firmalarni moliyaviy ko‘rsatgichlari qanday bo‘lishi mumkin, qaysiki firmaning moliyaviy holatidagi ko‘rsatgichlarni yuqori chegarada bo‘lishi u yoki bu o‘zgaruvchilarni bog‘liq bo‘lmasligi bilan prinsipi raqobatbardoshligiga erishiladi. Birinchi savolga olingan javobni prognoz qilish uchun ilmiy tadqiqot olib borish qabul qilingan va ikkinchi savolga normativ belgilanadi.

O‘zingizga berilgan variantlardagi ma’lumotlarni tanlab kopyalashtirib Statistica paketida elektron tablitsaga qo‘yiladi va kerakli ma’lumotlarni taxlil qilinadi, zaruriy tizimlarda qo‘llanilishiga erishiladi.

IV-bob bo‘yicha nazorat savollari.

1. Statistik ma’lumotlarni taxlil qiling va ularni ko‘rinishini sanab bering.
2. Juft korrelyatsiya koeffitsiyenti nima uchun foydalaniladi.
3. Qanday hollarda ko‘p sonli korrelyatsiya koeffitsiyentlari qo‘llaniladi?
4. Korrelyatsiya koeffitsent qiymatlarini o‘zaro bog‘lanishiga asoslanib uning xarakterini qanday aniqlash mumkin?
5. Korrelyatsiya metodi bilan qanday masalalar yechiladi?
6. Tarkibli (rangovoy) korrelyatsiya koeffitsiyentlari qachon qo‘llaniladi?
7. Regressiya tenglamasini qiymatlari qanday kriteriyalar yordamida tekshirildi?
8. Regressiya tenglamasini statistik qiymatlari qanday baholanadi?
9. β – koeffitsiyent qanday maqsadlarda foydalaniladi?
10. Egiluvchanlik koeffitsiyenti nimani bildiradi?

B e s h i n c h i b o b
TASODIFIY MIQDORLAR

5.1. Normal taqsimot.

Maksvell tomonidan 1859 yilda gaz molekulalarning tezliklar bo'yicha tasodifiy miqdorlar bo'yicha taqsimot qonuni kashf qilinadi. Bunda ma'lum gaz miqdori T-temperaturada tartibsiz issiqlik harakati holatida bo'lib, N ta sondagi aynan molekulalarni tasodifiy miqdordagi qiymatini belgilab olaylik. Gazga ta'sir etuvchi kuch maydonlari yo'q deb faraz qilaylik. Tasodifiy miqdordagi gaz molekula tezligining X-tashkil etuvchisi v va $dv_x + v_x$ oralig'ida bo'lishi va qolgan ipni tashkil etuvchisi istalgancha tasodifiy holatda bo'lish ehtimolligi qanday ekanligini qaraymiz.

Ma'lumki, bu tasodifiy ehtimollik qaralayotgan tezlik intervali dv_x ga proporsional, proporsionallik koeffitsiyenti esa v_x kattalikka bog'liq bo'ladi. Bu tasodifiy miqdorni ehtimolligini $\varphi(v_x)dv_x$ bilan belgilaymiz. Bu yerda $\varphi(v_x)$ kattalik normal taqsimot funksiyasi deb ataladi. Ammo bu normal taqsimot kattalik molekulalarning to'la ϑ tezligi bo'yicha emas, balki X o'qiga bo'lgan v_x proyeksiyasi bo'yicha normal taqsimotni xarakterlaydi. $f(\tau)$ kattalik tezliklar fazasida hajm yoki uch o'lchamli normal taqsimot funksiyasi deb ataladi va shu fazoda bir o'lchamli yoki chiziqli normal taqsimotni xarakterlaydi. Shunga o'xshash $\varphi(v_y)dv_y$ kattalik molekula tezligini y- tashkil etuvchisi v_y va $v_y + dv_y$ qiymatlari orasida yotuvchi tasodifiy normal taqsimlanishi va qolgan v_x hamda v_2 tashkil etuvchilari esa istalgancha tasodifiy normal taqsimlanish ehtimolligi bilan xarakterlanadi. Soddalik uchun molekulaning $(v_x, v_x + dv_x)$, $(v_y, v_y + dv_y)$, $(v_2, v_2 + dv_2)$ tezliklar intervaliga tasodifiy normal taqsimlanishini mos ravishda A, V, S tasodifiy normal taqsimlanish voqealari deb ataymiz. Molekulaning tezlik fazasining $dv = dv_x, dv_y, dv_2$ hajm elementiga tushishini tasodifiy normal taqsimoti ehtimolliligi $\varphi(v_y)dv_y$ ni aniqlaymiz.

Molekulaning bu hajm elementiga tasodifiy normal taqsimoti A,V,S voqealarining ko'paytmasidan iborat bo'lgan murakkab jarayondir. Uning tasodifiy normal taqsimlanish ehtimolligini, ehtimolliliklarni ko'paytirish teorimasidan aniqlash mumkin.

Biz molekula tezlik nuqtasining ayni bir vaqtda $(v_x, v_x + dv_x), (v_y, v_y + dv_y), (v_z, v_z + dv_z)$ uchta interval ichida tasodifiy normal taqsimlanishida bo'lish ehtimolligi

$$\varphi(v_x)\varphi(v_y)\varphi(v_z) dv_x dv_y dv_z$$

ko'paytma bilan ifodalanishi kerak deb qabul qilamiz. Ammo shu tasodifiy normal taqsimlanishdagi ehtimollik uchun $f(v)dv$ deb yozgan edik, bu yerda $dv = dv_x \cdot dv_y \cdot dv_z$. Har ikkala ifodani taqqoslab $f(v)$ taqsimot funksiyani

$$f(v)\varphi(v_x)\varphi(v_y)\varphi(v_z) \quad (5.1.1)$$

ko'rinishida bo'lishini topamiz. Odatda idishdagi gazlarda tasodifiy normal taqsimlanishida molekullarni harakati musbat va manfiy yo'nalishlari mutlaqo ekvivalent bo'ladi. Shuning uchun $\varphi(v_x) = \varphi(-v_x)$ bo'lishi kerak. Demak, φ funksiya faqat v_x tezlikning moduliga yoki kvadratiga bog'lik bo'lishi mumkin. Shuningdek gaz izotrop bo'lgani tufayli f funksiya faqat to'liq tezlikning kvadratiga bog'lik bo'lishi mumkin ammo uning yo'nalishiga emas. Tezliklarning kvadratlari o'rniga argumentlar sifatida tegishli kinetik energiyalarni olish mumkin. $E_x = \frac{1}{2}mv_x^2, E_y = \frac{1}{2}mv_y^2,$

$$E_z = \frac{1}{2}mv_z^2 \quad (5.1.2)$$

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = E_x + E_y + E_z \quad (5.1.3)$$

Yangi argumentlarga o'tishda funksiyalarning o'zini dastlabki φ va f harflar bilan belgilashga shartlashamiz. Tasodifiy normal taqsimotga belgilanishda analetik jihatdan (f) tenglama

$$\varphi(E_x) + \varphi(E_y) + \varphi(E_z) = f(E_x + E_y + E_z) \quad (5.1.4)$$

ko'rinishida ifodalanadi. Bu tengliklarni logorifmlab va so'ngra differensiallash orqali:

$$\varphi(E_x) = A, e^{-\mathcal{L}E_x}, \varphi(E_y) = A, e^{-\mathcal{L}E_y}, \varphi(E_z) = A, e^{-\mathcal{L}E_z} \quad (5.1.5)$$

tenglamalarni belgilab olamiz. Bu yerda A_1 – yangi doimiy, \mathcal{L} - ega musbat doimiylik qiymatiga ega, aks holda tasodifiy normal taqsimot ma’nosi tuziladi. (3) tenglamadan taqsimot funksiyasi

$f(E) = f(E_x + E_y + E_z)$ bo‘lgani uchun umumiy taqsimot funksiyasi

$$f(E) = Ae^{-\mathcal{L}E} \quad (5.1.6)$$

tenglik bilan xarakterlanadi. Kinetik energiyani ta’rifiga muvofiq $\langle E_x \rangle = \frac{1}{2} \Theta = \frac{1}{2} kt$ ekanligini e’tiborga olsak $\mathcal{L} = \frac{1}{kt}$ (11.5) ga teng bo‘ladi. Demak,

$$A_1 = \sqrt{\frac{m}{2\pi kt}}, A = \left(\frac{m}{2\pi kt}\right)^{3/2} \quad (5.1.7)$$

tenglik olinadi. Shunga asosan

$$\varphi(v_x) = \left(\frac{m}{2\pi kt}\right)^{1/2} e^{-\frac{mv^2}{2kt}}, \quad (5.1.8)$$

$$f(v) = \left(\frac{m}{2\pi kt}\right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kt}} \quad (5.1.9)$$

tengliklar kelib chiqadi va gaz molekulasini uchun tasodifiy normal taqsimlanish ya’ni tezliklarning Maksvellcha taqsimoti (11.7) va (11.8) formulalar bilan ifodalanadi.

Issiqlik o‘tkazuvchanlik jarayonini nostatsionar taqsimlanishi.

Yagonalik teoremi. 1. Issiqlik tarqalayotgan muhit bir jinsli, ya’ni muhitning barcha parametrlari ρ, κ, s_j koordinatalarga bog‘liq emas. Shuningdek, ular vaqtga va temperaturaga bog‘liq emas, ya’ni doimiy deb hisoblaymiz. Temperatura T faqat bitta fazoviy koordinata x va vaqtga bog‘liq bo‘lganida issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasi issiqlik manbalari bo‘lganida ko‘rinishini oladi yoki quyidagicha tenglama bilan ifodalanadi.

$$\rho c_0 \frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q(x, t) \quad (5.1.10)$$

Issiqlik manbalarining “Quvvat zichligi” koordinata va vaqtning berilgan funksiyasi deb olinishi kerak. Biroq manbalarining berilishi bilan (5.1.10) tenglamaning yechimi hali bir qiymatli aniqlanmaydi. Unga yana boshlang‘ich va chegaraviy shartlar deb ataluvchi shartlarni qo‘shish kerak. Tipik boshlang‘ich va chegaraviy shartlar quyidagilardan iboratdir.

Boshlang'ich shart vaqtning qandaydir biror momentida butun jismdagi temperaturani aniqlaydi, vaqtning bu momentini sanoq boshi deb olish mumkin. Bu shartni shunday ko'rinishda yozish mumkin:

$$T_{t=0} = f(x) \quad (5.1.11)$$

bu yerda $f(x)$ – x koordinataning berilgan funksiyasi. Chegaraviy shartlar vaqtning barcha momentlarida jismning chegarasida temperaturani aniqlaydi. Bir o'lchamli holda $x=0$ va $x=l$ tekisliklar bilan chegaralangan yassi parallel plastinka ko'rinishida bo'ladi. Shuning uchun chegaraviy shartlar ushbu ko'rinishda yoziladi.

$$T_{x=0} = \varphi_1(t), \quad T_{x=l} = \varphi_2(t) \quad (5.1.12)$$

bu yerda $\varphi_1(t)$ va $\varphi_2(t)$ – vaqtning berilgan funksiyalari.

2. Ta'riflangan chegaraviy masala yechimining yagona bo'lishining sababbi shuki, temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti χ haqiqiy musbat kattalikdir. Yechimning yagonaligini isboti uchun (11.9) tenglamaning (11.10) boshlang'ich shartlar va (5.1.12) chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi ikki yechimi: $T_1(x,t)$ va $T_2(x,t)$ bor deb faraz qilamiz. U holda

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + q/\rho c, \quad \frac{\partial T_2}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + q/\rho c$$

Hadma-had ayirib va $\theta = T_1 - T_2$ belgilashni kiritib, quyidagini olamiz:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \quad (5.1.13)$$

ya'ni $\theta(x,t)$ funksiya manbalarsiz issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini qanoatlantiradi. Bundan tashqari, ravshanki, bu funksiya "nolinchi" boshlang'ich va chegaraviy shartlarni qanoatlantiradi:

$$\theta_{t=0} = 0, \quad x \text{ ning har qanday qiymatida} \quad (5.1.14)$$

$$\begin{cases} \theta_-(x=0) = 0 \\ \theta_-(x=l) = 0 \end{cases} \text{ ning har qanday qiymatida} \quad (5.1.15)$$

$I(t) = \int_0^l \theta^2 dx$ integralni ko'ramiz. Ravshanki, bu integral manfiy bo'la olmaydi. Bundan tashqari (11.13) ga muvofiq $I(0)=0$. Integral $I(t)$ ning vaqt bo'yicha hosilasini topaylik:

$$\frac{dI}{dt} = 2 \int_0^l \theta \frac{\partial \theta}{\partial t} = 2\chi \int_0^l \theta \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} dx$$

Bo'laklab integrallab quyidagini olamiz:

$$\frac{dI}{dt} = 2\chi\theta \left. \frac{\partial\theta}{\partial x} \right| - 2\chi \int_0^l \left(\frac{\partial\theta}{\partial x} \right)^2 dx. \quad (5.1.16)$$

O'ng tomondagi birinchi qo'shiluvchi (11.14) chegaraviy shartlar tufayli nolga aylanadi. Ikkinchi qo'shiluvchi manfiy yoki nol, chunki $\chi > 0$. Shunday qilib, $\frac{dI}{dt} \leq 0$. Vaqt o'tishi bilan I integral yoki kamayishi yoki doimiy qolishi mumkin. Kamayishi mumkin emas, chunki $I(0)=0$, $I(t) \geq 0$ bo'lishi kerak. Yagona imkoniyat $dI/dt=0$, ya'ni $I(t)=const=I(0)=0$. Bu $\theta(x,t) = 0$ bo'lganda va faqat shunday bo'lgandagina mumkindir, ya'ni $T_1(x,t) = T_2(x,t)$. Yechimning yagonaligi isbot qilindi.

Xuddi shunday mulohaza yuritib, yagonalik teoremasining sferik va silindrik simmetriyalik masalalar uchun ham o'rinli ekanini isbot qilish oson. Bu teorema ixtiyoriy shakldagi jismlar uchun ham, T barcha uchala fazoviy koordinatalarga bog'liq bo'lgan holda ham o'rinli bo'lib qoladi. Isboti shunday bo'laveradi, biroq oddiy integrallar o'rniga va sirt bo'yicha integrallardan foydalanish kerak. Bunday isbot bizning kursimiz doirasiga kirmaydi.

Agar biror usul bilan talab qilinayotgan boshlang'ich va chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini yoki uning yechimini topishga erishilsa, u holda yagonalik teoremasi bu yechimning izlanayotgan yechim deb tasdiqlashga imkon beradi.

3. Shunday masalalar bo'lishi ham mumkinki, ularda yechimning yagonaligi boshqa sabablar bilan tushintiriladi. Misol tariqasida quyidagi masalani ko'raylik.

Turli temperaturali ikkita 1 va 2 issiqlikdan izolyatsiyalangan jismlar bir jinsli issiqlik o'tkazuvchan sterjen bilan birlashtirilgan, bu sterjenning yon sirtlari ham issiqlikdan izolyatsiyalangan. Jismlarning boshlang'ich temperaturalari mos ravishda T_{10} va T_{20} . Bu jismlar temperaturalarining vaqt davomida o'zgarish qonunini topish talab qilinadi.

Bunday ifodalashda masalada hali nihoyatda ko'p noaniqliklar bor. Noaniqliklarni bartaraf qilish uchun hammadan avval har ikkala jismning issiqlik o'tkazuvchanligi juda katta (matematik jihatdan cheksiz katta) deb faraz qilamiz. Bu holda jismning qismlari orasida temperaturaning tenglashishi oniy ravishda ro'y

beradi. Shuning uchun t vaqtning har bir momentida 1 va 2 jismni umuman harakterlovchi muayyan $T_1(t)$ va $T_2(t)$ temperaturalarni kiritish mumkin. Biroq masala to'la aniq bo'lishi uchun buning o'zi yetarli emas. Yana sterjenga tegishli ba'zi qo'shimcha farazlar ham kiritilishi kerak. Sterjenning ko'ndalang qismidan o'tuvchi issiqlik oqimi sterjenda temperaturaning boshlang'ich tarqalishiga ham bog'liq.

Agar sterjenning boshlang'ich temperaturasi T_{10} bo'lsa, u holda 1 jism bilan chegaradan sterjenda vaqtning boshlang'ich momentida hech qanday issiqlik oqimi bo'lmaydi, holbuki 2 jism bilan chegarasida issiqlik oqimi maksimal bo'ladi. Agar sterjen T_{10} va T_{20} orasidagi oraliq temperaturaga ega bo'lsa, u holda issiqlik oqimi sterjen bo'ylab kesimdan kesimga o'zgaradi. Biroq, sterjenning issiqlik sig'imi jismlarning issiqlik sig'imlari S_1 va S_2 larga nisbatan juda kichik deb faraz qilamiz. Biror vaqt o'tganidan keyin sterjenda temperatura bir tekis pasayib, bu temperaturada issiqlik oqimi sterjen bo'ylab o'zgarmaydi. Bu vaqt ichida 1 va 2 jismlarning temperaturalari ularning issiqlik sig'imlari katta qiymatlarga ega bo'lgani uchun amalda o'zgarmaydi. Shuning uchun sterjenda issiqlik oqimining barqarorlashish protsessidan mavhumlanib, avval boshdanoq issiqlik oqimi sterjen bo'ylab uning butun kesimlarida birday deb olish mumkin. Bunda masala matematik aniq, ya'ni bir qiymatli bo'lib qoladi. Aniq bo'lishi uchun $T_1 > T_2$ deb faraz qilamiz. Sterjen bo'ylab 1 jismdan 2 jism tomon issiqlik oqimi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\kappa S \frac{T_1 - T_2}{l},$$

Bu yerda S –sterjenning ko'ndalang kesimi yuzi, l –uning uzunligi. Bu oqim son jihatidan 1 jismda issiqlikning kamayish tezligi $-dQ_1/dt$ ga yoki 2 jismda issiqlikning ortish tezligi $+dQ_2/dt$ ga teng. S_1 va S_2 issiqlik sig'imlarini doimiy deb hisoblab, shunday yozish mumkin: $Q_1 = C_1 T_1$,

$Q_2 = C_2 T_2$. Bu quyidagi tenglamalarga olib keladi:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = -\kappa S \frac{T_1 - T_2}{l}, \quad (5.1.17)$$

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = \kappa S \frac{T_1 - T_2}{l}.$$

(5.1.16) tenglamalarni hadma – had qo'shish quyidagini beradi:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} + C_2 \frac{dT_2}{dt} = 0, \quad (5.1.18)$$

Yoki integrallaganimizdan keyin $C_1 T_1 + C_2 T_2 = \text{const}$ ni olamiz.

Bu tenglama 1 va 2 jismlarda bo'lgan umumiy issiqlik miqdorining saqlanishini ifodaylaydi. Boshlang'ich momentda $T_1 = T_{10}, T_2 = T_{20}$ va shuning uchun

$$C_1 T_1 + C_2 T_2 = C_1 T_{10} + C_2 T_{20}$$

T_1 va T_2 noma'lumlarni aniqlash uchun bu tenglamaning o'zi yetarli emas. Yetishmaydigan tenglamani topish uchun (11.15) tenglamani dT_1/dt va dT_2/dt hosilalarga nisbatan yechamiz va birinchi tenglamadan ikkinchi tenglamani hadma-had ayiramiz. U holda quyidagini olamiz:

$$\frac{d(T_1 - T_2)}{dt} = -\frac{T_1 - T_2}{\tau}, \quad (5.1.19)$$

bu yerda

$$\frac{1}{\tau} = \frac{\kappa S}{l} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \quad (5.1.20)$$

Belgilash kiritilgan. τ kattalik vaqt o'lchamligiga ega. (5.1.19) tenglamani integrallab quyidagini olamiz:

$$T_1 - T_2 = A e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.1.21)$$

Temperaturalar farqi $T_1 - T_2$ vaqt o'tishi bilan eksponetsial ravishda kamayadi. τ vaqt ichida bu ayirma e marta kamayadi. Shuning uchun τ jismlar orasida issiqlik muvozanati qaror topish vaqtini xarakterlaydi. U qaralayotgan jismlar *temperaturalarining relaksatsiya vaqti yoki tenglashish vaqti* deb ataladi. Integrallash doimiysi Ani $t = 0$ bo'lganda $T_1 = T_{10}, T_2 = T_{20}$ degan boshlang'ich shartdan olinadi. Bu quyidagini beradi:

$$T_1 - T_2 = (T_{10} - T_{20}) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.1.22)$$

Endi (11.16) va (11.19) tenglamalar sistemasini yechib quyidagini topamiz:

$$T_1 = \frac{C_1 T_{10} + C_2 T_{20}}{C_1 + C_2} + \frac{C_2}{C_1 + C_2} (T_{10} - T_{20}) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.1.23)$$

$$T_2 = \frac{C_1 T_{10} + C_2 T_{20}}{C_1 + C_2} - \frac{C_1}{C_1 + C_2} (T_{10} - T_{20}) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.1.24)$$

$t \gg \tau$ bo'lganida bu ifodalardagi eksponensial hadlar nazarga olmaslik darajada kichik va (5.1.19) formula aralashmaning temperaturasi ni aniqlovchi ma'lum bo'lgan ifodalarga aylanadi.

Masalalar. Qo'lning sokin sirtida berilgan vaqt ichida hosil bo'ladigan muzning qalinligini aniqlang. Atrofdagi havo temperaturasi T o'zgarmas va muzning tashqi sirti temperaturasiga teng hisoblang ($T < T_{er}$ bu yerda T_{er} – muzning erish temperaturasi).

Yechilishi. Vaqtning t momentida hosil bo'lgan muz qatlami qalinligini x orqali belgilaymiz. Agar ko'l juda tez muzlamayotgan bo'lsa (odatda tabiiy sharoitlarda shunday bo'ladi), u holda muz qatlamida temperaturaning T_{er} dan T gacha chiziqli tushishi sodir bo'ladi. Bu holda muzning sirti birligidan $\acute{a}t$ vaqt ichida tashqariga ketayotgan issiqlik

$$\kappa \frac{T_{er}-T}{x} dt \quad (5.1.25)$$

orqali ifodalanadi. Biroq xuddi shu kattalikni $q\rho dx$ tarzida ifodalash mumkin, bu yerda $\acute{a}x$ – $\acute{a}t$ vaqt ichida hosil bo'lgan muz qatlami qalinligi, ρ – muzning zichligi, q – muzning solishtirma erish issiqligi. Bu quyidagi tenglamaga olib keladi:

$$\kappa \frac{T_{er}-T}{x} dt = dt = q\rho dx$$

x ga ko'paytirib va integrallab, quyidagini hosil qilamiz:

$$\kappa(T_{er} - T)t = \frac{1}{2} q\rho x^2 + A.$$

Vaqt sanoq boshi uchun vaqtning suvning usti endi muzlay boshlangan momentini olamiz. U holda $t = 0$ bo'lganda $x = 0$ bo'ladi va shuning uchun

$A = 0$ bo'ladi. Natijada quyidagini hosil qilamiz:

$$x = \sqrt{\frac{2\kappa(T_{er}-T)t}{q\rho}}. \quad (5.1.26)$$

Muz uchun $\kappa = 2,22 \cdot 10^5 \text{ erg}/(\text{s} \cdot \text{sm} \cdot \text{K})$, $q = 3,35 \cdot 10^9 \text{ egr/g}$, $\rho = 0,9 \text{ g/sm}^3$ Atrofdagi havoning temperaturasi -10°S deb olamiz. Bu ma'lumotlardan foydalanib bir sutka davomida ($t = 86400 \text{ s}$) $x = 11,3 \text{ sm}$ qalinlikdagi muz qatlami hosil bo'lishini topish qiyin emas.

Muzning sferik parchasi (boshlang'ich radiusi $R_0 = 1 \text{ sm}$) temperaturasi 10°S bo'lgan katta massali suvga botirilgan. Suyuqlikda issiqlik uzatish faqat uning issiqlik o'tkazuvchanligi bilan bog'langan deb faraz qilib, muzning to'la eriydigan τ vaqtini aniqlang. Suvning issiqlik o'tkazuvchanligi $\kappa = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Vt}/(\text{sm} \cdot \text{K})$. Muzning erish solishtirma issiqligi $q = 330 \text{ J}/g$.

Yechilishi. Agar muzning erishi juda tez bo'lmasa, u holda temperaturaning atrofdagi suvda oniy taqsimlanishi xuddi statsionar holdagi singari temperaturaning o'sha chegaraviy qiymatlaridagi singari bo'lishi mumkin. (53.2) ga muvofiq bu taqsimlanish biz ko'rayotgan holda quyidagi

$$T = T_\infty + \frac{R}{r}(T_0 - T_\infty) \quad (5.1.27)$$

Ko'rinishda bo'ladi, bu yerda R – muz parchasi radiusining oniy qiymati, T_0 va T_∞ – suvning shar sirtidagi va cheksizlikdagi (masalaning shartiga ko'ra $T_\infty - T_0 = 10 \text{ K}$) qiymatlari. dt vaqt ichida sharga atrofdagi havodan keladigan issiqlik miqdori

$$4lr^2\kappa \frac{dT}{dr} dt = 4l\kappa R (T_\infty - T_0)dt. \quad (5.1.28)$$

ga teng bo'ladi. Bu issiqlik muzning erishiga ketadi va shuning uchun yana shunday ifodalanishi mumkin:

$$-qdm = -4lR^2\rho_m qdR.$$

Bu ikkala ifodani tenglab quyidagini olamiz:

$$\kappa(T_\infty - T_0)dt = -\rho_m qRdR.$$

Bundan integrallash yo'li bilan muzning erish vaqtini topamiz:

$$\tau = \frac{\rho_m q R_0^2}{2\kappa(T_\infty - T_0)} \approx 2480 \text{ s} \approx 40 \text{ min}$$

Temperaturalar superlozitsiyasi prinsipi. Temperatura to'lqinlari.

1. Issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi (5.1.13) chiziqli va bir jinslidir. Shuning natijasida uning muhim xossalari yechimlari kelib chiqadi, bu xossa temperatura g'alayonlarining superpozitsiya prinsipi deb ataladi. Aytaylik, $T_1(x, t)$ va $T_2(x, t)$ lar (5.1.13) tenglamaning qandaydir ikki yechimi bo'lsin, ya'ni

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} \quad \frac{\partial T_2}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}$$

Agar bu munosabatlar hadma - had qo‘shilsa, u holda

$$\frac{\partial(T_1+T_2)}{\partial t} = x \frac{\partial^2(T_1+T_2)}{\partial x^2} \quad (5.1.29)$$

Hosil bo‘ladi. Bundan $T = T_1 + T_2$ yig‘indi ham (5.1.13) tenglamaning yechimi bo‘lishi kelib chiqadi. Umuman, issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasi ixtiyoriy sondagi yechimlari yig‘indisi ham shu tenglamaning yechimi bo‘ladi. Bu matematik nazariya quyidagini anglatadi. $T_1(x, t), T_2(x, t), \dots$ - muhitdagi temperaturaning mumkin bo‘lgan qandaydir ixtiyoriy taqsimotlari bo‘lsin. U holda ularning $T = T_1(x, t) + T_2(x, t) + \dots$ yig‘indilari ham temperaturaning xuddi shu muhitdagi biror mumkin bo‘lgan taqsimotini beradi. Shu qoida temperatura g‘alayonlarining superpozitsiyasi (qo‘shilish) prinsipi deb ataladi.

Temperaturalar superpozitsiyasi prinsipini to‘g‘ri tushunish va qo‘llash uchun shu narsani nazarda tutish zarurki, real muhitlarning xossalari, jumladan, temperatura o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti x temperatura o‘zgarishi bilan o‘zgaradi. Biz buni isbot qilishda nazarga olmadik. Temperatura $T = T_1 + T_2 + \dots$ masalan, shuncha baland bo‘lishi mumkinki, bunda qattiq jism erib yoki bug‘lanib ketadi. U holda yechim batamom o‘z ma‘nosini yo‘qotadi. Shunday qilib, issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasi o‘zining chiziqlilik va bir jinslilik xossasini faqat temperatura o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti o‘zgarmas bo‘lgan qandaydir temperatura intervalidagina saqlaydi. Intervalning kengligi muhitning o‘ziga, shuningdek, hisoblash uchun kerak bo‘lgan aniqlikning darajasiga bog‘liq. Superpozitsiya prinsipi barcha T_1, T_2, \dots temperaturalar va ularning yig‘indisi ana shu intervaldan tashqariga chiqmagandagina o‘z kuchini saqlaydi. Bu chegaralardan tashqari superpozitsiya prinsipi o‘rinli bo‘lmaydi. Superpozitsiya prinsipining asosiy ahamiyati shundaki, bu prinsip issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasining ma‘lum yechimlaridan yangi yechimlar “yaratishga” imkon beradi.

2. Hozirgina isbot qilingan teorema teskari teorema, albatta, o‘rinli bo‘lmaydi. $T = T_1 + T_2$ yig‘indi issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasining yechimi bo‘lishi mumkin, biroq T_1 va T_2 qo‘shiluvchilar bunday bo‘lmasligi ham mumkin. Biroq formal ravishda matematik jihatdan kompleks yechimlar kiritish mumkin. T ni tenglamani qanoatlantiradigan kompleks funksiya bo‘lsin. Uni haqiqiy va

mavhum qismlarga ajratamiz: $T=T_1+iT_2$, bu yerda T_1 va T_2 haqiqiy kattaliklar. Bu ifodani (11.26) tenglamaga qo‘yib va haqiqiy qismini mavhum qismidan ajratib, quyidagini olamiz:

$$\left(\frac{\partial T_1}{\partial t} - x \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}\right) + i \left(\frac{\partial T_2}{\partial t} - x \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}\right) = 0. \quad (5.1.30)$$

Biroq kompleks son uning haqiqiy va mavhum qismlari alohida – alohida nolga teng bo‘lgandagina va faqat shundagina nolga teng bo‘ladi, ya’ni

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} - x \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} = 0, \quad \frac{\partial T_2}{\partial t} - x \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} = 0.$$

Binobarin, agar $T = T_1 + iT_2$ kompleks funksiya issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasining yechimi bo‘lsa, u holda T_1 va T_2 haqiqiy funksiyalar ham xuddi shu tenglamaning yechimlari bo‘ladi. Bu qoidaning to‘g‘ri ekanligi x va t o‘zgaruvchilarning, shuningdek x koeffitsiyentning ham haqiqiy kattaliklar bo‘lishi bilan bog‘langandir. Bu qoida koeffitsiyentlari haqiqiy bo‘lgan har qanday chiziqli bir jinsli differensial tenglamalar uchun ham o‘z kuchini saqlaydi va ko‘pincha bunday tenglamalarning haqiqiy yechimlarini topishning qulay metodi bo‘lib xizmat qiladi. Buni *temperaturalar to‘lqini* misolida namoyish qilaylik. Bu masalani haqiqiy funksiyalar sinfi doirasidan chiqmasdan ham qarash mumkin edi, biroq bunday metod juda katta va g‘ayri tabiiy bo‘lgan bo‘lar edi.

3. Agar muhitning biror nuqtasida temperatura vaqt o‘tishi bilan davriy ravishda o‘zgarib tursa, bu temperaturaning muhitning qolgan boshqa nuqtalarida ham davriy o‘zgarib turishiga olib keladi. Muhit bir jinsli bo‘lgan va $x = 0$ tekislik bilan chegaralangan yarim tekislikni to‘ldirib turgan eng sodda holni ko‘raylik. X o‘qini muhit ichiga qarab uning chegarasiga perpendikulyar yo‘naltiramiz. Muhitning sirtida temperatura biror o‘rtacha qiymat atrofida tebranib sinusoidal yoki kosinusoidal qonunga ko‘ra o‘zgarib tursin.

Agar temperaturani shu o‘rtacha qiymatdan boshlab hisoblashga kelishilsa, u holda bu o‘rtacha qiymatni nolga teng deb olish ham mumkin. Biz ham shunday qilamiz. Issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasi davriy yechimlarini izlashda sinus va kosinus o‘rnida kompleks ko‘rsatkichli funksiyadan foydalanish mumkin, so‘ngra esa Eylerning (1707-1783) mashhur formulasi

$$e^{i\alpha} = \cos \alpha + i \sin \alpha \quad (5.1.31)$$

dan haqiqiy yechim shakliga o'tish mumkin. Quyidagi

$$T = T_0 e^{i(\omega t - kx)} \quad (5.1.32)$$

kompleks funksiyani ko'raylik, bu yerda T_0 , ω va k — o'zgarmas kattaliklar.

Bu doimiylarning qanday qiymatlarida (11.26) funksiya issiqlik o'tkazuvchanlik funksiyasining yechimi bo'ladi. Differensiallashdan

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= i\omega T_0 e^{i(\omega t - kx)} = i\omega T, \\ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= -k^2 T_0 e^{i(\omega t - kx)} = -k^2 T. \end{aligned} \quad (5.1.33)$$

kelib chiqadi. Bu ifodalarni (11.5) tenglamaga qo'yib va qisqartirib $i\omega = -x^{k^2}$ ni hosil qilamiz. Agar shu shart bajarilsa, u holda (11.26) funksiya

$$j = x \frac{T_1 - T_2}{e} \quad (5.1.34)$$

Tenglamaning yechimi bo'ladi, bunda T_0 doimiyning qanday bo'lishi rol o'ynamaydi. ω doimiyni biz haqiqiy va musbat qilib tanlaymiz. U holda k doimiy kompleks bo'ladi va ikki qiymatga ega bo'lishi mumkin:

$$k = \sqrt{-i \frac{\omega}{x}} = \pm \sqrt{\frac{\omega}{2x}} (1 - i). \quad (5.1.35)$$

Buning natijasida (5.1.32) ifoda shunday

$$T = T_0 e^{\mp \sqrt{\frac{\omega}{2x}} x} \cdot e^{i \left(\omega t \mp \sqrt{\frac{\omega}{2x}} x \right)} \quad (5.1.36)$$

aylanadi. Bu yerda to'rtta emas, ikkita yechim bor chunki yuqoridagi ishora yuqoridagi ishora bilan, pastdagi ishora bilan kombinatsiyalanishi kerak. Bu ikki yechimdan birini fizik mulohazalarga ko'ra tashlab yuborish kerak.

Temperatura tebranishlari muhitning sirtida yuzaga kela boshlaydi va uning ichiga beriladi. Tabiiyki, bu tebranishlar muhitning ichiga kirgan sari kuchaymaydi, balki *so'nadi*. Shu bilan birga (5.1.36) formulada plus ishorasiga eksponential ortuvchi ko'paytuvchi $e^{\sqrt{\frac{\omega}{2x}} x}$ muvofiq keladi, bu ko'paytuvchi $x \rightarrow \infty$ bo'lganda cheksizlikka intiladi. Bu ishora masalaning shartlarini qanoatlantirmaydi va faqat minus ishorani saqlash kerak. So'ngra yechimlarning haqiqiy formasiga o'tish

kerak, chunki faqat haqiqiy yechimlariga fizik ma'noga ega. Yuqorida ko'rsatib o'tilganidek, har qanday kompleks yechim ikkita haqiqiy yechimga ekvivalentdir. (5.1.36) kompleks yechimdan yuqoridagi usul bilan ikkita haqiqiy formuladagi yechim hosil bo'ladi:

$$T \equiv T_1 = T_1 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2x}}x} \cos\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2x}}x\right), \quad (5.1.37)$$

$$T \equiv T_2 = T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2x}}x} \sin\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2x}}x\right). \quad (5.1.38)$$

Bevosita o'rniga qo'yish yo'li bilan topilgan ifodalarning (11.26) tenglamaning yechimlari ekanligiga ishonch hosil qilish mumkin edi. U holda (11.25) kompleks formadagi yordamchi yechimini chiqarib o'tirish zarurati qolmas edi. Biroq bunday usul yuqorida aytganimizdek murakkab va g'ayri tabiiydir.

1. Endi olingan yechimlarning fizik ma'nosini aniqlaymiz. Har ikkala yechim (11.29) va (11.30) bir xil tipdagi yechimlardir – vaqt sanoq boshini o'zgartirish bilan sinusni hamma vaqt kosinusga aylantirish mumkin. Shuning uchun ulardan birini tadqiq qilish bilan cheklanish mumkin. Misol uchun (11.29) yechimni tadqiq qilamiz.

Agar x ni qayd qilsak, u holda fazoning har bir nuqtasida T temperatura vaqt o'tishi bilan ayni bir $\tau = \frac{2l}{\omega}$ davrga ega bo'lgan garmonik tebranishlar qiladi. Bu tebranishlarning fazasi nuqtadan nuqtaga o'zgaradi. Teng fazalar sirti bo'lgan

$$\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2x}}x = const \quad (5.1.39)$$

sirt muhit sirtiga parallel bo'lgan tekislikdir. Bu tekislik o'z joyida qolmaydi, X o'qi yo'nalishida ma'lum v tezlik bilan siljiydi. Shuning uchun (5.1.37) – (5.1.38) yechim ifodalanadigan (tavsiflanadigan) g'alayonlanishlarni *temperatura to'lqin*, v – tezlikni esa *faza tezligi* yoki soddagina qilib *shu to'lqinning tezligi* deb ataladi. v tezlikni (5.1.39) tenglamani differensiallash bilan oson topish mumkin.

bunda

$$v = \frac{dx}{dt} = \sqrt{2X\omega} = 2\sqrt{\frac{lx}{\tau}} \quad (5.1.40)$$

kelib chiqadi. Temperatura to‘lqinning λ uzunligi τ davr ichida o‘tiladigan masofadir. Bu masofa

$$\lambda = v\tau = 2l\sqrt{l\chi\tau} \quad (5.1.41)$$

ga teng.

Temperatura to‘lqinining amplitudasi A (5.1.37) va (5.1.38) formulalardan ko‘rinib turganidek, tarqalish yo‘nalishida

$$A = T_0 e^{-\alpha x} \quad (5.1.42)$$

Eksponensial qonunga muvofiq so‘nadi, bu yerda

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega}{2\chi}} = \sqrt{\frac{l}{\chi\tau}} = \frac{2l}{\lambda} \quad (5.1.43)$$

α doimiy kattalik temperatura to‘lqinning so‘nish koeffitsiyenti deb ataladi.

$$l = \frac{1}{\alpha} = \frac{\lambda}{2l}$$

Uzunlik davomida to‘lqinning amplitudasi e marta kamayadi.

1. (5.1.32) tenglamaning yechimi qanday boshlang‘ich va chegaraviy shartlarni qanoatlantirishni topish oson. Agar (5.1.37) formulada avval $x = 0$, so‘ngra esa $t = 0$ qo‘ysak, bu shartlar kelib chiqadi. Shunday yo‘l bilan

$$T_{x=0} = T_0 \cos \omega t, \quad (5.1.44)$$

$$T_{t=0} = T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\chi}}x} \cos \sqrt{\frac{\omega}{2\chi}}x \quad (5.1.45)$$

ekanini topamiz.

Yagonalik teoremasi (3-§) ga asoslanib, bu shartlarni qanoatlantiruvchi yagona yechim (5.1.32) ekanligi haqida xulosa qilamiz.

Chegaraviy shartlar (5.1.14)-(5.1.15) larga qarama – qarshi o‘laroq boshlang‘ich shartlar (5.1.14.) va (5.1.15) lar nihoyatda sun‘iy xarakterga ega va unga real fizik masala boshqacha qo‘yilishi kerak. Masalan, masala quyidagicha qo‘yilishi mumkin. Muhitning sirtiga vaqtning $t = 0$ momentida (5.1.14) ifoda bilan ifodalangan garmonik tebranishlar vujudga keladi va cheklanmagan uzoq muddat saqlanib turadi. Muhitning ichida hech qanday issiqlik manbalari yo‘q, temperaturaning boshlang‘ich taqsimoti har qanday bo‘lishi mumkin.

Yetarlicha uzoq vaqt oralig'i o'tganidan keyin temperaturaning qanday tebranishlari qaror topishini aniqlash talab qilinadi. Javobni (5.1.45) formula beradi. Haqiqatan ham, juda uzoq vaqt oralig'i o'tganidan keyin muhitda temperatura tebranishlari so'nadi, faqat tashqi manbalar tomonidan ushlab turilgan majburiy tebranishlarga qoladi, buning ustiga bu majburiy tebranishlar temperaturaning muhit sirtidagi tebranishlari bilan vaqtga nisbatan birday davrli bo'lishi kerak.

Keltirib chiqarilgan natijalarni yerning sirt qatlamida temperaturaning sutkalik va yillik tebranishlari tufayli yuzaga keladigan issiqlik to'lqinlariga tatbiq qilaylik. Sodda bo'lishi uchun tebranishlarni garmonik tebranishlar deb olamiz. Real tebranishlar albatta garmonik bo'lmaydi. Biroq buning ahamiyati kam. Gap shundaki, har qanday davriy tebranishlarni karrali davriy tebranishlarning qo'shilishi deb tasvirlash mumkin, shu bilan birga, past chastotali tebranishlar asosiy e'tiborga loyiqdir, chunki so'niy koeffitsiyenti chastotadan olingan kvadrat ildizga proporsional bo'ladi. Bunday past chastotali tebranishlarning davrlari bizning masalamizda yil va sutka bo'ladi.

Sutkalik va yillik temperatura to'lqinlarining ichkariga kirish chuqurliklari, (5.1.43) formulaga muvofiq, shunday munosabat bilan bog'langan bo'lishi kerak:

$$\frac{l_{yil}}{l_{sut}} = \sqrt{\frac{\tau_{yil}}{\tau_{sut}}} = \sqrt{365} \approx 19.$$

Haqiqatan ham, eksperimental ravishda shu narsa aniqlanganki, yer sirtining kunduzi isitishi va kechasi sovishi bilan bog'liq bo'lgan temperatura tebranishlari yerning temperaturasiga ~ 1 m chuqurlikdayoq ta'sir ko'rsatmas ekan.

Yer sirtining yoz vaqtida isib va qish vaqtida sovishi bilan bog'liq bo'lgan yillik temperatura tebranishlari 20 m chuqurlikdayoq kuzatilmaydi. Bundan chuqurroq joylarda Yerning temperaturasi uning sirtidagi temperatura tebranishlariga mutlaqo bog'liq bo'lmaydi. Buning hammasi yuqorida keltirilgan nazariy baholashlarga to'la muvofiq keladi. Shu bilan birga, ko'rib turibmizki, temperatura to'lqinlarining kirish chuqurligi Yerning radiusiga nisbatan hisobga olmasa bo'ladigan darajada kichik.

Ana shuning uchun hisoblashlarda Yerning sferikligini nazarga olmay, uni yassi deb olish mumkin.

Nazaryaning boshqa tasdig'i sifatida Yer sirti yaqinida issiqlik to'lqinlarining tarqalish tezligiga doir kuzatishlarni ko'rsatish mumkin. Kuzatishlar shuni ko'rsatdiki, davri bir sutkaga teng bo'lgan issiqlik to'lqinlarining tarqalish tezligi 1 m/sutka ga yaqin ekan, davri bir yilga teng bo'lgan issiqlik to'lqinlarining tarqalish tezligi esa $v_{yil} \approx 0,046$ m/sutkaga teng. Bu tezliklarning nisbati

$$\frac{v_{sut}}{v_{yil}} \approx \frac{1}{0,046} \approx 22$$

ga teng, nazariya bo'yicha esa u

$$\frac{v_{sut}}{v_{yil}} = \sqrt{\frac{\tau_{yil}}{\tau_{sut}}} = \sqrt{365} \approx 19.$$

ga teng bo'lishi kerak. Albatta, to'la ravishda muvofiqlikni kutish qiyin, negaki Yer nazariyada faraz qilinganidek bir jinsli emas.

V-bob bo'yicha nazorat savollari.

1. Tasodifiy miqdorni tavsiflashni tushintirib bering.
2. Taqsimoti normal taqsimot ichining xarakteristikasini aytib bering.
3. Maksvell tezliklar taqsimotini mohiyatini tushuntiring.
4. Issiqlik ko'tkazuvchanlik jarayonini nostatsionar taqsimlanish teoremasini aytib bering.
5. Temperaturalar superpozitsiyasi prinsipini qanday tushunasiz.

Oltinchi bob
TASHQI ISSIQLIK O‘TKAZUVCHANLIK

6.1. Molekulalarni tezliklarini issiqlik tizimi bilan bog‘liq taqsimoti.

Aytaylik, bir jinsli muhit $x = 0$ tekislik bilan chegaralangan yarim fazoni to‘ldirib turibdi. Vaqtning boshlang‘ich momentida $t = 0$ muhitning temperaturasi hamma joyda birday va T_0 ga teng. Muhitning sirtida temperatura hamma vaqt doimiy tutib turiladi va $T \neq T_0$. Shunday qilib, boshlang‘ich momentda muhitning temperaturasi muhitning chegarasida sakrashga duch keladi. Vaqtning kelgusi momentlarida muhitda temperaturaning taqsimlanishi $T(x, t)$ ni topish talab qilinadi. Bu masala V. Tomson tomonidan qo‘yilgan va hal qilingan edi. Bu masala tipik chegaraviy masala bo‘lib, uni yechishga yagonalik teorema qo‘llaniladi.

X- o‘qini muhit ichiga uning chegarasiga perpendikulyar yo‘naltiramiz. Temperatura taqsimoti issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasi (5.1.36) bilan tavsiflanadi. Talab qilingan boshlang‘ich va chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi yechimini topish uchun dastlab o‘lchamlilik metodidan foydalanamiz. Masala T, x, t o‘zgaruvchilar va T_0, T_1, X parametrlar orasidagi bog‘lanishni topishdan iborat. Temperatura o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti X uzunlikning kvadrati taqsimlangan vaqt o‘lchamliligiga ega. Buni nazarga olib, standart usullar bilan oltita T, x, t, T_0, T_1, X kattaliklardan faqat uchta mustaqil o‘lchovsiz kombinatsiyalar, masalan, $\frac{T}{T_0}, \frac{T_1}{T_0}, \frac{x}{\sqrt{xt}}$ ni tuzish mumkin ekanligini ko‘rsatish qiyin emas. O‘lchamlilik qoidasiga ko‘ra, muhitda temperaturaning taqsimlanishi bu o‘lchamsiz kombinatsiyalar orasidagi funksional bog‘lanishlar ko‘rinishida yozilishi mumkin. Biroq ulardan ikkinchisi T_1/T_0 . Oddiy o‘zgarmas son va binobarin izlanayotgan funksional bog‘lanishni yozishda nazarga olinmasligi mumkin. Shunday qilib,

$$\frac{T}{T_0} = F\left(\frac{x}{\sqrt{t}}\right) \frac{T}{T_0} = F\left(\frac{x}{\sqrt{xt}}\right) \quad (6.1.1)$$

bo‘lishi kerak yoki $T = f(\xi)$.

bu yerda

$$\xi = \frac{x}{\sqrt{x^t}} \quad (6.1.2)$$

Belgilash kiritilgan f funksiyaning ayoniy ko‘rinishini (5.1.45) issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasidan aniqlash mumkin. Differensiallab quyidagilarni topamiz:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{df}{d\xi} \frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{df}{d\xi} \frac{1}{2\sqrt{x^t}}, \quad (6.1.3)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{d^2 f}{d\xi^2} \frac{1}{2\sqrt{x^t}} \frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{d^2 f}{d\xi^2} \frac{1}{4x^t}, \quad (6.1.4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{df \partial \xi}{d \partial t \xi} = -\frac{1}{4} \frac{df}{d\xi} \frac{x}{t\sqrt{x^t}}$$

Bu qiymatlarni (6.1.4) tenglamaga quyib, qisqartirishlardan so‘ng quyidagi tenglama

$$\frac{d^2 f}{d\xi^2} = -2 \frac{df}{d\xi} \quad (6.1.5)$$

kelib chiqadi. ξ bo‘yicha differensiallashni shtrix bilan belgilab va o‘zgaruvchilarni ajratib, bu tenglamani quyidagi ko‘rinishda yozamiz:

$$\frac{df'}{f'} = -2 \xi d\xi \quad (6.1.6)$$

yoki

$$\frac{df'}{f'} = -\alpha \xi^2$$

Integrallashdan so‘ng

$$f' = Ae^{-\xi^2} \quad (6.1.7)$$

kelib chiqadi, ikkinchi marta integrallab va $f = T$ ekanini nazarga olib shuni keltirib chiqamiz: $X/\sqrt{x^t}$

$$T = A \int_0^2 e^{-\xi^2} \alpha \xi' + B \quad (6.1.8)$$

A va V integrallash doimiylarini topishgina qoladi. $x = 0$ va $t \neq 0$ deb $T = B$ ekanini topamiz. Shunday qilib, B doimiy vaqtning t/o bo‘lgan barcha momentlarida muhit sirtining temperaturasini beradi. Masalaning shartiga muvofiq u doimiy va T^1 ga teng.

A doimiyini topish uchun $t = 0$ bo'lganda $T = T_0$ boshlang'ich shartdan foydalanamiz. Bu quyidagini beradi:

$$T_0 = A \int_0^{\infty} e^{-2\alpha} \alpha + T_1$$

Integral hisobda bu ifodadagi integral $\frac{1}{2}\sqrt{\pi}$ ga teng ekani isbot qilingan.

Shunday qilib, $T_0 = \frac{A}{2}\sqrt{\pi} + T_1$ Masalaning oxirgi yechimi quyidagicha ifodalanadi

$$T = 2 \frac{T_0 - T_1}{\sqrt{\pi}} \int_0^2 e^{\frac{x}{\sqrt{xg}}} - \xi^2 d\xi + T_1 \quad (6.1.9)$$

Bu formuladan x bo'yicha integrallab, temperatura gradiyentining qiymatini topamiz:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T_0 - T_1}{\sqrt{\pi x t}} e^{\frac{x^2}{4xt}} \quad (6.1.10)$$

Jumladan, muhit sirtida, ya'ni $x = 0$ da

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T_0 - T_1}{\sqrt{\pi \chi t}} \quad (6.1.11)$$

Agar formula bo'yicha bunga τ davrli issiqlik to'liqlarining ϑ tezligini kiritsak, u holda quyidagi kelib chiqadi:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 2 \frac{T_0 - T_1}{\vartheta \sqrt{\tau t}} \quad (6.1.12)$$

(6.1.12) formula shu bilan diqqatga sazovorki, Tomson bu formula yordamida Yerning yoshini hisoblab chiqardi. U vaqtlarda Yer dastlab suyuq-cho'g' holatida bo'lgan deb hisoblanar edi. Yer qa'rida temperaturaning tenglashishiga olib kelgan intensiv aralashish protsesslari sodir bo'lgan. Yerning temperaturasini uning barcha nuqtalarida tahminan birday deb hisoblash mumkin edi. Shuning uchun Yerning sovishi haqidagi masala biz yuqorida ko'rib chiqqan yarim fazoning sovishiga o'xshashdir. Agar bizni Yerning yupqa sirt qatlami ichidagi temperatura gradiyenti qiziqtiradigan bo'lsa, yerning sferikligi katta rol o'ynamaydi. Bunday holda (6.1.12) formuladan hech qanday o'zgarishlarsiz foydalanish mumkin. Yer sovigani sari asta-sekin Yerning qattiq po'stlog'i vujudga keldi. Bu protsessning boshlanishi Yerning yoshi hisoblanadigan vaqt uchun qabul qilindi. Tomson yerning

temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti hamma vaqt doimiy qoladi deb faraz qildi va Yerning t yoshini hisoblash uchun (6.1.12) formuladan foydalandi.

Biz yuqorida aytganimizdek, 20 m va undan ortiq chuqurliklarda Yerning temperaturasiga atmosfera tebranishlari hech qanday ta'sir ko'rsatmaydi. O'lchashlar Yerning bunday chuqurliklarida temperatura har 25 metr chuqurlashishda 1° ga ko'tarilishini ko'rsatadi. So'ngra, Tomson Yer sirtining T_1 temperaturasini shartli ravishda 0° S ga teng deb oldi, T_0 temperatura sifatida tog' jinslarining qotish temperaturasini qabul qildi: $T_0=4000^{\circ}$ S. Agar τ davr uchun bir sutka olinsa, biz ko'rdikki, kuzatishlar $v \approx 1$ m/sutkani beradi. Bu qiymatlarni (12.7) formulaga qo'yib, Yerning yoshi uchun shunday qiymatni chiqaramiz:

$$t = \frac{4(T_0 - T_1)^2}{v^2 \tau \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2} = \frac{4 \cdot 4000^2}{\left(\frac{1}{25}\right)^2} \text{ сутка} \approx 10^8 \text{ йил}$$

Bu baho Yer yoshi uchun kuchli kamaytirilgan qiymatini beradi. Bu tushunarli. Tomson Yerning qa'rida radioaktiv protsesslar tufayli issiqlikning intensiv ajralib chiqishini nazarga olmagan edi va nazarga ololmas edi ham. Bundan tashqari, Yerning suyuq-cho'g' modeli ko'plab dalillarga muvofiq kelmaydi va hozirgi vaqtda to'g'ri deb hisoblanmaydi. Hozirgi vaqtda Yerning kelishib chiqishiga doir hamma tomonidan tan olingan nazariya yo'q. Bunday nazariya bo'lmagani holda Yerning yoshi to'g'risida aniq gapirish qiyin.

Tashqi issiqlik o'tkazuvchanlik. 1. Issiqlik oqimi zichligi j ni aniqlovchi formula muhitda temperaturaning taqsimlanishi uzluksiz bo'lgan holga tegishlidir, xolbuki issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti κ koordinatalarning uzluksiz funksiyasidir. Bunday holda ichki issiqlik o'tkazuvchanlik haqida gapiriladi. Mohiyati jihatidan temperaturaning fazoda taqsimlanishi hamma vaqt uzluksiz.

Biroq matematik hisoblarni soddalashtirish uchun ba'zan bir-biri bilan issiqlik muvozanatida bo'lmagan ikkita turli jismning ajralish chegarasida *temperaturalarning* sakrab o'zgarishi to'g'risidagi ideallashtirilgan tassavvurni kiritish maqsadga muvofiq bo'ladi. Masalan qizdirilgan metall jism suv yoki havo oqimi bilan sovutiladi. Metallarning issiqlik o'tkazuvchanligi katta bo'lgani tufayli

metall jismning turli qismlari orasida temperaturalarning tenglashishi tez amalga oshadi. Masalani ideallashtirib jism vaqtning har bir momentida ayni bir temperaturaga ega deb aytish mumkin. Xuddi shuning singari atrof muhitda undagi intensiv aralashish protsesslari tufayli vaqtning har bir momentida jismning o'zining temperaturasidan farq qiluvchi ayni bir temperatura hukmron deyish mumkin.

Issiqlik almashinish protsesslari tufayli jismlarning chegaralari orqali bu chegarada temperaturaning sakrashidan vujudga keladigan issiqlik oqimi paydo bo'ladi. Bu oqimning normal tashkil etuvchisi har ikkala muhitning materialiga va ularning temperaturasiga bog'liq bo'ladi. Nyuton tomonidan kiritilgan oddiygina faraz *j* kattalik jismlarning chegaradagi temperaturalari ayirmasiga proporsionaldir, deb tasdiqlaydi. Odatda jismlardan biri ikkinchisini batamom o'rab olgan deb olinadi. Ana shu o'rab turgan jismni biz *atrof-muhit* deb aytamiz. Shunday qilib Nyuton faraziga ko'ra,

$$j = \lambda[T - T_0] \quad (6.1.13)$$

Bu yerda T – jismning temperaturasi, T_0 esa atrof – muxitning temperaturasidir, n – normal jismdan muhitga qarab o'tkazilgan. λ doimiy tashqi issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti deb ataladi. $\lambda = \infty$ bo'lganida chegarada temperatura hamma vaqt uzluksiz bo'lganida chegarada temperatura hamma vaqt uzluksiz bo'ladi, ya'ni $T \approx T_0$; $\lambda = \infty$ bo'lganda jism adiabatik izolyatsiyalangan bo'ladi.

Tajribalar ko'rsatadiki, Nyuton qonuni faqat tahminan bajarilar ekan va faqat temperaturalar farqi katta bo'lmaganda ishlar ekan. Shuning uchun tashqi issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ichki issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti o'ynagani singari katta rol o'ynamaydi. Tashqi issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti qat'iy empirik koeffitsiyent bo'lib, undan faqat qo'pol hisoblashlardagina foydalanish mumkin.

2. Endi jismni X o'qi bo'ylab yo'nalishda oriyentirlangan ingichka cheksiz uzun sterjen shaklida deb faraz qilaylik. Sterjenning ko'ndalang kesimi har qanday bo'lishi, lekin albatta butun x uzunligi bo'ylab birday bo'lishi kerak. Materialning λ issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti yetarlicha katta bo'lishi, sterjenning o'zi

esa ingichka bo‘lib, uning temperaturasi T y va z koordinatalar bo‘yicha o‘zgarmaydigan bo‘lsin. Temperatura faqat t vaqtga va x koordinataga bog‘liq bo‘lishi mumkin. Sterjenning sirtidagi atrof-muhit temperaturasi T_0 ham ana shu argumentlarga bog‘liq bo‘lishi mumkin.

Mana shunday farazlar asosida tashqi issiqlik o‘tkazuvchanlikni nazarga olgan holda issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasini keltirib chiqaramiz.

Issiqlik manbasida sterjenning yon sirti orqali bo‘ladigan qo‘shimcha issiqlik oqimini hisobga olish zarur. Sterjenning cheksiz kichik AB elementi uchun atrof-muhitga yo‘naltirilgan qo‘shimcha bu issiqlik oqimini hisobga olish zarur. Sterjenning cheksiz kichik AB elementi uchun atrof – muhitga yo‘naltirilgan qo‘shimcha bu issiqlik oqimi $\alpha\rho(T - T_0)dx$ ga teng, bu yerda ρ – sterjenning kesim perimetri.

Shuning uchun quyidagicha tenglamadan foydalaniladi.

$$\rho s_{\sigma} S \frac{\partial T}{\partial t} = S \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \alpha \rho (T - T_0) \quad (6.1.14)$$

Tenglama hosil bo‘ladi, bu yerda S – sterjenning ko‘ndalang kesimi yuzi κ ni doimiy deb faraz qilib va

$$b^2 = \frac{\alpha \rho}{\rho s_{\sigma} S}$$

Belgilashlarni kiritib, nihoyat, quyidagi tenglamani olamiz:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - b^2 (T - T_0) \quad (6.1.15)$$

O‘lchashlardagi xatolar masalasi har qanday o‘lchashlarning natijalarini statistik ishlab chiqishda asosiy masala hisoblanadi. Shuning uchun uning ustida to‘xtalib o‘tish o‘rinli. Bu yerda gap faqat *tasodifiy xatolar* ustida boradi.

O‘lchanayotgan kattalikning haqiqiy va o‘lchangan kattaliklari orasidagi farq tasodifiy xato deb ataladi. Agar bir xil N o‘lchashlar natijasida o‘lchanayotgan kattalikning N ta $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_N$ qiymatlari olingan bo‘lsa, u holda bu alohida o‘lchashlarning xatolari

$$x_i = \alpha_i - \alpha \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

bo‘ladi. Asbob va o‘lchash metodining o‘rtacha aniqlik darajasini xarakterlash uchun odatda *aloxida o‘lchashning o‘rtacha kvadratik xatosi tushunchasi*

qo‘llaniladi. Bu kattalik alohida o‘lchashdagi xatoning o‘rtacha kvadratidan olingan kvadrat ildizidir, ya’ni

$$\Delta_{kv} = \sqrt{\langle x^2 \rangle} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}} \quad (6.1.16)$$

kattalikdir.

$X_1, X_2 \dots$ xatolarni va ular bilan birga Δ_{kv} kattalikni ham aniq hisoblash mumkin emas, chunki α kattalikning haqiqiy qiymati emas. Aniq hisoblash o‘rniga Δ_{kv} kattalikning ehtimol tutilgan qiymati bilan cheklanishga to‘g‘ri keladi. Shu maqsadda *alohida o‘lchashlar [natijalarning $\langle a \rangle$ o‘rtacha qiymatdan og‘ishlari degan tushuncha, ya’ni]*

$$y_i = a_i - \langle a \rangle \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (6.1.17)$$

Kattalik kiritiladi. Bu og‘ishlar bevosita $\langle \alpha \rangle$ o‘rtacha arifmetik qiymatning ta’rifidan kelib chiqadigan

$$\sum y_i = 0$$

Ayniyatni qanoatlantiradi. Bu yerda shuni qayd qilish kerakki, x_i xatolar uchun, bunday tenglik o‘rinli emas. Xatolar yig‘indisi $\sum x_i$ ning haqiqiy qiymati, albatta, noma’lum. Biroq agar N o‘lchashdan iborat qaralayotgan seriyani ko‘p marta takrorlab, bunday takrorlashlar sonini cheksizlikka intiltirsak, u holda ko‘rsatilgan yig‘indining matematik [qutilishi nolga teng bo‘ladi deb tasdiqlash mumkin:]

$$M \sum x_i = 0 \quad (6.1.18)$$

Xatolarning tasodifiy xarakteri ana shunda namoyon bo‘ladi.

(12.11) va (12.13) dan $x_i = y_i + \delta$ ekanligi kelib chiqadi, bu yerda $\delta \rightarrow$ doimiy: $\delta = \langle \alpha \rangle - \alpha$

Bu doimiy o‘rtacha natijaning xatosi ma’nosiga ega.

Uni aniq hisoblab chiqish, albatta, mumkin emas. Biroq δ kattalikning, yoki yaxshisi, uning kvadratining absolyut qiymatining ehtimol tutilgan qiymatini aniqlash mumkin.

$$\delta_{ke} = \sqrt{\langle \delta^2 \rangle} \quad (6.1.19)$$

Kattalik o'rtacha natijaning o'rtacha kvadratik xatosi deb ataladi. Uni hisoblash xatolar nazariyasining asosiy maqsadi hisoblanadi. $x_i = y_i + \delta$ tenglikni kvadratga ko'tarib va barcha i lar bo'yicha yig'indisini olib, (6.1.19) munosabatga ko'ra

$$\sum x_i^2 = \sum y_i^2 + \sum \delta^2$$

yoki

$$N \langle x^2 \rangle = \sum y_i^2 + N\delta^2.$$

So'ngra

$$\delta = \frac{\sum \alpha_i}{N} - \vartheta = \frac{\sum(\alpha_i - \alpha)}{N} = \frac{\sum x_i}{N} \quad (6.1.20)$$

Bundan

$$N\delta^2 = \frac{1}{N} \sum x_i^2 + \frac{1}{N} \sum_{i \neq j} x_i x_j \quad (6.1.21)$$

O'ng tomondagi birinchi aniq musbat va $\langle x^2 \rangle$ ga teng. Qo'shaloq yig'indi belgisiga kelganda, uning qiymati haqida hech narsa deyish mumkin emas. Faqat shuni aytish mumkinki, agar N o'lchashlardan iborat qaralayotgan seriyani cheksiz takrorlasak, u holda qo'shaloq summa teng ehtimollik bilan ham musbat, ham manfiy qiymatlar qabul qiladi. Uning matematik kutilishi xuddi (6.1.21) ning matematik kutilishi singari, nolga teng bo'ladi. $\langle \delta^2 \rangle$ o'rtacha kvadratning ehtimol tutilgan qiymati uchun qo'shaloq yig'indi $\sum \sum x_i x_j$ ni uning matematik kutilmasi bilan almashtiramiz. Shunday yo'l bilan $N \langle \delta^2 \rangle = \langle x^2 \rangle$ ni hosil qilamiz va shuning uchun

$$N \langle x^2 \rangle = \sum y_i^2 + \langle x^2 \rangle \quad (6.1.22)$$

Bundan

$$\Delta_{kv} = \sqrt{\langle x^2 \rangle} = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{N-1}} \quad (6.1.23)$$

$$\Delta_{kv} = \sqrt{\frac{\langle x^2 \rangle}{N}} \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{N(N-1)}} = \frac{\Delta_{kv}}{\sqrt{N}} \quad (6.1.24)$$

Bu formulalarning o'ng qismiga faqat ma'lum kattaliklar – o'lchashlar natijalarining $\langle \alpha \rangle$ o'rtacha qiymatdan sig'ishlari kiradi. Shuning uchun (12.16)

va (12.17) o'rtacha kvadratik xatoliklar Δ_{kv} va δ_{kv} ni yoki yaxshisi, ularning ehtimol tutilgan qiymatlarini hisoblashga xizmat qilishi mumkin.

O'lchashning oxirgi natijasini

$$\alpha = \langle \alpha \rangle \pm \delta_{kv}$$

Ko'rinishda yozish qabul qilingan δ_{kv} kattalik o'lchanayotgan kattalikning qiymati olinishi mumkin bo'lgan ishonchli o'nli xonalarni [aniqlaydi. Δ_{kv} kattalik o'lchashlar soniga bog'liq emas.

O'lchashlar sonini ko'paytirish bilan biz faqat bu kattalikning qiymatini aniqlashtiramiz. Shuning uchun δ_{kv} alohida o'lchashlar aniqligini o'zgarishsiz qoldirgan holda natija aniqligini bir tartibga oshirish uchun o'lchashlar sonini 100 marta orttirish kerak. Bunday aniqlikni ikki tartibga oshirish o'lchashlar sonini 10000 marta orttirishni talab qiladi. Bundan ko'rinib turibdiki, o'lchashlarni ko'p marta takrorlash metodi faqat N ning uncha katta bo'lmagan qiymatlaridagina samarali bo'lar ekan.

Ehtimollik tushunchasini biz sinashda paydo bo'lishi mumkin bo'lgan turli voqealar to'plami *chekli* sonda bo'lgan hollarga tatbiqan tushuntirdik, albatta. Biroq shunday hollar bo'lishi mumkinki, bu to'plam cheksiz va hatto uzluksiz bo'ladi. Bunday hollarga biz, masalan, uzluksiz qiymatlar qatorini qabul qila oladigan kattaliklarni ulchashda duch kelishimiz mumkin. Masalan, o'lchanayotgan $d\rho$ kattalikning o'lchash natijasida olingan son qiymatining α dan $\alpha + d\alpha$ gacha chegaradagi bo'lish ehtimolligi $d\rho$ ni kiritish mumkin. Bu ehtimollikning kattaligi cheksiz top $d\alpha$ intervalning kengligiga proporsional, shuning uchun uni shunday ko'rinishda yozish mumkin:

$$d\rho = \mathcal{P}$$

$$dP = \rho(\alpha) d\alpha$$

Bunda ρ proporsionallik koeffitsiyenti, umuman aytganda, α ga bog'liqdir. $(\alpha)\rho$ funksiya ehtimollik zichligi deyiladi. Normalash sharti shunday ko'rinishda ifodalanadi.

$$\int \rho(\alpha) d\alpha = 1, \quad (6.1.25)$$

yoki (6.1.25) formulani esa quyidagi ko'rinishga keltiriladi.

$$M(\alpha) = \int \alpha \rho(\alpha) d\alpha \quad (6.1.26)$$

Integrallar α kattalik qabul qilishi mumkin bo'lgan barcha qiymatlar bo'yicha olinadi. Biroq barcha hollarda integrallash chegarasi sifatida $-\infty$ va $+\infty$ qo'yish, α ning o'zgarish sohasidan tashqarida ehtimollik zichligi $\rho(\alpha)$ nolga teng deb hisoblash kerak.

Statistik muvozanat holatida issiqlik harakatida gaz molekulari tezliklarining barcha yo'nalishlari teng ehtimolli.

Agar bunday bo'lmaganda edi, gazning issiqlik harakati to'la ravishda tartibsiz bo'lmas edi.

Molekulalar barcha tezliklarining absolyut kattaliklari ham xuddi shu holatda birday bo'la olmaydi.

Agar vaqtning biror momentida tasodifan birday bo'lib qolganda ham, kelgusida molekularning to'qnashishlari natijasida bunday holat darhol buzilgan bo'lardi. Masalan, gazning bir – birlari bilan faqat to'qnashish vaqtidagina o'zaro ta'sirlashuvchi ideal elastik va silliq sharchalardan iborat eng sodda modelini ko'raylik. To'qnashgunga qadar tezliklari ϑ_1 va ϑ_2 bir biriga perpendikulyar bo'lgan 1 va 2 molekular to'qnashdi. Faraz qilaylik, birinchi molekula 12 markazlar chizig'i bo'ylab, ikkinchisi unga perpendikulyar harakatlandi. Sharlar absolyut silliq bo'lgani uchun ular tezliklarining urinma tashkil etuvchilari to'qnashuvlar natijasida o'zgarmaydi. Biroq zarbalar elementar nazariyasiga ko'ra, sharlar normal tezliklari bilan almashinishlari kerak. To'qnashishdan so'ng birinchi shar to'xtaydi, ikkinchisining tezligi $\Delta\vartheta_2 = \vartheta_1'$ orttirma oladi, ya'ni $\vartheta_1' = \vartheta_2 + \vartheta_1$ ga aylanadi. Bu tezlik ϑ_1 va ϑ_2 vektorlar bo'yicha tuzilgan parallelogramning diagonali bilan tasvirlandi.

Agar $\vartheta_1 = \vartheta_2$ bo'lsa, u holda $\vartheta_2' \approx \vartheta_1\sqrt{2}$ Bu misol shuni ko'rsatadiki, to'qnashishlarda faqat molekularning harakat yo'nalishi emas, ular tezliklarining absolyut qiymatlari ham o'zgarar ekan.

Biz qarayotgan to'qnashish mumkin bo'lgan to'qnashishlardan biri xolos.

Aslida to‘qnashishlar cheksiz turli – tuman. Ularda tezliklar turli – tuman o‘zgarishlar mumkin va bu o‘zgarishlar oxirgi nihoyasida molekulalarning tezliklar bo‘yicha yetarlicha muayyan statistik taqsimotiga olib keladi.

2. Gaz molekulalarining tezliklar bo‘yicha taqsimlanishi haqidagi masala 1859 yilda Maksvell tomonidan qo‘yilgan va yechilgan edi.

Avvalo masalaning qo‘yilishini aniqlaylik. Aytaylik, berk idishda katta N sondagi gaz molekulalari bor va gazga ta‘sir qiluvchi tashqi kuch maydonlari yo‘q.

Fazoning ixtiyoriy nuqtasini O koordinata boshi uchun qabul qilamiz (50-rasm). Bu nuqtadan biror t vaqt momentida gazning barcha molekulalari tezliklari vektorlari

$\vartheta_1, \vartheta_2 \dots \dots \vartheta_N$ ni qo‘yamiz. Bu vektorlarning uchlari *tezlik nuqtalari yoki tasvirlovchi nuqtalar* deb ataladi.

Barcha tezlik nuqtalarining yig‘indisi *tezliklar fazosi* deb ataluvchi uch o‘lchovli fazoni hosil qiladi. Unda to‘g‘ri burchakli o‘qlarni kiritish mumkin. Tezlik nuqtasining koordinatalari bo‘lib U vektorning bu o‘qqa U_x, U_y, U_z proyeksiyalari hisoblanadi.

Gaz barcha molekulalari tezliklarining berilishi ularning tezliklar fazosidagi tezlik nuqtalarining vaziyatlari berilishiga ekvivalentdir. Sof dinamik nuqtai nazardan molekulalar tezliklarining taqsimoti haqidagi masala ixtiyoriy vaqt momentida tezliklar fazosida tezlik nuqtalarining vaziyatini aniqlash masalasiga keltiriladi. Biroq, molekulalar soni ulkan bo‘lgan sistemalar uchun masala bunday dinamik ma‘noda yechimga ega emas va ahamiyatga ham molik bo‘lmaydi. Molekulalarning tezliklar bo‘yicha taqsimoti statistik masala sifatida yechilishi kerak.

Uni shunday ifodalash mumkin.

Tezliklar fazosida hajmning jisman cheksiz kichik elementini olamiz, masalan, u qirralari $d\vartheta_x d\vartheta_y d\vartheta_z$ va markazi $\vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z$, nuqtada bo‘lgan to‘g‘ri burchakli parallelepiped shaklida bo‘lsin.

Bu parallelepipedning hajmi $dw = dU_x dU_y dU_z$ ga teng, undagi tezlik nuqtalarining sonini dN bilan belgilaylik.

Molekulalarning o'zaro ta'sirlashishi natijasida ularning tezliklari o'zgaradi.

Bu geometriya tilida bir molekulaning tezlik nuqtalari dw hajm elementidan chiqishini, boshqa molekulalarning tezlik nuqtalari bu hajmga kirishini bildiradi. Shunday qilib, dw hajmdagi tezlik nuqtalari soni dN o'zgarimasdan saqlanmaydi.

Agar dw element juda kichik qilib olinsa, unda juda kam tezlik nuqtalari bo'ladi. Shunday bo'lishi mumkinki, masalan, vaqtning bir momentida dw hajmda bir yoki ikki tezlik nuqtasi bo'lishi, boshqa momentlarida birorta ham tezlik nuqtasi bo'lmasligi mumkin. Shunday qilib tezlik nuqtalarining soni dN vaqtning bir momentidan ikkinchi momentiga keskin va notekis o'zgarib turishi mumkin. Bunday bo'lmasligi uchun dw hajmni yetarlicha katta tanlash kerakki, unda juda ko'p tezlik nuqtalari bo'lsin. Bunda barqaror holatda dN soni nisbatan kam o'zgarib, biror $\langle dN \rangle$ o'rtacha qiymat atrofida terlanib turadi. O'rtacha qiymatlar $\langle dN \rangle$ ning tabiati esa muayyan statistik qonuniyatlarga bo'ysunadi, bu qonuniyatlarni biz aniqlashimiz kerak. Biroq dw hajm ayni vaqtda shunday kichik bo'lishi kerakki, bunda tezliklar fazosida tezlik nuqtalarining taqsimlanishi yetarlicha batafsil tavsiflansin va u shunchalik kichik bo'lishi lozimki, $dU_x dU_y dU_z$ kattaliklar va shuningdek, dw va dN ni cheksiz kichik differensiallar deb qarash mumkin bo'lsin.

Gazlarda molekulalar sonining nixoyatda ulkan bo'lishi har ikkala talabni ham amalda hamma vaqt qanoatlantirishga imkon beradi.

$$Nf(\vartheta) = \frac{\langle dN \rangle}{dw} \quad (6.1.27)$$

Nisbat tezliklar fazosida tezlik nuqtalarining o'rtacha konsentratsiyasi ma'nosini beradi va odatdagi (koordinatalar) fazosidagi zarralar konsentratsiyasiga juda o'xshab ketadi. $f(U)$ kattalik molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasi deb ataladi. Bu funksiya tezliklar fazosida molekulalar tezlik nuqtalari taqsimotining ehtimollik zichligi deb tushintirilishi mumkin. Molekulalar tezliklarining taqsimoti haqidagi statistik masala ana shu $f(U)$ funksiyani aniqlashga keltiriladi. Agar dN yoki $\langle dN \rangle$ kattalikni butun tezliklar fazosi

bo‘ylab integrallasak, u holda ravshanki, natijada molekulalarning N to‘la soni kelib chiqadi. Bundan $f(U)$ funksiyani qanoatlantirishi kerak bo‘lgan

$$\int f(U)dw = 1 \quad (6.1.28)$$

Normalash sharti kelib chiqadi.

Kelgusida dN oniy qiymatlar bilan emas, balki faqat $\langle dN \rangle$ o‘rtacha qiymatlar bilan ish ko‘rishga to‘g‘ri keladi. Shuning uchun yozuvni qisqartirish uchun o‘rtacha $\langle \rangle$ belgisini tashlab yuboramiz. Boshqacha aytganda, kelgusida barcha joyda dN kattalik yozilganda bu sonning o‘rtacha yoki ehtimoliy qiymati, ya’ni $\langle dN \rangle$ tushuniladi.

Taqsimot funksiyasining ma’nosiga ko‘ra

$$dN = Nf(U)d\omega = Nf(U_x U_y U_z) dU_x dU_y dU_z \quad (6.1.29)$$

Kattalik tezliklarining komponentalari mos ravishda U_x va $U_x + dU_x$, U_y va $U_y + dU_y$ hamda U_z va $U_z + dU_z$ orasida yotgan molekulalarning o‘rtacha sonini beradi. ϑ o‘zgarishi bilan $f(U)$.

Taqsimot funksiyasi uzluksiz va tekis o‘zgaradi. Bu funksiya molekulalarning tezliklar bo‘yicha haqiqiy taqsimotini emas, *tekislangan, o‘rtacha yoki ehtimolli* taqsimotini beradi. Bu shundan ko‘rinadiki, tezlik nuqtalarining tezlik fazosi ixtiyoriy $d\omega$ elementidagi haqiqiy soni faqat butun son bo‘lishi mumkin. (12.20) ifoda bilan aniqlanadigan dN kattalik esa har qanday haqiqiy qiymatlar qabul qilishi mumkin.

Masalani statistik qo‘yishda, shuningdek qancha molekulalar $U_x U_y U_z$ komponentali mutlaqo aniq ϑ tezlikka ega bo‘ladi, deb so‘rash ham ma’noga ega bo‘lmaydi. Gap faqat tezliklar fazosining $d\omega = dU_x dU_y dU_z$ hajm elementidagi molekulalarning dN o‘rtacha soni to‘g‘risidagina ketishi mumkin $d\omega$ nolga intilganida dN soni ham nolga intilishi mumkin. Shunday qilib, qat’iy aniq U tezlikka ega bo‘lgan molekulalarning o‘rtacha soni nolga tengdir. Bu agar butun U vektorlar to‘plami, ya’ni tezlik fazosining barcha nuqtalari to‘plami cheksiz ekanligi ta’kidlansa, o‘z-o‘zidan ravshan bo‘ladi, holbuki gaz molekulalarining to‘la soni N

chekli. Xuddi shu sababdan tezlik vektori qat'iy aniq yo'nalishdan bo'lgan molekulalarning o'rtacha soni ham nolga teng bo'ladi.

Molekulalar tezliklarining taqsimoti haqidagi masalaning statistik xarakterda ekanini yanada yaxshiroq tushinishga *Galton taxtasi* deb atalgan asbob yaxshi imkon beradi. Bu asbob oldi tomoni oyna bilan berkitilgan va shaxmat tartibida yetarlicha zich mixlar qoqilgan taxtadan iborat (12.1-rasm). Pastda mixlar tagida bir-biridan baravar masofada metall plastinkalardan vertikal to'siqlar o'rnatilgan. Ular taxta oyna orsidagi fazoni teng hajmlarga bo'ladi, bu hajmlar qisqacha yacheykalar deb ataladi. Yuqorida mixlar ustida taxtaning o'rta qismida voronka o'rnatilgan bo'lib, unga qum mayda bug'doy donlari yoki boshqa zarralar solish mumkin. Agar voronkaga bitta zarra tashlansa, u pastga tushishda mixlar bilan ko'p to'qnashadi va nihoyat yacheykalardan biriga tushadi. Zarraning qaysi yacheykaga tushishini avvaldan aytish mumkin emas, chunki uning harakatiga ko'plab tasodifiy faktorlar ta'sir qiladi. Zarraning u yoki bu yacheykaga tushish ehtimolligi haqidagina gapirish mumkin. Albatta, zarraning chekka yacheykalardan ko'ra markaziy yacheykaga tushish ehtimoli kattaroq. Haqiqatan ham, voronka orqali uzluksiz zarralar to'kilsa, u holda voronkaning teshigi ostida bo'lgan markaziy yacheykalarga zarralar eng ko'p, eng chekkadagiga esa eng kam tushadi. Voronkadan juda ko'p miqdorda zarralar to'kilganda ularning yacheykalar bo'ylab taqsimlanishining statistik qonuniyati namoyon bo'ladi. Bu qonuniyatni limitda hatto analitik formula bilan berish ham mumkin. Shu maqsadda zarralarning yacheykalarda hosil qiladigan ustunlarining uchlarini tekis egri chiziq bilan birlashtiramiz. Ma'lum bo'lishicha, zarralar soni juda ko'p bo'lganida bu egri chiziq quyidagi ko'rinishdagi

$$y = \varphi(x) \equiv Ae^{-\alpha x^2} \quad (6.1.30)$$

egri chiziqqa asimptotik yaqinlashar ekan, bu yerda A va α – musbat doimiylar.

Ulardan α doimiy faqat asboblarning parametrlariga bog'liq va zarralar soniga bog'liq emas. A doimiy zarralar soniga bog'liq va α doimiy bilan normalash sharti orqali bog'langan.

(6.1.30) formula *Gaus (1777-1855) xatolar normal qonuni* deb ataladi, bu qonunga mos keluvchi egri chiziq esa *Gaus xatolar egri chizig'i* deb

ataladi. $\varphi(x)dx$ kattalik o'lchashda x dan $x + \alpha x$ gacha bo'lgan chegarada xato qilinish ehtimolligini bildiradi. Albatta, bunday interpretatsiya qilganda $\mu(x)$ ehtimollik zichligi quyidagi shart bilan normallangan bo'lishi kerak:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x) \alpha x \equiv A \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-ax^2} \alpha x = 1, \quad (6.1.31)$$

Buning yordamida A doimiyini α doimiy orqali ifodalash mumkin α qancha katta bo'lsa, xatolar egri chizig'idagi maksimum shuncha o'tkir, o'lchashlar shuncha aniq bo'ladi. Shuning uchun α doimiy o'lchash aniqligini xarakterlovchi o'rtacha kvadratik yoki o'rtacha arifmetik xatolar bilan bog'langan bo'lishi kerak.

Gauss xatolar qonuni (6.1.30) ni isbotlashga kelsak, u xuddi kelgusi paragrafda Maksvell tezliklar taqsimoti qonuni isbotlangani singari isbotlanishi mumkin.

Gaz molekularlar tezliklar bo'yicha taqsimlanishining yuqorida keltirilgan masalasi va kelgusida keltiriladigan bu masalani yechish metodlari *sof klassik* masaladir. Shuning uchun avvalo bu klassik qarashning qo'llanish chegarasini aniqlab olish kerak.

Agar unchalik ahamiyatli bo'lmagan bir tartibidagi son koeffitsiyentlarga ahamiyat berilmasa, u holda [yaqqol tasavvurlardan javob topish mumkin. Bunday javobni masalan, *Geyzenberg* (1901-1980) ning noaniqliklar prinsipi yordamida olish mumkin.

Gazda tomonlari x, y, z , bo'lgan kichkinagina kubcha olaylik, bu kubchada o'rtacha bitta zarra bo'lsin. Agar quyidagi

$$x\rho_x \geq h, y\rho_y \geq h, z\rho_z \geq h$$

Shart bajarilgan bo'lsa u holda bu kubchadagi zarraning harakatini klassik nazariya asosida qarash mumkin. Haqiqatan ham, *Geyzenberg*ning noaniqlik prinsipiga muvofiq, zarra koordinatasi va impulsi kvant noaniqliklarining ko'paytmasi h tartibida, shuning uchun ko'rsatilgan shartlarga amal qilinganda bu noaniqliklar muhim rol o'ynamaydi. Bu uch tengsizlikni bir-biriga ko'paytirib, ularni bitta bilan almashtirish mumkin: $V\rho^3 \gg h^3$,

Bu yerda $V = xyz$ kubchaning hajmi, ρ –gaz zarrasi harakatini xarakterlovchi biror o'rtacha impuls. Agar n – hajm birligidagi zarralar soni bo'lsa,

u holda $V_n = 1$ va hozirgi munosabat $n(h/\rho)^3 \ll 1$ ko‘rinishini oladi. Quyidagi kattalik

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mu} \quad (6.1.32)$$

Uzunlik o‘lchamligiga ega. Bu kattalik *de-Broyl*(1892) *to‘lqin uzunligi* deb ataladi va kvant mexanikasida nihoyatda katta rol o‘ynaydi. λ kattalikni kiritilgandan keyin gazni klassik nuqtai nazardan qarashning qo‘llanish sharti $n\lambda^3 \ll 1$ ko‘rinishga keladi. Bu munosabat gazning λ^3 hajimdagi zarralarining o‘rtacha soni birga nisbatan kichik bo‘lishini ko‘rsatadi. λ kattalikning tartibini baholash uchun gaz molekulalarining issiqlik harakatini xarakterlovchi biror o‘rtacha tezlikdan foydalanamiz. Hozircha bizning ixtiyorimizda faqat bitta shunday tezlik bor, u ham bo‘lsa, o‘rtacha kvadratik tezlik $\vartheta_{kv} = \sqrt{3kT/m}$ tengdir. Bu tezlikdan foydalanib shartni $T \gg T_g$

ko‘rinishda yozamiz, bu yerda

$$T_g = \frac{h^2}{3km} n^{2/3} \quad (6.1.33)$$

belgilash kiritilgan. T_g kattalik gazning *aynish temperaturasi* deb ataladi. Shunday qilib, *klassik qarash usulini aynish temperaturasidan ancha yuqori temperaturalardagina qo‘llash mumkin ekan*. Aniqroq qaralganda aynish temperaturasi uchun

$$T_g = \frac{h^2}{2km} \left(\frac{3n}{8\pi}\right)^{2/3} \quad (6.1.34)$$

Kattalik qabul qilinadi. Bu kattalik bundan oldingi ifodadan taxminan uch marta kichik. Aynish temperaturasidan past temperaturadagi gazlar *aynigan* gazlar deb yuritiladi. Ularni endi klassik nuqtai nazardan qarab bo‘lmaydi.

Ikki chegaraviy hol uchun aynish temperaturasini hisoblaylik.

Kumushdagi elektron gaz uchun $n \approx 6 \cdot 10^{22} \text{CM}^{-3}$ elektronning massasi

$$m = 9,11 \cdot 10^{-28} \text{s}$$

(6.1.34) formulaga ko‘ra, kumushdagi elektron gaz uchun $T_g \approx 6,5 \cdot 10^4 \text{ K}$ bo‘ladi.

Boshqa yaxshi o'tkazuvchan metallar uchun ham shunga o'xshash qiymatlar kelib chiqadi. Bunday yuqori temperaturalarda birorta ham metall qattiq holatda mavjud bo'la olmaydi.

Bundan yaxshi o'tkazuvchan metallarda elektron gaz hamma vaqt to'la aynigan bo'ladi, degan xulosa chiqadi.

Endi ikkinchi chegaraviy hol – geliyni olaylik. Geliy atomining massasi

$$m = 6,6 \cdot 10^{-24} \text{ s}$$

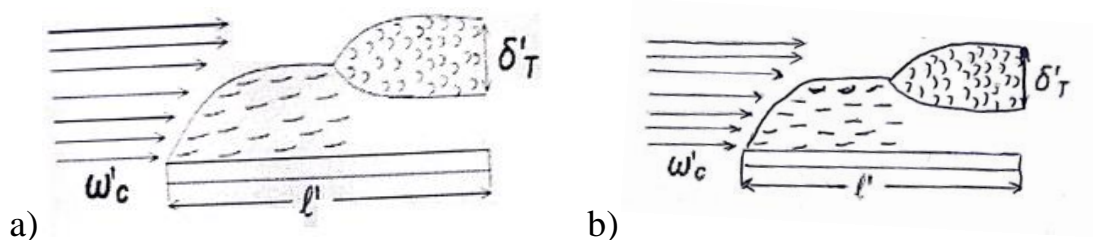
normal sharoitlardagi konsentratsiya esa $n = 2,7 \cdot 10^4 \text{ CM}^{-3}$ formula bo'yicha hisoblash $T_g = 0,05 \text{ K}$ ni beradi. Qolgan barcha gazlarda (vodoroddan tashqari) atomlari massasi yanada katta, binobarin, T_g geliynikiga qaraganda past bo'ladi (normal sharoitlarda n konsentratsiya barcha ideal gazlarda birday bo'lmaydi).

Bunday past temperaturalarda birorta ham modda gazsimon holatda bo'la olmaydi. Shuning uchun barcha molekulyar gazlar aynishdan yetarlicha uzoq bo'ladi, shuning uchun ularni klassik sistema deb qarash mumkingina emas, balki lozim.

6.2. Tajriba ma'lumotlari va emperik formulalar.

O'xshashlik nazariyasi – bir – biriga o'xshash hodisalarni o'rganish demakdir. Masalan: Plastinka sirtidan bo'ylama yo'nalishda suyuqlik (suv) statsionar harakatlanadigan (oqadigan) bo'lsin. Plastinkaning haqiqiy o'lchamlari ye^1 , modelning o'lchami esa ye^{11} , suyuqlikning haqiqiy statsionar oqimi tezligi ω_s^1 , modeldagi oqim tezligi ω_s^{11} ,

Suyuqlikning haqiqiy qalinligi δ_T^1 Modeldagi qalinligi δ_T^{11}



13 – rasm

Suyuqlikni temperaturasi t_s va bosimi ρ_s ; Suyuqlikning istalgan nuqtasidagi temperaturasi $\theta = t - t_s$ bosimi $\Delta R = R - R_s$

Bu yerda masala ikki o'lchamli bo'lib, u- o'qi yuqoriga g- og'irlik kuchining tezlanishi.

Bu jarayonda issiqlikni konvektiv almashinuvini differensial tenglamasidan

1) Issiqlik berish koeffitsiyenti

$$\alpha = \frac{\lambda}{\theta} \left(\frac{\partial \theta}{\partial u} \right) y \rightarrow 0 \quad (6.2.1)$$

ga teng bo'ladi

2) Energiya almashinuvi esa

$$\varpi_x \frac{\partial \theta}{\partial x} + \varpi_u \frac{\partial \theta}{\partial u} = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial u^2} \right) \quad (6.2.2)$$

3) Chiziqli tenglamasi

$$\frac{\partial \varpi_x}{\partial x} + \frac{\partial \varpi_y}{\partial y} = 0 \quad (6.2.3)$$

O'xshashlik jarayonlarida matematik natijaviy hisoblashlar o'lchamsiz qiymatga ega bo'ladi. Bunda belgilangan masshtablarga, kiruvchi fizikaviy konstantalar o'xshashlik sonlari va kriteriyalari deb ataladi hamda o'lchamsiz komplekslar holida birlashtiriladi. Qo'yida eng ko'p ishlatiladigan o'xshashlik sonlarini va kriteriyalarini qaraymiz.

Nusselt soni – qattiq jism bilan suyuqlik chegarasidagi issiqlik almashinuvini harakterlaydi. $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$ yoki $Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$ (13.4) bu yerda λ – qattiq jismni yuvib o'tadigan suyuqlikni issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ($V_T/m^\circ s$), α – issiqlik berish koeffitsiyenti $V_T/(m^2 \cdot ^\circ S)$.

Reynolds soni- inersiya kuchlari bilan qovushqoqlik nisbatini harakterlaydi. $Re = \frac{\omega l}{\nu}$ yoki $Re = \frac{\omega d}{\nu}$ (6.2.5) bu yerda ν - suyuqlikning kinematik qovushqoqligi, m^2/s ; l, d – jismning chiziqlik o'lchami yoki diametri, ω – suyuqlikning tezligi m/s ;

Pekle soni-issiqlikning konveksiya va issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan tarqalish tezliklarini nisbatini xarakterlaydi.

$$Re = \frac{\omega \cdot l}{\nu}, \quad pe = Re \cdot \rho \tau \quad (6.2.6)$$

Bu yerda $a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$ (6.2.7) suyuqlikning temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m²/s; w – issiqlik tashuvchini tezligi, m/s; ℓ – sistemani geometrik o'lchami, m; Eyer soni- bosim kuchlari bilan inersiya kuchlarining nisbatini xarakterlaydi.

$$Eu = \frac{R}{\rho \omega^2}; Eu = \varphi(Re_1 Gr, Pr,) \quad (6.2.8)$$

Grasof soni-Zichliklarning farqi tufayli suyuqlikda paydo bo'ladigan ko'tarish kuchlarining qovushqoqlik kuchlariga nisbatini xarakterlaydi.

$$Gr = \frac{g(t_{deb} - t_c) \cdot \ell^3}{\vartheta^2} = \frac{g\beta\Delta t \ell^3}{\vartheta^2} \quad (6.2.9)$$

bu yerda g – erkin tushish tezlanishi; β – muhit temperaturasini hajmiy kengayish koeffitsiyenti, Δt – sistema temperaturalarining farqi, °K; V - suyuqlikning solishtirma hajmi.

Arximed soni - Ikki fazali muhitdagi erkin harakatlanishda: masalan, suyuqlikdagi bug' pufakchalarining yoki bir suyuqlikda ikkinchi suyuqlik tomchisining harakatlanishida foydalaniladi.

$$Ar = \frac{g \cdot \ell^3}{v^2} \cdot \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} \quad (6.2.10)$$

Bu yerda ρ_0 va ρ - turli fazalarning zichliklari, kt/m³

Prandtel soni – Cuyuqlikning fizikaviy xossalarini xarakterlaydi.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (6.2.11)$$

bu yerda $\vartheta = \frac{M}{\rho}$, M – dinamik yopishqoqlik koeffitsiyenti, ρ – muhitning zichligi

$a = T/Cp\rho$ – temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti.

Bu yerda ϑ – issiqlik tashuvchi muhitni kinematik yopishqoqlik koeffitsiyenti, m²/s; Suyuqlik uchun Prandtel soni temperaturaga juda bog'liq bo'ladi. Masalan temperatura 0⁰ dan 180⁰S gacha ko'tarilganda suv uchun Prandtel soni 13,7 dan 1 gacha o'zgaradi. Issiqlik juda yaxshi o'tkaziladigan suyuq metallar uchun $Pr \approx 0,005 - 0,05$ ga teng bo'ladi. Gazlar uchun Prandtel soni deyarli o'zgaras bo'lib, 1 ga yaqin bo'ladi.

Ma'lumki, Reynolds sonini Prandtl soniga ko'paytmasi Pekls sonini hosil qiladi:

$$\rho_{ye} = R_c \cdot \rho_r \quad (6.2.12)$$

Quyidagi shartlar bajarilganda issiqlik fizikaviy jarayonlar o'xshash bo'ladi.

Reley soni. Gragof sonini (Gr), Prantel soniga ko'paytmasi reley Ra soni deyiladi va quyidagicha ifodalanadi.

$$Ra = Gr \cdot Pr \text{ yoki } g\rho\Delta t \frac{\ell^3}{\partial a} \quad (6.2.13)$$

Stanton soni St –bu Nu –kriteriyasini xususiyl ifodasini Pe –Pekle kriteriyasiga nisbatiga aytiladi va $St = \frac{Nu}{Pe}$ yoki $St = \frac{\alpha}{S_\rho\rho\omega}$ (13.14) bu yerda, α – issiqlik berish ko'effitsiyenti, c_ρ –issiqlik tashuvchini bosim o'zgarmagandagi issiqlik sig'imi ρ – issiqlik tashuvchini zichligi.

Gidromexanik va issiqlik jarayonlarida erkin – majburiy harakatlarni o'zaro bog'liqligi bilan xarakterlanishi Eylar soni bilan ifodalanadi.

$$Eu = \varphi(Re, Gr, Pr) \quad (6.2.14)$$

Shuningdek nobarqaror jarayonlarda yani vaqt birligida issiqlik almashinuv jarayonlarini xarakterlash tizimlarini Furrye soni orqali quyidagicha ifodalanadi.

$$Fo = \frac{\alpha\tau}{\ell^2} \quad (6.2.15)$$

bu yerda temperatura o'tkazuvchanlik ko'effitsiyenti; τ vaqt; ℓ –sistemani geometrik o'lchami.

Nobarqaror issiqlik almashinuv jarayonlar uchun furs soni bilan bog'liq gomoxronlik soni Ho dan foydalaniladi:

$$Ho = FoPe \text{ yoki } Ho = \frac{\tau\omega}{\ell} \quad (6.2.16)$$

bu yerda τ vaqt o'xshashlik nazariyasi asosida tajriba natijalari umumlashtiriladi.

Isitilgan eksperimentni qo'yishda hamma vaqt quyidagilarni bilish lozim:

- Tajribada qanday kattaliklar yoki parametrlarni o'lchash kerak;
- Tajriba natijalarini qanday tahlil qilish kerak;
- Qanday o'xshash xodisalarini o'rganiladi.

Ushbu savollarga uchta o'xshashlik nazariyasi orqali javob beriladi.

Birinchi savolga birinchi o'xshashlik nazariyasi javob beradi:

- Qaysi kattaliklarni parametrlarini tajribada o'lchash kerak;
- Tajriba natijalarini qanday taxlil qilinadi;
- Qaysi hodisalar o'rganiladigan issiqlik almashinuv jarayonlariga o'xshash.

1. Issiqlik fizikaviy jarayonlarning tabiati bir xil bo'lishi va ifodalanishi shakli jihatidan bir xil bo'lgan differensial tenglamalar bilan tavsiflanishi kerak

2. Muhitning shakli va o'lchamlarini, uning issiqlik fizikaviy xossalarini xarakterlovchi shartlar, shuningdek chegara va boshlang'ich shartlar, ulardagi o'zgarish kattaliklarni son qiymatlaridan tashqari barchasida bir xil bo'lishi kerak.

3. Ikkita protsessning o'lchamsiz son qiymatlari bir xil bo'lishi lozim. Konventor issiqlik almashinuvi haqidagi masalaga o'xshashlik metodini tatbiq etish natijasida aniqlanadigan Nusselt sonini aniqlovchi o'lchamsiz sonlarga quyidagicha bog'liq bo'ladi.

$$Nu = f(x, u, z, Pe, Re, St^2) \quad (6.2.17)$$

Bu yerda x, u, z , - issiqlik almanishish sirti koordinatalarning o'lchamsiz qiymatlari Pe, Re, St^2 - Pekli, Reynolds, Gragsof soni va hokazolarning bog'lanishi kriterial tenglamalar deyiladi.

Masalan, havoning trubada turbulent stabillashgan harakatidagi issiqlik almashinuvini, tajribada o'rganish asosida quyidagicha kriterial tenglama olingan

$$Nu = 0,018 Re^{0,80} \quad (6.2.18)$$

Nu va Re sonlarini tajriba natijalarini qiymatlarini qo'yib hisoblanganda quyidagi tenglikdan foydalaniladi, $\frac{\alpha d}{\lambda_c} = 0,018 \left(\frac{wd}{\vartheta_c}\right)^{0,80}$ bundan

$$\alpha = 0,018 \frac{\lambda_s}{\vartheta_s^{0,80}} \cdot \frac{w^{0,80}}{\alpha^{0,20}} \quad (6.2.19)$$

Bu bog'lanish gelioqurilmalardagi issiqlik akkumulyatorlar, havo qizdirgich kallektorlarda keng foydalaniladi.

Erkin konveksiya yo'li bilan issiqlik almashinuvida qizigan zarralar yuqoridan tushayotgan sovuq zarralarga qarshi, pastdan yuqoriga tomon harakat qiladi. Bunday murakkab harakat vujudga kelib, ko'tariluvchi va tushuvchi oqimlar to'qnashadi. Erkin harakatlanishda issiqlik almashinuvi protsessi ko'pchilik

fizikaviy issiqlik va gelioqurilmalarda kuzatiladi. Masalan qizigan vertikal truba atrofida harakatlanishning sxemasi keltirilgan X_1 - sohasida laminar oqim bo'lib, issiqlik berish koeffitsiyenti α_1 —trubaning balandlik bo'ylab, α_2 qiymatgacha kamayadi. X_2 — sohada gachaksimon harakatlanish bo'lib, α_2 —qisman ortib, suyuqlikning X_3 — uchastkasidagi turbulent oqimga mos keladigan α_3 — qiymatga yetadi. Keyin esa turbulent oqim shu uchastkada α_3 taxminan o'zgarmasligicha qoladi.

M.A.Mixeyev tabiiy konveksiyada issiqlik almashinuviga doir ko'p tajriba materiallarini analiz qildi va issiqlik almashinuvining turli hollarida issiqlik berilishini topishga imkon beradigan bir qator kriterial tenglamalarni taklif etdi. Dastlab:

$$Nu_c = C \cdot (Gr \cdot Pr)_m^n \quad (6.2.20)$$

Kriterial tenglamadan Nusselt soni aniqlanadi. S va n konstantalar argument $(Gr \cdot Rr)$ ning o'zgarish intervaliga bog'liq. Majburiy harakatlanishda issiqlik berish koeffitsiyenti α laminar oqimli tabiiy harakatiga nisbatan ancha katta bo'ladi. Chunki bunda oqimning harakat rejimi turbulent bo'ladi. Issiqlik almashinuvi muhit yuvib o'tayotgan sirtning shakliga ham ko'p jihatidan bog'liq bo'ladi. Agar issiqlik oqimi harakatlanadigan soha yoki sirt tekis bo'lsa, oqim uzluksiz deyiladi. Agar oqim harakatlanadigan soha notekis bo'lsa, u holda oqim uzilishga ega bo'lib, issiqlik almashinuvga ham uning intensivligi pasayadi.

Gorizantal joylashgan trubalarda suyuqlikning majburiy laminar harakatlanishida issiqlik almashinuvini hisoblash uchun A.M.Mixeyev formulasi:

$$N \cdot u_c = 0,17 Rye_s^{0.33} \cdot Rre^{0.43} \cdot Gr^{0.1} \left(\frac{Pr_c}{Pu_{deb}} \right)^{0.25} \cdot \varepsilon_{ye} \quad (6.2.21)$$

bu yerda $\varepsilon_{ye} = \frac{\ell}{d}$ kiritiladigan tuzatish. ℓ — truba uzunligi, d — diametri. Agar oqim rejimi $Re < 2300$ bo'lsa laminar oqim yuzaga keladi:

$$2 \leq Rr \leq 12 \quad 6.7 \cdot 10^4 < Gr < 3.6 \cdot 10^6$$

Turbulent oqimda trubalardagi issiqlik almashinuvi uchun M.A.Mixeyev quyidagi formulani taklif etadi.

$$Nu = 0,021Rye^{0,8} \cdot Pr_c^{0,43} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{u_{deb}}} \right) \cdot \varepsilon_{ye} \quad (6.2.22)$$

Bu kriterial tenglamalardan binolarni isitish quvurlarida quyosh issiq xonalari, limonariyalar va quritgichlarning tuproq osti issiqlik akkumulyatorlaridagi havo oqimi bilan bogʻliq boʻlgan issiqlik almashinuv va issiqlik akkumulyatsiyalanishi jarayonlarini hisoblashda foydalanish mumkin.

6.3. Eksperimentni matematik asosda rejalashtirish va natijalarini tahlil qilish.

Oʻtgan mavzularda biz passiv tizimdagi eksperimentlarni qaradik va unda matematik statistikadan foydalandik, xususan eksperimentdan olingan maʼlumotlarni tahlil qildik. Bu stadiyada eksperimentni qoʻyilishini qoʻlladik. Aktiv eksperiment oʻtkazish uchun esa bu stadiyada eksperimentni qoʻyish va rejalashtirishni qaraymiz. Eksperimentni qoʻyishni rejalashtirishda matematik nazariyaga muvofiq ilmiy issiqlik energetika va iqtisodiy rejani tuzishda, qoʻllanishiga asosiy eʼtiborni qaratamiz. Tadqiqot obyekti sifatida koʻproq axborotlardan olingan maʼlumotlar, eksperiment oʻtkazish jarayonida olingan eksperimental maʼlumotlarni tahlili va ulardan ishlab chiqarish jarayonida, optimallashtirishda, shuningdek muxandislik hisoblashlarda foydalanish uchun qoʻllanilishi nazarda tutiladi.

XVIII asrning oʻrtalarigacha eksperiment oʻtkazish masalalari bilan faqat eksperimentatorlar shugʻullangan. Matematik esa oʻtkazilgan eksperiment maʼlumotlarni tahlili bilan shugʻullangan. Keyinchalik asta-sekin gap faqat eksperimental maʼlumotlarni tahlil qilishdan iborat boʻlmasdan balki, optimal matematik – statistik analiz yoʻli bilan ish yuritish lozimligi eʼtiborga olinadi. Shu yoʻl bilan ish yuritish koʻpchilik matematiklarning chuqur izlanishlari natijasida ishlab chiqildi.

Eksperimentlarni rejalashtirilishi va qoʻyilishi asosan qoʻyidagicha etaplarda amalga oshiriladi.

- Eng kichik kvadratlar metodi (A.Lejandr, K.Gause, XVIII asrning oxiri va XIX asr boshlari);

- Asosiy regression va korreksion analiz (F.Galton, K.Pirson, XIX asrning oxiri va XX asr boshlari),
- Kichik tanlov konsepsiyasi (Gosset Student taniqli taxallus bilan XX asr boshlarida);
- Eksperimentni matematik asosda rejalashtirish (R.Fisher, XX asr o'rtalarida);
- Eksperimentlash strategiyasini ketma-ketligini ishlab chiqqan, eksperimentlashtirishni odimlash strategiyasi (Boks va Uilson).

Demak intilishlar bilan tajribalar sonini kamaytirish orqali ular orasidagi muvozanatlashtiruvni aniqlashga erishildi, aniqlik darajasi va natijalar ishonchli samarali bo'ldi. Ishonchli rejalashtirilgan eksperimentda olingan natijalar optimal tahlillarni ta'minlaydi va demak aniq strategik xulosalar beradi. Ammo statistik metod asosida ma'lumotlarga passiv tizim berish (dispersion va regression analiz) da tasodifiy sonlarni tarkibini taqsimlanish qonuniga muvofiq shart sharoitini aniqlash, ularni bog'liq emasligi, bir jinsli dispersiya va boshqalar yotadi, bu jarayonda real masalalarni yechishdan hamma vaqt uzoqlashilmaydi, shuningdek bo'nday shart sharoitlar to'plami holat modeli deb qabul qilingan. 1970 yillarning oxiri XX asrda qo'yilgan muammoni yechishda holat va ma'lumotlarni qayta ishlash modelini tanlash uchun shart sharoit markazi yuzaga keldi. Shu asosda ma'lumotlarni analiz qilish nomi bilan ataladigan yangi yo'nalish ochildi.

Bu yerda quyidagi asosiy etaplarni keltirish mumkin:

- Holat modeli shart-sharoiti bajarilishini tekshirish;
- Tajriba va faktlarga asoslanmagan ma'lumotlardan foydalanish (Bayesovskiye metodlari);
- Shart-sharoitni u yoki bu hollarda tekshirish mumkin bo'lmagan sharoitlarda bajariladigan turg'un ish tartibini qo'llash.

Eksperimentator imkon darajasida eng maqbul bo'lgan situatsiya modelini tanlanishi va unda eksperiment rejasi va qayta ishlash metodini qo'llashi lozim bo'ladi.

Tekshiriladigan obyekt va uning tarkibi haqida to'liq ma'lumot olish maqsadida obyekt ustida amalga oshiriladigan operatsiyalar yig'indisi haqida tushunchaga ega bo'lib, keyin eksperimental tadqiqotlar olib borish kerak. Eng muhim masala eksperimentdan olingan ma'lumotlarni qayta ishlab, obyekt, jarayon va o'rganiladigan hodisa to'g'risidagi to'liq tahliliy natijalarni xarakterlaydigan matematik model tizimi va uni obyektlarni loyixalashtirishda, jarayonlarni analiz qilishda foydalanish lozim. Agar eksperiment aniq maqsadga yo'naltirilgan bo'lsa yaxshi approksiyalashtirilgan matematik model olish mumkin. Boshqa bir eksperimentdan olingan ma'lumotlar qayta ishlanishi masalasini ko'rilayotganda optimallashtiriladi va bunda bir-biriga bog'liq bo'lmagan o'zgaruvchilar o'zaro kombinatsiyalashtiriladi yani tanlangan ko'rsatgichlar eksperimentdan olingan natijalarga muvofiq optimallashtiriladi.

Tajriba bu aloxida eksperimental bo'lim.

Eksperiment rejasi ma'lumotlar yig'indisi, aniqlanadigan son, tajriba o'tkazish sharoiti va tartibi.

Eksperimentni rejalashtirish: eksperiment rejasini tanlash, talabini qoniqtiruvchi talablarni aniqlash, eksperiment strategiyasi yo'nalishi bo'yicha ishlab chiqilgan ta'sir kattaliklarini umumlashtirish (tajriba va faktlarga asoslanmagan ma'lumotlardan matematik modelni ishlatish tizimini olishga erishish yoki optimal sharoitni aniqlash). Bu eksperimentni maqsadli yo'nalishga boshqarishda to'liq o'rganiladigan hodisani, mukammal o'rganish mexanizmni ishlab chiqiladi. Keyingi o'lchashlardan olingan natija qayta ishlash va shuningdek matematik model ko'rinishida ifodalangan tizimlarni formallashtirilishi natijalaridan kelib chiqqan xatoliklar va bir qism ma'lumotlar qoldirilib, asosiy tushunchalarni xarakterlaydigan tizimlar saqlanadi.

Eksperiment o'tkazish jarayonini rejalashtirish metodini qo'llaganda matematik modelni xatoligini aniqlash muhim bo'lib, natijalarni aynan o'xshashligi to'g'risida fikr yuritish lozim. Agar modelni aniqligi yetarli bo'lmasa, eksperimentni rejalashtirish va qo'llash metodlarini qo'shimcha tajribalar o'tkazishi kerak. Ammo

bu jarayonda dastlabki ma'lumotlarni yo'qotmasdan va maksimal sarf xarajatlar bilan amalga oshirish lozim bo'ladi.

Eksperimentni rejalashtirishdan maqsad

Tajriba o'tkazishda sharoitni tanlash va qoidalarga rioya qilish; bunda obyekt to'g'risida aniq, ishonchli ma'lumot olish va jarayonda kam mehnat sarflanishi, shuningdek ma'lumotlar jamlanmasi zich, qulay shaklda, sonli qiymati aniqligiga e'tibor qaratiladi.

Asosiy metodlarni rejalashtirishda, turli etapdagi har xil tadqiqotlar qo'llaniladi va foydalaniladi:

- Eksperimentni rejalashtirishda mavjud umumiy faktorlar to'plamidan keyingi etapdi o'rganiladigan faktorlarni ajratish;
- Optimallashtirish rejalari (ekstremal eksperiment) – masalani optimum asosda izlash parametrlarini maksimal yoki minimum qiymatlarini aniqlash;
- Approksimatsiya rejalari uchun parametrlar va omillar orasida analetik bog'lanish o'rnatilishi (regression model);
- Dispersion analiz uchun eksperimentni rejalashtirish ya'ni obyektning sifatli omillari uchun rejalar tuzish;
- Dinamik jarayonlarni o'rganishni rejalashtirish va hokazo.

Eksperimentni rejalashtirish qo'llashni tashabbuschilari Ronald A, Fisher, boshqa bir qator mashhur mualliflar bo'lib, ulardan birinchi ishni – Frenkyets keyinchalik eksperimentni rejasini shakllantirish ideyasini J. Boks, J. Kifer lar o'zlarining ilmiy ishlarida bayon etdilar.

Shuningdek Rossiyada G.K. Kruga, YE.V. Markova va boshqalar amalga oshirganlar.

Hozirgi paytda eksperimentlarni rejalashtirish metodlari mutaxassislashtirilgan paketlar dasturlariga joylashtirilgan.

Eksperimentlarni rejalashtirish metodlaridan foydalanishda 4 ta savolga javob topish lozim bo'ladi:

1. Qaysi omillarni birga qo'shish va (Y) funksiyani aniqlash uchun nechta shunday ta'sir omillarni olish zarur bo'ladi ?

2. Regressiya tenglamasini koeffitsiyentlari qanday topiladi?
3. Funktsiyaga ko'rsatiladigan ta'sirni tasavvur qilib, qanday aniq baholanishi mumkin?
4. Olingan tasavvurlardan foydalanib Y funksiyani optimal qiymatini aniqlash uchun qanday fikr yuritish mumkin?

Ekspirimentni rejalashtirishning to'liq omillari

Magistr – tushinchani o'zlashtirishi kerak:

Ekspirimentda rejalashtirilgan matritsani, birinchi tartibli rejalarni, kodlangan omillarni, omillar darajasini, ortogonalik, rotatabelnost, randomizatsiyani;

Ko'nikma olsin: eksperiment matritsalarini tanlash va tuzish, omillarni tanlash va ularni kodlashtirish, statistik analizda olingan regressiya tenglamasi modelini o'rganish va eksperiment natijalarini interpretatsiyalash.

Ekspirimental – statistik model

To'liq omillar o'tkaziladigan eksperimentlar tajribalar sistemasi deyiladi, barcha variantli kombinatsiyalashtirilgan omillar darajasi qaytarilmaydigan sharoitlarda tarkibi saqlangan.

Ekspirimentdagi barcha omillar asosida regression model tuziladi va regressiya tenglamasi koeffitsiyenti hisoblanadi.

Matematik model birinchi tartibli, ikkinchi yoki yuqori darajadagi polinomlar ko'rinishida odatda omillar parametrlariga bog'liq holda izlanadi. Approksimatsiyali tartibli polinom koeffitsiyenti eksperiment o'tkazish yo'li bilan izlanadi:

- Birinchi tartib chiziqli tenglama koeffitsiyentini izlash uchun belgilangan.

Quyidagi tenglamadan foydalaniladi:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i X_i \quad (6.3.1)$$

bu yerda Y – parametr; K - faktorlar soni; X_i – ita faktor b_0, b_1 – izlanadigan koeffitsiyentlar; ikkinchi tartibli reja approksimatsiya qilinadigan izlanadigan bog'lanishli tenglamadir.

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i X_i + \sum_{i,j=1}^e b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^K b_{ij} X_i^2 \quad (6.3.2)$$

Bu yerda j –tartib raqamli bo‘lib i dan farq qiladi.

Xususan $j < i$; S- K dan 2 gacha izlanishlardagi imkoniyatlar soni:

$$C = \frac{K!}{2^{(k-2)}!} \quad (6.3.3)$$

Yuqori tartib rejalar: qo‘yilgan faktor metodi farqlanadi;

- Faktornlarni tanlashda farqlash metodidan;
- Eksperimentni barcha omillarda (EBO) olib borish jarayonida tanlash hamma imkoniyatlarda omillarni uyg‘unlashtirish;
- Eksperimentda omillarni bo‘lish (EOB), reja ayrim reja qismlarida tasavvur etiladi (va hokazo), natijada omillar to‘liq uyg‘unlashmaydi.

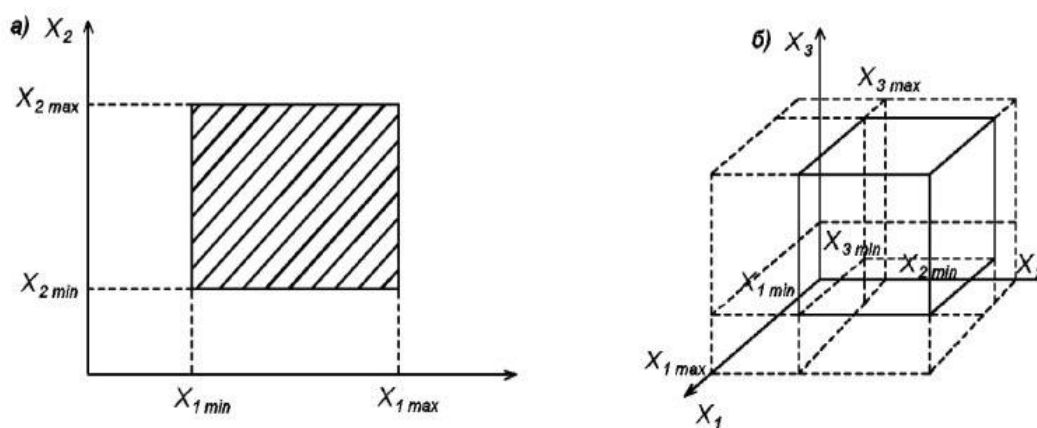
Faktornlarni kodlashtirish (raqamlashtirish)

Faktornlarni aniqlanish sohasi o‘zgarish diapazoni deyiladi va ularni qiymatlari eksperiment rejasini bajarilish jarayonida qabul qilinadi:

$$X_i \in [X_{imin}; X_{imax};]$$

Eksperiment jarayonida ikki omil soxasi to‘g‘ri burchakli holda xarakterlanadi (6.3.1, a-rasm), uch burchakli omillar uchun parallelepipedli holda xarakterlanadi:

(6.3.1, b-rasm), K- faktornlar uchun –K- o‘lchamli parallepiyedni xarakterlaydi.



6.3.1- rasm

6.3.1- rasm Ikki omilli sohani aniqlash (a) va uch amaliy (b) eksperimentlar o‘rnatilgan sohada faktornlarni aniqlashda–eksperiment rejasidagi etaplar muhimdir.

Bu esa eksperimentni tizimli va ravon bajarishga bog‘liq bo‘ladi. Omillar mohiyatini tanlash va sohadagi axborotlarga asosan ularni aniq bajarish yoki eksperimentni boshqa axborotlardan tozalinishiga e’tibor berish kerak.

Omillar soxasi deb ularning muhimlarini yozib olinishi, keyin ularni darajasini aniqlashga o‘tiladi,

Omillarni darajasi ularning ahamiyati, eksperiment jarayonida yozib olinadi.

Eksperimentator istalgan omilni uni aniqlanish soxasiga qarab belgilanish darajasida o‘rnatishi mumkin. Yuqori, pastgi va nolinchi darajalarda o‘rnatiladi.

Yuqori va pastki darajalarga mos ravishdagi chegaralar orqali aniqlanadi:
 $X_i - max$ va $X_i - min$.

Nolinchi darajaga mos ravishda intervalni o‘rtasida to‘g‘ri keladi:

$$X_{io} = \frac{X_{imon} + X_{imax}}{2} \quad (6.3.4)$$

- Intervalni o‘zgartirish deb, omilni nuldan maksimal darajaga og‘ishidagi kattalikka aytiladi:

$$\Delta X_i = X_{io} - X_{imin} = X_{imax} - X_{io} \quad (6.3.5)$$

Eksperimentni navbatdagi jarayonga rejalashtirish uchun omillarni haqiqiy raqamli qiymatlariga erishish maqsadga muvofiq bo‘ladi.

Kodlashtirilgan qiymatlar deb

$$X_i = \frac{X_i - X_{io}}{\Delta X_i} \quad (6.3.6)$$

Bu yerda $X_i - i$ ta haqiqiy qiymatlardan iborat omillarni ba’zilarini darajasi
Har qanday omilni raqamlangan qiymati pastki, yuqoridagi va nolinchi darajada quyidagicha belgilanadi.

$$X_{imin} = -1; X_{imax} = +1; X_{io} = 0$$

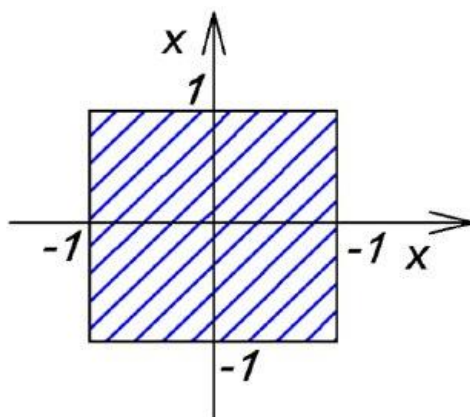
Ikki amaliy raqamlangan soxani aniqlash uchun eksperiment kvadrat ko‘rinishda. 6.3.2-rasm ikki amaliy raqamlangan soxani aniqlash uchun eksperiment kvadrat ko‘rinishida yoritiladi.

Keyingi etaplarda eksperimentni rejalashtirishda omillarni qiymatlarini va eksperimentdan olingan natijalarni qayta ishlashda raqamli qiymatlardan foydalaniladi. Bu esa reja tuzishda quyidagi yutuqlarni beradi:

- Raqamli qiymatlar o‘lchamsiz bo‘lib, turli fizikaviy kattaliklarni o‘zaro taqqoslash darajasini beradi;

- Raqamlashtirilgan qiymatlar omillar darajasini haqiqiy holatdan farqini va aniqlash sohasidagi nisbiy chegarani holati haqida tasavvurga erishishni belgilaydi;

- Raqamlashtirish qiymatlari eksperimentni raqamlashtirishda matritsalar ishlab chiqarish nisbatan yengillashtiriradi.



6.3.2-rasm.

Eksperiment natijalarini qayta ishlashda va olingan ma’lumotlarni nolinomlar asosida approksimatsiyalashda, qaysiki omillar haqiqiy qiymatini raqamli qiymatlarga almashtirishdan foydalaniladi:

- Hisoblashlarni qisman yengillashtirish;

- Tenglamalar koeffitsiyentlarni taqqoslashga imkon beradi.

- Raqamli qiymatlar qanchalik o‘lchamsiz va bir xil intervalda $[-1;+1]$, o‘zgaradigan bo‘lsa polinom koeffitsiyentlari bir xil o‘lchamli bo‘lib, Y –parametr o‘lchamlariga teng hamda koeffitsiyent kattaliklarni bir qiymatligi bilan aniqlanishi berilgan polinom kattaligiga va darajasiga ta’sir bilan xarakterlanadi. Tenglamadagi koeffitsiyentlarni kichik qiymatlarini chiqarib, berilgan tenglamani soddalashtirishga erishiladi.

Faktorlarni to‘liq eksperimentlashda matritsali rejalashtirish.

Eksperimentni rejasini matritsa ko‘rinishida tuzib planlashtirilsa – jadvallarni har bir qatorda ba’zi mos keladigan omillarni tajribada qo‘shib ishlatish mumkin. Matritsalaridan bir necha ko‘rinishda foydalanish mumkinligi ma’lum.

Barcha omillar belgilanib, shundan faqat ikkita darajadan (-1 va +1) foydalanish nisbatan sonlarni bir-biriga bog‘langanlarini belgilash keng tarqalgan. Birinchi omil uchun har bir keyingi qator o‘zgaruvchi sifatida qabul qilingan, ikkinchi qator uchun oldinga qatorni qoldirib, uchunchi qator uchun har to‘rt qatorni qoldirib va hokazo tartib belgilanishi qabul qilingan.

Demak ikkinchi, uchunchi, to‘rtinchi omillar uchun matritsalar tuzilishi 6.3.1-jadvalda keltirilgan X_o - omil soxta bo‘lib, b_o –erkin sonni aniqlash qulay bo‘lishi uchun kiritildi.

To‘liq omilli eksperiment (tok) larni tuzilishi to‘g‘ri ekanligini ifodalovchi, bir qator tarkibda tuzilganlarini olinadi.

1. Tuzilmaning simmetrikligi: vektorlari algebraik yig‘indisida – har bir omil tayanchi nolga teng (erkin a’zolar mos kelgan tayanchlardan boshqa) matritsada har bir omil yuqori darajada ko‘tarilib, faqat bir marta uchrashadi. Pastki yo‘nalishda va necha marta:

$$\sum_{u=1}^n X_{iu} = v$$

bu yerda U –tajriba raqami, n –tajribalar soni, $n = 2^k$.

2. Normallashtirish tarkibi: elementlar kvadratlarini yig‘indisi har bir tayanchidagi tajribalar soniga teng bo‘ladi; Matritsada har bir omil -1 va +1 darajalardagi soxalarda bir marta uchrashadi:

$$\sum_{u=1}^n X_{iu}^2 = n$$

3. Ortogonal tuzilish: barcha vektor-tayanchlarni skolyar ko‘paytmasi (matritsa vektori tayanchlaridan istalgan ikkita elementini ko‘paytmasi hamda – hadning umumiy yig‘indisi) nolga teng

$$\sum_{u=1}^n X_{iu}X_{ju} = v$$

4. Rotatabel tuzilishi: matritsa nuqtalari shunday tanlanadiki, bunda oldindan aytilgan parametrlarni aniqligi barcha yo‘nalishlarda bir xil bo‘ladi 3 rejada belgilanganlar bajarilgan tuzilish ortogonal deyiladi. Natijada regressiya tenglamasini yechimi koeffitsiyent bilan bog‘liq bo‘lib, bu tuzilishida barcha qiyinchiliklar tezda kamayadi (faktorlar eksperimentini rejasi) (FER)

$$\sum_{j=1}^n Y_j X_{1j} - b_o \sum_{j=1}^n X_{1j} - b_1 \sum_{j=1}^n X_{1j}^2 - b_2 \sum_{j=1}^n X_{1j} X_{2j} = 0$$

Eng kichik kvadrat metr tarkibiga asosan:

Simmetrik bo‘lganda $b_0 \sum X_{1j} = 0$

- Normallashtirilgan $b_1 \sum X_1^2 = n b_1$

- Ortogonallikda $b_2 \sum X_{1j} X_{2j} = 0$

$$b_1 = \frac{\sum_{j=1}^n Y_j X_{1j}}{n}; \quad b_2 = \frac{\sum_{j=1}^n Y_j X_{2j}}{n}; \quad b_0 = \frac{\sum_{j=1}^n Y_j X_{0j}}{n};$$

6.3.1-jadval

Eksperimentni rejalashtirish matritsalarini

Tajriba raqami	Faktorlar					Parametr
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	
1	+1	+1	-1	-1	-1	Y_1
2	+1	-1	-1	-1	-1	Y_2
3	+1	+1	+1	-1	-1	Y_3
FER 2 ²⁴	+1	-1	+1	-1	-1	Y_4
5	+1	+1	-1	+1	-1	Y_5
6	+1	-1	-1	+1	-1	Y_6
7	+1	+1	+1	+1	-1	Y_7
FER 2 ³⁸	+1	-1	+1	+1	-1	Y_8
9	+1	+1	-1	-1	+1	Y_9
10	+1	-1	-1	-1	+1	Y_{10}
11	+1	+1	+1	-1	+1	Y_{11}
12	+1	-1	+1	-1	+1	Y_{12}
13	+1	+1	-1	+1	+1	Y_{13}
14	+1	-1	-1	+1	+1	Y_{14}
15	+1	+1	+1	+1	+1	Y_{15}
FER 2 ⁴¹⁶	+1	-1	+1	+1	+1	Y_{16}

Kuzatishlar natijasi tasodifiy xarakterga ega bo‘lib, rejada belgilangan har bir nuqtadan bittadan emas, balki m^* parallel o‘tkazilgan tajribalarni natijalarga $\sqrt{m^*}$ marta bo‘lib, ulardagi o‘rtacha xatoliklarni baholanishiga javob beradi.

Ekspirimentlarni har seriyasida ularni muvofiqlik ketma – ketligi saqlanadi, bunda jadval yordamida tasodifiy sonlar eksperimentlar ketma – ket qo‘llash orqali aniqlanadi.

Ekspirimentlarni muvofiqlik bilan o‘tkazilishi ba’zi effektiv omillarni e’tiborga olinishi tasodifiy xatoliklarni aniqlashga imkon beradi.

Demak aktiv eksperimentni rejalashtirish bu jarayon o‘tkaziladigan tajribalar uchun sharoit tanlash, ularni soni, qo‘yilgan masalani yechimda aniqlikni va ishonchlilikga erishish lozimligiga qaratiladi.

Nazariya eksperimentni rejalashtirishda foydalanishni ta’minlaydi:

- Belgilangan tajribalar sonini qisqartirish;
- Barcha omillarni bir vaqtda e’tiborga olish;
- Har bir tajribalar seriyasidan keyin xulosalarni asoslash uchun aniq strategiya tanlashni ifodalaydi.

Regressiya tenglamasi koeffitsiyentini aniqlash. Ko‘p qaytuvchi chiziqli tenglamani koeffitsiyentlari

$$\hat{y} = b_0 + b_1X + b_2X_2 + b_3X_3$$

va ikki tomonlama ta’sir etuvchi tenglamaning koeffitsiyentlari:

$$\hat{y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + \dots + b_{23}X_2X_3$$

Eng kichik kvadratlar metodi bilan aniqlanadi:

$$F = \sum_{j=1}^n (Y_j - \hat{Y}_j) \rightarrow \frac{\min}{b_i}; \frac{\partial F}{\partial b_1} = 2 \sum_{j=1}^n (Y_j - b_0 - b_1X_{1j} - b_2X_{2j})X_{1j} = 0$$

Demak istalgan regressiv tenglamaning koeffitsiyenti b_j , y –skolyar tayanchlarni ko‘paytirish va X tayanchlariga mos holda tajribalar soni P ga bo‘linib aniqlanadi. Agar tenglama chiziqli ekanligini hisobga olsak, o‘zaro ta’siri natijasida (ikkinchi, uchunchi tenglamalarni ham) koeffitsiyentlari birinchi holdagiga o‘xshash aniqlanishi mumkin.

Shunga alohida e’tibor berish kerakki, barcha chiziqli koeffitsiyentlar bir – biriga bog‘liq emas, chunki barcha tenglamalar uchun kiritilgan o‘zgaruvchilar bir xildir. Shuning uchun har bir koeffitsiyent mos ravishda o‘zgaruvchi jarayonni xarakterlashda rol o‘ynaydi yoki omillarning ta’sir kuchini xarakterlaydi.

Koeffitsiyentlar soni qancha katta bo'lsa, bu omillarni Y – kattalikga ta'siri shuncha katta bo'ladi. Agar koeffitsiyent musbat bo'lsa, omillarni qarshi ta'siri shuncha ortadi, minus bo'lsa kamayadi.

Omillarni xarakterlovchi koeffitsiyentlar noldan kam farqli qiymatlarga ega bo'lsa, ularni tenglamalar tarkibidan chiqarish mumkin, chunki bu omillarni parametrlari eksperiment jarayoniga qarshi ta'sir etishi natijasida xatoliklarni keltirib chiqaradi. Rejada ortogonallik jarayoni e'tiborga olinsa, regressiya tenglamasidagi qolgan koeffitsiyentlarini hisobga olinmasligi mumkin. Eksperiment rejada ortogonallik jarayoni kuzatilmasa barcha koeffitsiyentlarni qaytadan hisoblash lozim.

Natijalarni statistik analizi. Regressiya tenglamasi koeffitsiyentlarini tekshirishni mohiyati.

Eksperimentni rejalashtirish statistik xarakterga bog'liqligidan kelib chiqadi, shuning uchun olingan tenglamani statistik analiz asosida qarab chiqish lozim. Maqsad eksperimental natijalardan maksimum axborot olishdan iborat va olingan natijalarni aniq ekanligiga ishonch hosil qilish. Regressiya tenglamalarini aniqlik kattaligini baholanishi b_i P ularni ishonchlilik intervali Δb_i , da berilgan tasodifiy parametrdan haqiqiy qiymati topiladi.

Regressiya tenglamalar koeffitsiyentini Styudent t-kriteriyasi asosida tekshirilgan qiymatlari orqali tekshiriladi. Bunda H_0 – nol gipotoza tekshiriladi. $b_i=0$, ya'ni berilgan darajada koeffitsiyent qiymati α noldan farqlanadi. Tablitsadan t-kriteriyani qiymatlari $\alpha= 0,05$ darajada aniqlanadi, ya'ni berilgan koeffitsiyentni darajasida α – ni qiymati noldan farq qiladi va erkinlik darajasi $f = n - \ell$ ga teng bo'ladi. Bu yerda ℓ - ma'lum parametrlar soni, n - tajribalar soni. Regressiya koeffitsiyentlari uchun dispersiya hisoblanadi.

$$S_b^2 = \frac{S_y^2}{n}, S_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Regressiya tenglamasini koeffitsiyentlari uchun ishonchli interval tuziladi: $\Delta b_i = S_b \cdot t_{2, f}$. Bunda regressiya tenglamasini koeffitsiyentlari uchun ishonchli interval quyidagicha ifodalanadi:

$$b_i + \Delta b_i, \quad b_i - \Delta b_i$$

Qancha interval ishonchli bo'lsa, koeffitsiyentlarni qiymatlari ham shuncha katta aniqlikga erishadi.

Agar regressiya koeffitsiyentini qiymati qo'shimcha ishonchli bo'lsa, uning absolyut qiymati ham shuncha miqdorda ishonchli bo'ladi. Demak, agar $b_i > \Delta b_i$ bo'lsa, b_i – koeffitsiyent qarshi yo'nalishda bo'lmaydi.

Modelni o'xshashligini tekshirish.

Matematik modeldan foydalanishga qo'yilgan asosiy talablar qo'yilgan masalani yechishga yaroqligi va jarayonni o'xshashligi bilan xarakterlanadi. Agar regression modelda olinadigan qiymatlar U kuzatishlarning natijalariga mos bo'lsa o'xshash jaryonlar deyiladi.

H_0 - nolinch gipotezani shakllantiriladi: regressiya tenglamasi o'xshashdir. N_1 – alternativ gipoteza; Regressiya tenglamasi o'xshash emas. Bu gipotezalarni tekshirish uchun F-Fisher kriteriyasini kiritamiz.

Parallel tajribalar bo'lmaganda va dispersiyada qayta takrorlanishlar bo'lmasdan o'xshash tenglamalar Fisher kriteriyasi bilan baholanganda qoldiq dispersiya S_{qol}^2 va dispersiyani o'rtacha nisbiy kattaligi S_y^2 orqali quyidagicha ifodalanadi.

$$F = \frac{S_y^2}{S_{qol}^2}, S_{qol}^2 = \frac{1}{n-l} \sum_{i=l}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \quad (6.3.6)$$

Bu holda Fisher kriteriyasi orqali aniqlanganda regressiya tenglamasidagi sochilish o'rtacha sochilishga nisbatan necha marta kamayishini xarakterlaydi. Boshqacha aytganda regressiya tenglamasini natijasi o'rtachasidan samarador ekanligini ko'rsatadi. F- Fisher kriteriyasini qiymati qancha ortsa jadval uchun α – ning daraja qiymati va erkinlik darajasi sonlarini tanlanishi bilan regressiya tenglamasini samaradorligi yuqori bo'ladi. Demak regressiya tenglamasining barcha koeffitsiyentlari E50 bir xil aniqlikga ega (dispersiya). Bundan regressiya tenglamasining koeffitsiyentlarining qiymatlari passiv passiv eksperimentlardan olingan natijalardan prinsipl farq qilmaydi. Reja asosida regressiv tenglamaning koeffitsiyentlarining natijalari bir xil dispersiya bilan aniqlanish rotatabellik

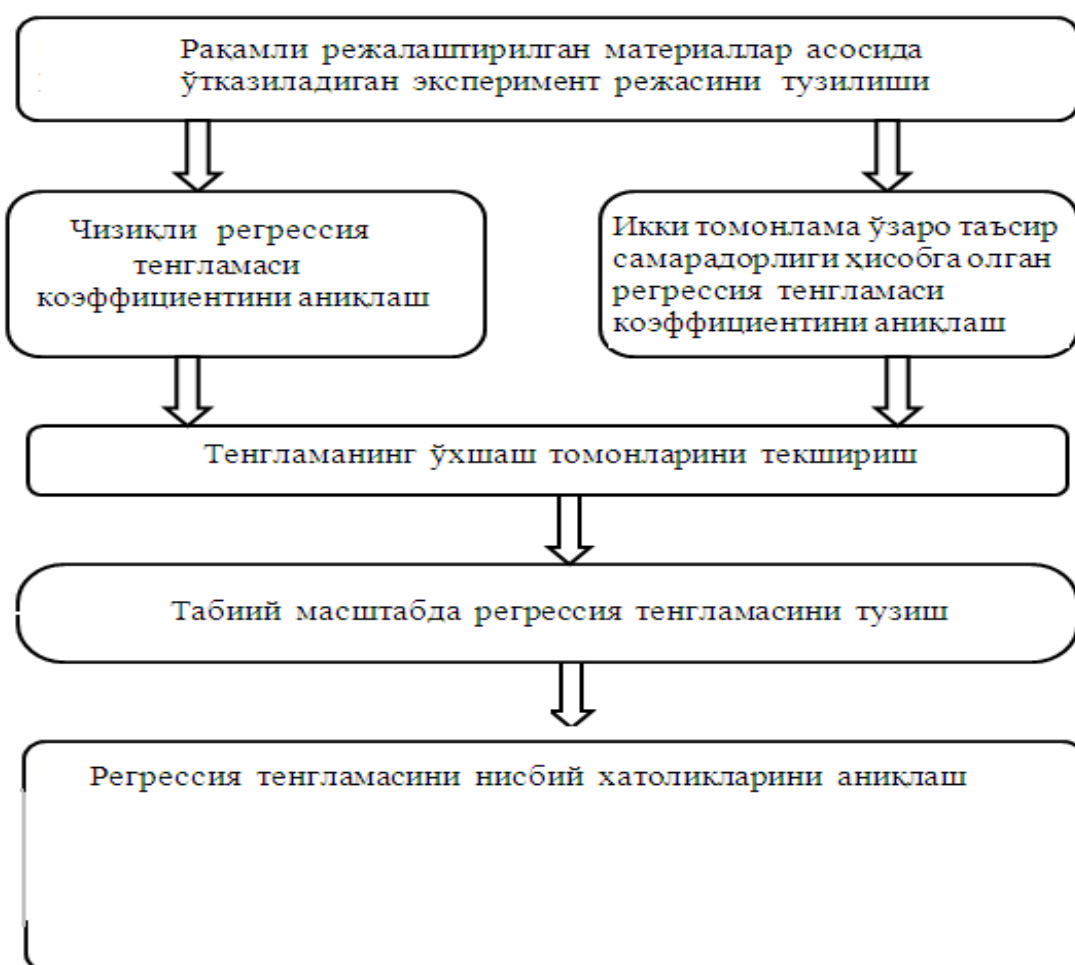
deyiladi. Koeffitsentlarni statistik belgilari tenglamadan tushirib qoldiriladi, qolgan koeffitsiyentlar hisobga olinmaydi. Shundan keyin regressiya tenglamasi chiquvchi parametr U ko‘rinishida va X_i o‘zgaruvchilar bilan bog‘langan ko‘rinishida tuziladi.

Hisoblashlarni bajarish tartibi.

1. Topshiriqni mazmunini yozish va jadvaldan asos qilib olingan ma'lumotlar variandagi bilan mosligi.

2. (6.2.2-rasm) dagi 3^k reja uchun algoritim hisoblashlarni bajarilishini tushuntirib bering,

3. Natijalarni analizini o‘tkazish.



6.3.3-rasm. Ishni bajarishni algoritimi.

$$\Delta_{Jmax} = \frac{\max}{i=1,2,\dots,N} |y_{ji} - \hat{y}_{ji}|/y_{ji}, \Delta_{min} = \frac{\min}{i=1,2,\dots,N} |y_{ji} - \hat{y}_{ji}|/y_{ji}$$

$$\Delta_{jep} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{|y_{ji} - \hat{y}_{ji}|}{y_{ji}}, J = 1, 2$$

6.4. Optimallashtirish mezonlarini tanlash bir faktorli va ikki faktorli dispersion tahlillini tajribada rejalashtirish.

Optimallashtirish mezonlarini tanlashda issiqlik almashinuv jarayonlarini eksperimental tadqiq etishda metodoik asosga muvofiq o'lchashlarni hatoliklarini aniqlashga alohida e'tibor qaratish lozim.

Eksperiment o'tkazishda issiqlik energetikasi va fizikaviy kattaliklarni tajribalar yo'liga asosan zamonaviy texnika vositalaridan foydalanish bilan o'lchashlarni bajarishga erishish muhimdir. Ammo istalgan issiqlik energetik kattalikni o'lchash va shu asosda optimallashtirish metodini, o'lchash texnikasini takomillashtirimasdan, doimiy sharoitni o'zgarimasdan saqlagan holdagi natijalar haqiqiy qiymatigina emas, balki yaqinlashtirilgan qiymatini ham olishda muammolar yuzaga keladi. Shuning uchun o'lchash natijalarini ishonchlilik darajasini aniqlash masalasi yuzaga keladi. Demak o'lchash aniqligini baholash istalgan eksperimentni ajralmas qismi bo'lib, issiqlik massa almashinuv jarayonlarida ham qo'llash talab etiladi.

O'lchashlar ikki ko'rinishga bo'linadi: to'g'ri va aylanma.

1. To'g'ri o'lchashlarda o'lchanadigan kattalik to'g'ridan – to'g'ri bir biri bilan taqqoslanadi yoki bir birlikda gradirovka qilingan pribor bilan o'lchanadi.

2. Kosvennis o'lchashlar izlanadigan issiqlik energetik va fizik kattaliklarni to'g'ridan-to'g'ri o'lchashdan olingan natijalari asosida aylanma yo'llar bilan izlanadigan funksional bog'lanish orqali aniqlanadi.

Kattalik o'lchashdan olingan qiymatlarini haqiqiy o'lchamlaridan og'ishiga o'lchash xatoliklari deyiladi.

O'lchashning absolyut xatoligi – kattaliklarni bir birlikdagi o'lchami bilan ifodalanishi xarakterlanishiga aytiladi.

Absolyut xatolik prinsipi har xil kattaliklarni o'lchashlardagi qiymatlari bir – biridan farq qiladigan natijalar bilan kattaliklari qiymatlardan iborat natijalarining farqi tushiniladi.

Shuning uchun absolyut xatoliklar faqat o'lchashlardagi yaqinlashish xatoliklarini baholash bilan cheklaniladi.

O'lchashlarning nisbiy xatoliklari – o'lchashlarni absolyut xatoliklarini, o'lchangan haqiqiy qiymatlarga nisbati bilan belgilanadi.

O'lchashlardagi sistemali xatoliklar – o'lchashlardan hosil bo'ladigan xatoliklarni tashkil etuvchi qiymati doimiy saqlanib yoki o'lchashlarda u yoki bu ko'rinishida qonuniy takrorlanadigan kattaliklar bilan belgilanishidir.

O'lchashlardagi tasodifiy xatoliklar – o'lchashlar xatoliklarni tartibi, u yoki bu kattalikni o'lchash jarayonida tasodifiy ko'rinishda takrorlanishi bilan kamaytirish mumkin yoki o'rtacha qiymatidan foydalaniladi. Ko'p hollarda o'lchashlardan olingan natijalarni qayta ishlash orqali yoki extimollik nazariyasidan foydalanib matematik apparatlar orqali aniqlashga erishiladi va bunda o'lchashlarning instrumental xatoliklari yoki o'lchash metodini xatoliklari deyiladi.

O'lchash davomida kutilgandan yuqori yuzaga keladigan xatoliklarga o'lchaniladigan qo'pol xatoliklar deyiladi.

O'lchash jarayonlarida metrologik normal holatga keltirilgan texnik qurilmalar va asboblari o'lchash vositalari deyiladi. O'lchov vositalariga – o'lchov asboblari, o'lchov o'zgartirgichlar va qo'shima o'lchash qurilmalari hisoblanadi.

O'lchov o'zgartirgichlariga – tajribada o'lchangan ma'lumotlarni qayta ishlab axborotlarni signal shaklda uzatish, qayta ishlangan va o'zlashga yoki saqlashga qulay bo'lgan tizimdir.

O'lchov asboblari – axborot shaklida o'zgartirilgan hamda qayta ishlangan signallarni qayt qilishga mo'ljallangan vositalardir.

O'lchov vositalarini kategoriyasiga – o'lchov asboblari, o'lchovlarni axborot signal sifatida o'zgartirgichlardan iborat bo'lgan vositalarga o'lchov qurilmalari deyiladi.

Yordamchi o'lchov vositalari – metrologik tuzilishiga ta'sir etadigan kattaliklarni o'lchash uchun qo'llaniladigan yoki tekshirilishiga foydalaniladigan vositalardir.

O'lchashning aniqligini harakterlovchi vosita – o'lchash vositasining sifati bu o'lchash jarayonidagi yuzaga keladigan xatoliklarni nolga yaqinlashishi bilan belgilanadi.

Klassik o'lchash vositalarining aniqligi – o'lchashlar vositasining umumiy xarakteristikasi, asosiy belgilangan chegarasini va qo'shimcha xatoliklarni aniqlash, shuningdek boshqa tarkibiy tuzilishlarni o'lchash vositalari, aniqlik ta'sirini qiymati alohida ko'rinishda standartlar asosida o'lchashlar vositasida aniqlanadi.

Odatda o'rnatilgan tizimga muvofiq o'lchash vositalarini metrologik xarakteristikasi asosiy ko'rinishdagi belgilangan chegara oralig'ida va qo'shimcha xatoliklar nisbiy va absolyut xatoliklar keltirilgan shaklda ifodalanadi.

Absolyut xatolik belgilangan asosiy chegarada ifodalanishi Δ ko'rinishida ifodalanadi

$$\Delta = \pm \alpha \quad (6.4.1)$$

yoki

$$\Delta = \pm(a + bx) \quad (6.4.2)$$

Bu yerda X – o'lchanadigan muhitga kiruvchi (chiquvchi) vositalarni o'lchangan kattaliklarini qiymati yoki hisoblash shkalasidagi bo'linishlarni aniq belgilanishi, a, b musbat sonlar bo'lib, X – ga bog'liq bo'lmaganda, ruxsat etilgan chegarada keltirilgan xatolik foizlarda qo'yidagicha ifodalanadi

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} = \pm \rho \quad (6.4.3)$$

bu yerda X_N – belgilangan birliklarda Δ va normallashtirish qiymatini ifodalanishi; ρ – musbat sonlardan chetlashtirilgan son bo'lib, quyidagi qatordan tanlanadi:

$$1 \cdot 10^p; 5 \cdot 10^p; (1,6 \cdot 10^p); (2 \cdot 10^p); 2,5 \cdot 10^p; (3 \cdot 10^p); \\ 4 \cdot 10^p; 5 \cdot 10^p; 6 \cdot 10^p; \quad (6.4.4)$$

Bu yerda 1,0; -1; -2; va $x \cdot k$ (15.4) qavs ichidagi ifodalar asboblarda qaytadan o'rnatilmaydi. Teng o'lchamli tadqiqotlar uchun amaliy teng o'lchamli yoki X_N – daraja shkalali sistemalarda katta teng chegarali o'lchamlarni qo'llash joriy etiladi.

Asosiy chegaralardan iborat ruxsat etilgan soha uchun δ – shakli quyidagicha ifodalanadi

$$\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm q \quad (6.4.5)$$

Agar Δ (15.1) ga nisbatan joylashtirilsa yoki shaklga nisbatan belgilansa u holda quyidagi ko'rinishda ifodalanadi.

$$\delta = \pm[s + d (X_k|/X)]- \quad (6.4.6)$$

Ko‘rinishida ifodalanadi agar Δ (15.2) formulaga nisbatan joylashtirilgan bo‘lsa, u holda (15.4) qatorga nisbatan farqlanadigan musbat sonlar orqali ifodalanadi. X_N – katta chegaradagi soxalarda (modul asosida) o‘lchashlarni xarakterlaydi c, d – lar (15.4) musbat sonlar qatoridan tanlangan sonlar bo‘lib quyidagicha ifodalanadi

$$c = b + d \quad (6.4.7)$$

$$d = a/|X_N| \quad (6.4.7)$$

bu yerda a, b lar (6.4.1) da keltirilgan sonlar o‘lchashlardagi xatoliklarga ro‘xsat etilgan chegarasi soni 5 % dan ortmasligi kerak.

15.1-misol. Voltmetrni o‘lchash aniqligi 0,5 s va yuqori chegarasi 30 v bo‘lib, eksperimental qizdirgich qurilmasidagi kuchlanish o‘lchanadi. Ruxsat etilgan chegarada voltmetr ko‘rsatishidagi asosiy absolyut xatolikni aniqlang.

Asbobning o‘lchashdagi aniqlik klassi ma’lum bo‘lsa demak $\Delta = \pm \delta X_N/100$ bu holda $k = \delta = 0,5, X_N = 30 v$ shunga asosan $\Delta = \pm \frac{0,5 \cdot 30}{100} = \pm 0,15 V$

15.2-misol. Kuchlanish F 220/1 sonli voltmetr bilan o‘lchandi. Ruxsat etilgan chegaradagi asosiy absolyut xatolikni aniqlang, agar asbobning ko‘rsatishi 0,551 v ga teng bo‘lsa. F 220 tipdagi voltmetrni pasport ma’lumotlarida o‘lchash chegarasi 0,1-0,999 v oralig‘ida bo‘lsin. F 220 tipdagi asbobning asosiy xatoligini qiymati o‘lchanadigan kattalikka nisbatan foizlarda quyidagi formula bilan aniqlanganda, qiymatidan katta bo‘lmaydi $\delta = 1,0 + 0,5 (X_k/X - 1)$ bu yerda X_k – o‘lchash chegarasini oxirgi ishchi qiymati; X – o‘lchash kattaligini qiymati.

Bu kattaliklarni qiymatini yuqoridagi formulaga qo‘yamiz va o‘lchash natijasidagi xatolikni aniqlaymiz.

$$\Delta = \pm \frac{\delta x}{100} = \pm \frac{1,4 \cdot 0,551}{100} = \pm 0,008 V.$$

15.3-misol. “Quvur orqali turbulent rejimda harakatlanadigan havoning mahalliy issiqlik berishi” laboratoriya ishida issiqlik berish koefitsiyentini o‘lchashdan olingan natijalar xatoligini hisoblashni qaraymiz.

O'lchanadigan soxada kuchlanishni o'zgarish miqdori $U = 0,700$ va F 220/1 sonli voltmetr bilan kuchlanishi o'lchandi, asosiy xatolik 15.2 formulada keltirilgan kattaliklarga muvofiq qo'yildi.

Quvurning devoridagi va havo oqimini temperaturalari gradirovka qilingan XA tipdagi temperaturalarda o'lchandi.

Termoparani ruxsat etilgan gradirovka xatoligi $\Delta\theta = \pm 1^\circ\text{S}$.

Termoparaga EYUK SH1312 sonli voltmetr va P 1312 o'zgartirgich bilan muvofiqlashtirib o'lchandi. Asboblarning pasport ma'lumotlaridan 0 – 16 mV soxasidagi aniqlik klassidagi qiymati 0,5 ga teng. Termoparada o'tgan EYUK bilan quvurga kiradigan va chiqadigan havo temperatura farqi tajriba o'tkaziladigan sohada 0,41 mV ga teng. O'lchangan termo EYUK shu soxaning oxirida 0,91 mV. Xonaning temperaturasi simobli laboratoriya termometr bilan o'lchanganda 20°S ga teng bo'ldi. Tajriba quvurining elektr qarshiligi $R = (0,0220 \pm 0,0005)\text{om}$.

Atrof – muxitga sarflanadigan issiqlik miqdori tajribada $\pm 10\%$ yo'l qo'yilgan xatolik bilan taqribiy $Q_{i,yo'l} = 1,28\text{ vt}$ ga tengligi aniqlandi.

Quvurning ichki diametri $d = (8,5 \pm 0,1)\text{mm}$, quvurning (trubaning) uzunligi $\ell = (500 \pm 1)\text{mm}$.

Issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlashda foydalaniladigan formula quyidagicha ifodalanadi:

$$\alpha = \frac{q_c}{\theta_c} \quad (6.4.9)$$

bu yerda $\theta_c = t_c - t$ – temperatura bosimi. Ruxsat etilgan chegarada Δu xatolikni aniqlash formulasini

$$\Delta u = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i\right)^2} \quad (6.4.10)$$

E'tiborga olib issiqlik berish koeffitsiyentini absolyut xatosini aniqlashda quyidagi formuladan foydalandik:

$$\Delta\alpha = \sqrt{\left(\frac{\partial\alpha}{\partial q_c} \Delta q_c\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial\theta_c} \Delta\theta_c\right)^2} \quad (6.4.11)$$

Ushbu xatolikni aniqlashda issiqlik oqimi zichligi $q_c = Q/F$ e'tiborga olinadi.

Bu yerda $Q = U^2/R - Q_{i,yuq}F = ld\ell$ teng bo'lib,

$$\Delta q_c = \sqrt{\left(\frac{\partial q_c}{\partial Q} \Delta Q\right)^2 + \left(\frac{\partial q_c}{\partial F} \Delta F\right)^2} \quad (6.4.12)$$

Formuladan issiqlik oqimi xatoligi aniqlanadi.

Tajriba o'tkaziladigan asbobning quvvatini $W = \frac{U^2}{R}$ desak, issiqlik oqimini xatoligini quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\Delta Q = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial w} \Delta w\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial Q_{i yuq}} \Delta Q_{i yuq}\right)^2} \quad (6.4.13)$$

$$\Delta w = \sqrt{\left(2 \frac{U}{R} \Delta U\right)^2 + \left(\frac{U^2}{R^2} \Delta R\right)^2} \quad (6.4.14)$$

Demak kuchlanishni o'lchashda yuzaga keladigan xatolik quyidagicha (6.4.2 misoldagidan) aniqlanadi

$$\delta_u = 1,0 + 0,5 \left(\frac{0,999}{0,7} - 1\right) = 1,21\%$$

$$\Delta U = \frac{1,21 \cdot 0,7}{100} = 0,00847 \text{ V.}$$

$\Delta R = 0,0005 \text{ om}$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$\Delta w = \sqrt{\left(2 \frac{0,700}{0,022} 0,00847\right)^2 + \left(\frac{0,700^2}{0,022^2} 0,0005\right)^2} = 0,739 \text{ Vt}$$

Issiqlikni atrof-muhitga uzatilishi, ya'ni issiqlik yo'qolishi xatoligini quyidagicha aniqlanadi.

$$\Delta Q_{i yuq} \approx 0,1 Q_{i yuq} = 0,1 \cdot 1,28 = 0,128 \text{ Vt}$$

Shuningdek ΔQ –ni aniqlash mumkin: Bunda $\partial Q / \partial w = 1$

$\partial Q / \partial Q_{i yuq} = -1$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$\Delta Q = \sqrt{0,739^2 + 0,128^2} = 0,750 \text{ Vt}$$

Quvur yuzasining maydoni xatoligi quyidagicha aniqlanadi,

$$\Delta F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial d} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial \ell} \Delta \ell\right)^2} = \sqrt{(\mathfrak{N}i \Delta d)^2 + (\mathfrak{N}id \Delta \ell)^2} = \sqrt{(\mathfrak{N} \cdot 0,5 \cdot 10^{-4})^2 + (\mathfrak{N} \cdot 8,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3})^2} = 2,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2.$$

Quyilgan masaladagi $\partial q_c / \partial q$ va $\frac{\partial q_c}{\partial F}$ xususi kattaliklarni hisoblaymiz:

$$\frac{\partial q_c}{\partial Q} = \frac{1}{F} = \frac{1}{1,33 \cdot 10^{-2}} = 74,9;$$

$$\frac{\partial q_c}{\partial F} = \frac{Q}{F^2} = -\frac{20,99}{(1,33 \cdot 10^{-2})^2} = -3,15 \cdot 10^3$$

Issiqlik oqimi zichligidagi xatolikni hisoblaymiz:

$$\Delta q_c = \sqrt{(74,9 \cdot 0,750)^2 + (-3,15 \cdot 10^3 \cdot 2,26 \cdot 10^{-4})^2} = 56,2 \text{ Vt/m}^2$$

Shuningdek temperatura bosimidagi xatolikni hisoblaymiz.

Agar $O_1 = t_c - t_{j1} Q_2 = t_{j2} - t_{j1}$ deb belgilasak,

Temperatura bosimini quyidagi formuladan foydalanib hisoblash mumkin:

$$\theta_s = Q_1 - Q_{2x}/\ell \quad (6.4.15)$$

bu yerda $\theta_1 = 22,5^\circ\text{S}$, $\theta_2 = 10,1^\circ\text{S}$, ga teng. Belgilangan quvurning ko'ndalang kesimi uchun ($X = 468 \text{ mm}$) $\theta_s = 22,5 - 10,1 \cdot 468/500 = 13,0^\circ\text{S}$ ga teng bo'ladi.

Temperatura bosimini (farqini) aniqlashdagi xatolik quyidagi formuladan olingan natijalarga muvofiq baholanadi.

$$\Delta \theta_s = \sqrt{(\Delta \theta_1)^2 + (\Delta \theta_2 \cdot X/\ell)^2} \quad (6.4.16)$$

bunda $\Delta \theta_1 = \Delta \theta_2 = 1^\circ\text{S}$. Shunga asosan hisoblashlar bajarilganda

$$\Delta \theta_s = \sqrt{1^2 + \left(\frac{468}{500} 1\right)^2} = 1,4^\circ\text{S}$$

teng bo'ladi. $\partial \alpha / \partial q_c$ va $\frac{\partial \alpha}{\partial \theta_c}$ larni hisoblab, keyin α – issiqlik berish koeffitsiyentining hatoliklari topiladi.

$$\frac{\partial \alpha}{\partial q_c} = \frac{1}{\theta_c} = \frac{1}{13,0} = 7,69 \cdot 10^{-2}$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \theta_c} = -\frac{q_c}{\theta_c^2} = -\frac{1578}{13}, 0^2 = -9,33$$

$$\Delta \alpha = \sqrt{(7,69 \cdot 10^{-2} \cdot 5,62)^2 + (-9,33 \cdot 1,4)^2} = 13,75 \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{k)}.$$

Issiqlik berish koeffitsiyentini tajribada o'lchashlardan olingan natijalariga asosan quyidagicha ifodalaymiz

$$\alpha = (121 \pm 14) \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{k)} \quad (6.4.17)$$

Qaraladigan holda nisbiy xatolikni ruxsat etilgan qiymati

$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = 14 \cdot 100/121 = 11,5\% \text{ ga teng bo'lar ekan.}$$

Tajriba natijalarini qayta ishlash. Eksperiment natijalarini tavsiflash. Emperik formulalar.

Izlanadigan kattaliklarni (issiqlik berish koeffitsiyenti, issiqlik uzatish koeffitsiyenti va hokozo) tajriba natijalari bilan bog‘lab olingan ma‘lumotlarni xarakteristikasi va ularni aniqlashga bog‘liq faktorlarni qiymatlari jadvallar, grafiklar va formulalar ko‘rinishida yoritiladi.

Jadvallar ko‘rinishida yoritilgan ma‘lumotlar tajribadan olingan ma‘lumotlarga mos keladi va ular tadqiqot natijalarining xarakterlaydi. Shuning uchun bu ma‘lumotlardan o‘xshash eksperimentlarda ham foydalanish qo‘lay hisoblanadi.

Grafik ko‘rinishida yoritilgan natijalar ko‘rgazmali bo‘lib, fizik, issiqlik eksergetik kattaliklar bilan bog‘lanish tizimi to‘g‘risida aniq tushunchalarni ko‘rsatadi, formula ko‘rinishida ifodalangan va tadqiqot natijalaridan olingan tushunchalar bevosita amaliy tizimlarda foydalanish qo‘laydir.

Agar formula oldindan ma‘lum bo‘lsa (masalan nazariy tushunchalar yoki o‘tkazilgan eksperimentlar asosida olingan bo‘lsa) masaladagi formulaga kiruvchi koeffitsiyentlar approksimatsiyalanib tuziladi. Aks holda dastlab tajribadan olingan ma‘lumot asosida formula tanlanadi va keyin koeffitsiyentlar belgilanadi. Natijada olingan formulaga kriteril tenglama deyiladi. Eng samarali formulalarni ishlab chiqishda tajriba ma‘lumotlari asosida bir qator grafikni funksional shkalasini (logorifmik, yarim grafik va hokozo) tanlash maqsadga muvofiq bo‘ladi. Shuningdek formulalarni koeffitsiyentlarini aniqlashda ma‘lum bo‘lgan ishonchli tizim uchun eng kichik kvadratlar metodidan foydalanish samarali natijalar beradi. Formulaga kiradigan noma‘lum koeffitsiyentlar tajribadan olingan ma‘lumotlarni minumim kvadratlar yig‘indisidan chetlashish qiymatlarini approksimatslash funksiyasi $y = y(x_k, a_0, a_1, \dots, a_m)$ dan argumentiga mos keladigan X_k qiymatlardan: foydalanib aniqlanadi.

$$\sum_{k=1}^n w_k [y_k - y(x_k, a_0, a_1, \dots, a_m)]^2 = \min \quad (6.4.18)$$

bu yerda $n - X_k$, y_k juft sonlarni qiymati; $m -$ izlanadigan a_i koeffitsiyentlarni soni ($i = 1, i = 2, \dots, m; m; m \leq n$); $w_k - k$ nuqtadagi og‘irlik

funksiyasi. Agar y_k – ni aniqlashda berilgan \mathfrak{F}_k – o‘rtacha kvadratik xatolikni e‘tiborga olinadigan bo‘lsa u holda og‘irlik funksiyasi sifatida $w_k = \frac{i}{\delta_k^2}$ qabul qilinadi; agar δ_k – noma‘lum bo‘lsa, u holda $\delta_k = \frac{\Delta_k}{3}$ baholash tizimidan foydalaniladi.

Agar nisbiy xatolik chegarasi δ berilgan bo‘lsa, va doimiy deb hisoblanadiganda og‘irlik funksiyasi $w_k = \left(\frac{1}{\delta u_k}\right)^2$ dan foydalaniladi. Bunda $w_1 = w_2 = \dots w_k = \text{const}$ noma‘lum koeffitsiyentlar minimum yig‘indilar shartiga asosan aniqlanadi:

$$\sum_{k=1}^n [y_k - y(X_n, a_0, \dots, a_m)]^2 = \min \quad (6.4.19)$$

(6.4.18) yoki (6.4.19) ni S bilan belgilasak bu ifoda kvadratik funksiya deyiladi.

Eng kichik kvadratlar metod asosida mukammal hisoblashlar sxemasi o‘zida quyidagi etaplarni mujassamlashtiradi.

Dastlab emperik formula quyidagicha beriladi:

$$y = y(X_1 a_0 a_1 \dots a_m)$$

keyin bu ifodani funksional kvadrat ko‘rinishida ifodalanadi:

$$S = \sum_{k=1}^n w_k [y_k - y(X_k, a_0, a_1, \dots, a_m)]^2$$

Shuningdek belgilangan sharoitda S ni quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = 0, \frac{\partial S}{\partial a_1} = 0, \dots, \frac{\partial S}{\partial a_m} = 0,$$

Demak, bu qo‘yilgan masalani yechishdan normal tenglamalar sistemasida a_i koeffitsiyent topiladi. Eng kichik kvadratlar metodidan foydalanib S^{**} dastur programmasini funksiyani approkmatsiyalab hisoblandi.

Eng kichik kvadratlar metodi bilan izlanadigan empirik formula chiziqli ko‘rinishda bo‘lganda qo‘llanilishi nazarda tutiladi.

Issiqlik almashinuv jarayonlarining o‘rganishda ko‘pgina hollarda logorifimik shkaladan foydalanish qo‘laydir. Logorifimik shkaladan foydalanib grafik ko‘rsatgichini va funksiya darajasini tuzatishga erishish hamda izlanadigan

empirik formula koeffitsiyentini soddalashgan ko‘rinishdagi masalani yechish mumkin.

Agar berilgan funksiya ko‘rsatgichi $y = ae^{vx}$ ko‘rinishda bo‘lsa, ular logorifim ko‘rinishda $Y = \lg y, A = \lg a, B = b \lg e$ ifodalanadi.

Natijada tenglama chiziqli ko‘rinishda quyidagicha ifodalanadi.

$$Y = A + Bx \quad (6.4.20)$$

Agar logarifmik shkaladan Oy o‘qi bo‘yicha foydalansak, y holda oy o‘qi bo‘yicha teng o‘lchamli (polulografmicheskiy to‘r) deb ataladi va funksiya to‘g‘ri chiziqli ko‘rinishda tasvirlanadi. V kattalik (X_1Y_1) va (X_2Y_2) kordinataning ikki nuqtasi orqali aniqlanadi va quyidagicha ifodalanadi:

$$V = (Y_2 - Y_1)/(X_2 - X_1)$$

Ikkinchi doimiy kattalik $A = Y_1 - BX_1$ tipdagi tenglamadan aniqlanadi.

Agar darajali funksiya $y = ax^b$ ko‘rinishda berilgan bo‘lsa, uning logarifmik belgilanishi

$Y = \lg y, A = \lg a, X = \lg x$ ko‘rinishda bo‘lib, to‘g‘ri chiziqli tenglama ko‘rinishini $Y = A + Bx$ oladi va shu asosda yechiladi.

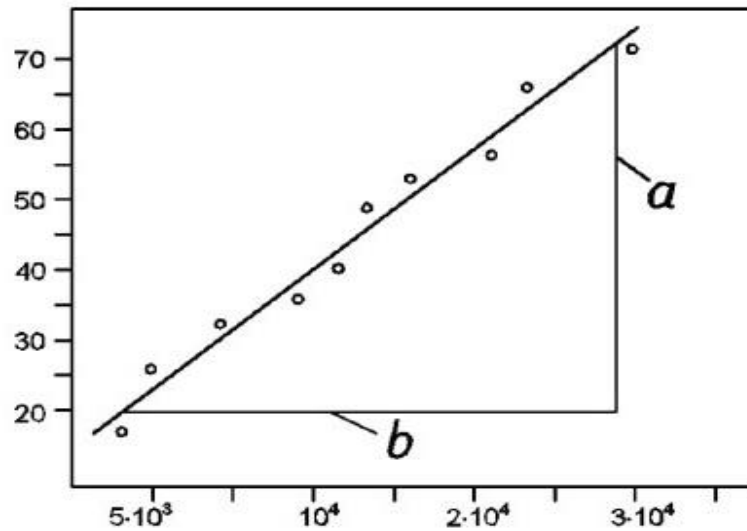
Quvur orqali havo oqimi jarayonida mualliq oqim rejimi soxasidagi issiqlik almashinuvi tizimida o‘tkazilgan tadqiqotlar asosida olingan natijalar issiqlik berish xarakteristikasini aniqlash uchun empirik tenglamalarni ishlab chiqishni talab etadi.

Empirik formulani ifodalashda koordinatalarda tajribadan olingan natijalariga muvofiqligi belgilanishi nuqtalar joylashishiga asoslanadi (6.4.1-jadval).

6.4.1-jadval

Re	200	050	11300	15600	18000	21200	26700	34800	36400
Nu_{∞}	0,1	25,5	31,7	36,0	38,2	56,3	64,6	76,0	79,2

Shuningdek 6.4.1-jadvaldagi sonlarga muvofiq logorifmik jadvalga tushiriladi.



6.4.1- rasm. Nu_{∞} ni Re ga nisbatan eksperimental bog‘lanishi keltirilgan.

Grafikdan ko‘rinib turibdiki, logarifimik koordinatada tajribadan olingan nuqtalar to‘g‘ri chiziq bilan approksimatsyalanishi mumkin.

Demak

$$Nu_{\infty} = cRe^n \quad (6.4.21)$$

bu yerda S va P larni turli xil metodlar bilan aniqlash mumkin. 15.2.1.- rasmdagi mashtab asosida tuzilgan uchburchak katedlari a va b dan doimiy kattalik $n = tg(a/b)$ dan aniqlashadi. Grafikdagi o‘lchash natijalaridan $n = 0,81$ ga tengligi aniqlashadi. Shundan keyin grafikdan qaysi bir nuqta uchun to‘g‘ri chiqing xususiy miqdor kordinatalardan olinadi.

Masalan $Re = 2 \cdot 10^4$ $Nu_{\infty} = 40$ va 15.2.3 formulaga qo‘yilib S doimiy son topiladi. Demak $C = 49/(2 \cdot 10^4)^{0,81} = 0,0161$ ga tengligi aniqlanadi.

Demak izlanadigan empirik formula quyidagicha ifodalanadi.

$$Nu_{\infty} = 0,0161 Re^{0,81} \quad (6.4.22)$$

Bunda Re – sonini tajribadan olingan qiymatlarini aniqlab hisoblaganda Nu_{∞} – ning son qiymati topiladi. Shunga asosan quvur orqali harakatlanadigan havoning issiqlik berish koeffitsiyenti α – formuladan aniqlanadi.

$$\alpha = \frac{Nu_{\infty} \lambda_x}{\alpha} \left[\frac{kj}{cn^2k} \right] \quad (6.4.23)$$

Shunga asosan quvurdan harakatlanadigan havo oqimi quvur sirti orqali issiqlik berish miqdori

$$Q = \alpha F(t_k - t_{ch}) \quad \text{kJ} \quad (6.4.24)$$

Formuladan foydalanib aniqlanadi.

Issiqlik berish koeffitsiyentini o‘rtacha va asosiy muxim xarakteristikasini aniqlash. Masalani qo‘yilish xarakteriga ichki tashqi qarab issiqlik berish koeffitsiyentini sodda, qo‘lay va eksperimental tadqiqotlardan olingan natijalarini amaliy jarayonlarda issiqlik almashinuv qurilmalaridan qo‘llaniladi.

Quyida ikkita xarakterli hollarda qaraymiz:

Jismning tashqi sirtidan oqadigan va quvurning ichidan oqadigan havo uchun tekshiramiz. Quvurning tashqi sirti orqali harakatlanadigan havo uchun maxalliy issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagicha ifodalanadi:

$$\alpha = q_c / (t_c - t_\infty) \quad (6.4.25)$$

bu yerda q_c – quvurning berilgan nuqtasi orqali harakatlanadigan issiq havo oqimining zichligi; t_c – quvur sirtidan belgilangan nuqtadagi temperatura; t_∞ – quvurning sirtida hosil bo‘lgan namlik temperaturasi.

Bu holda yuzaga keladigan issiqlik almashinuvi natijasidagi mahalliy issiqlik berish koeffitsiyenti

$$\alpha = q_c / (t_c - t_{a.c}) \quad (6.4.26)$$

Formuladan aniqlanadi bu yerda $t_{a.c}$ – quvur devorining adiabatik temperaturasi va quyidagi formuladan aniqlanadi

$$t_{a.c} = t_\infty + r(t_a - t_\infty)$$

bu yerda t_o – to‘xtalish temperaturasi; r – temperaturani tiklanish koeffitsiyenti. To‘xtalish temperaturasi deb, oqimning to‘xtalish entalpiyasiga mos keladigan temperaturasi aytiladi. To‘xtalish temperaturasi deb, oqimning to‘xtalish entalpiyasiga mos keladigan temperaturasi aytiladi. To‘xtalish entalpiya bu quvur orqali harakatlanadigan havo oqimi va birlik massa uzatuvchi uning kinetik energiyasining yig‘indisidan iboratdir:

$$h_o = h_\infty + w_\infty^2 / 2 \quad (6.4.27)$$

Bu yerda w_∞ – havo oqimining tezligi. Agar $C_p = const$ bo‘lsa, u holda

$$t_o - t_\infty + w_\infty^2 / (2 C_p) \quad (6.4.28)$$

Qo‘laylik uchun issiqlik berish koeffitsiyentini o‘lchamsiz kateriyasi (Stonton soni) dan foydalanib aniqlash mumkin. Stonton soni quyidagicha ifodalanadi.

$$St = \frac{q_c}{\rho_\infty w_\infty (h_c - h_{a.c})} \quad (6.4.29)$$

Bu yerda h_c – havoning entalpiya temperaturasi, quvur devorining temperaturasiga tengligi bilan xarakterlanadi; $h_{a.c}$ – quvur devorining adiabatik entalpiyasi:

$$h_{a.c} = h_\infty + r_h (h_o - h_\infty) \quad (6.4.30)$$

bu yerda r_h – entalpiyani tiklash koeffitsiyenti; h_∞ – quvurdan uzoqlashgandagi havoning entalpiyasi.

O‘rtacha issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagicha formula bilan ifodalaniladi:

$$\bar{\alpha} = Q_c / (\overline{F \Delta t}) \quad (6.4.31)$$

bu yerda Q_c – quvur sirti orqali bo‘ladigan issiqlik almashinuvini hosil qiladigan issiqlik oqimi; Δt – o‘rtacha temperatura farqi:

$$\overline{\Delta t} = \frac{1}{F} \int_F \Delta t \, dF \quad (6.4.32)$$

Δt – maxaliy temperatura farqi.

Agar quvur atrofi sirti orqali harakatlanadigan havo oqimining temperaturasi o‘zgarmas bo‘lsa, u holda issiqlik miqdori quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q_c = \int_F q_c \, dF = \bar{\alpha} \Delta t F \quad (6.4.33)$$

bu yerda

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{F} \int_F \alpha \, dF \quad (6.4.34)$$

Teng bo‘lib, (6.4.31) va (6.4.34) formulalarni natijalar bir qiymatli bo‘ladi.

Quvur atrof sirtining barcha nuqtalarida issiqlik oqimining zichligi o‘zgarmas bo‘lsin.

Bu holda ham $\bar{\alpha}$ – issiqlik berish koeffitsiyentini ifodalovchi (6.4.31) va (6.4.34) formulalarni amaliy ahamiyati bir hil bo‘ladi.

Agar tajribada mahalliy issiqlik berish koeffitsiyenti uchun olingan natijalar davomida $q_c = const$ o‘zgarmas bo‘lsa, issiqlik tashuvchining o‘rtacha temperaturalar farqi

$$\overline{\Delta t} = \frac{q_c}{F} \int_F \frac{dF}{\bar{\alpha}} \quad (6.4.35)$$

Formula orqali aniqlanadi.

Demak, o'rtacha maxalliy o'rtacha issiqlik berish koeffitsiyenti

$$\bar{\alpha} = \frac{q_c}{\overline{\Delta t}} = \left(\frac{1}{F} \int_F \frac{dF}{\bar{\alpha}} \right)^{-1} \quad (6.4.36)$$

formuladan aniqlanadi.

Issiq havo quvur orqali o'tadigan bo'lsa, issiqlik o'tkazuvchanlikni quvur markaziy o'q yo'nalishida o'zgarmas deb olish mumkin, bu holda quvurning ma'lum sohasidan o'tadigan issiq havo oqimi ikkita ko'ndalang kesim oralig'idan o'tgan miqdori quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$Q_c = G(\bar{h}_{12} - \bar{h}_{11}) \quad (6.4.37)$$

bu yerda $G = \int_F \rho w_x df$ –havoning massa sarfi va

$$\bar{h}_t = \int_F h_t \rho w_x df / \int_F \rho w_x df \quad (6.4.38)$$

Formula o'rtacha massali entalpiya oqimini ifodalaydi. Shuningdek $h_r = h + w_x^2/2$ tenglikni belgilanadi.

Agar kinetik energiyani entalpiya bilan taqqoslanganda kichik bo'lishini e'tiborga olinsa, u holda $h_r = h$ va $\bar{h}_r = \bar{h}$ tengliklar o'rinli bo'ladi. O'rtacha entalpiya oqimiga mos keladigan temperaturaga o'rtacha massali temperatura deyiladi. Agar $h \gg w_x^2/2$ va $C_p = cost$ bo'lsa, o'rtacha massali temperatura formulasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\bar{t} = \int_f \rho w_x t df / \int_F \rho w_x df \quad (6.4.39)$$

Bu holda quvur devoridagi ssiqlik oqimi quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$Q_c = G c_p \bar{t}_2 - \bar{t}_1 \quad (6.4.40)$$

O'rtacha massali temperatura (15.3.16) formulaga mosligi e'tiborga olinganda, quvur sirtining bir qator nuqtalaridagi temperatura oqimini eksperimental aniqlash mumkin.

Quvur orqali harakatlanadigan havo oqimning temperatura farqini tanlash bilan bog'iqligi maxalliy issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlash metodi ko'llaniladi:

$$\alpha = q_c / (t_c - \bar{t}) \quad (6.4.41)$$

$$\alpha = q_c / (t_c - t_1) \quad (6.4.42)$$

bu yerda \bar{t} quvurning berilgan qismidagi havo oqimini o'rtacha temperaturasi; t_1 – quvurga kiruvchi havoning temperaturasi. Birinchi holda temperatura farqi mahalliy deyiladi, ikkinchi holda boshlang'ich deyiladi.

Umumiy holda issiqlik berish koeffitsiyenti α –ning miqdori quvur uzunligi bo'yicha va perimetri bo'yicha o'zgarishi mumkin. Agar q_c va t_c lar quvurning berilgan sohasida o'zgarmas bo'lganda α – issiqlik berish koeffitsiyenti faqat quvur uzunligi bo'yicha o'zgaradi. Issiqlik berish koeffitsiyentini qiymati va uning xarakteri aniqlanish tizimiga bog'liq holda quvur uzunligi bo'ylab o'zgaradi. Ko'p hollarda α – maxalliy issiqlik berish koeffitsiyentini o'zgarishini (6.4.41) formula bilan aniqlanish metodi qulay bo'ladi.

Quvur orqali issiq havo oqimi bilan bog'liq holda issiqlik ajralishi dissipatsiya energiyasi tufayli yuzaga keladigan maxalliy issiqlik berish koeffitsiyenti (6.4.26) formula bilan aniqlanadi va bunda $t_{a.c}$ – quvur devorining temperaturasi quyidagi formuladan hisoblanadi.

$$t_{a.c} = \bar{t} + r(t_o - \bar{t}) \quad (6.4.43)$$

Issiqlik berish koeffitsiyentini eksperimental tizim asosida aniqlash uchun Stantan kriteriyasi (15.3.6) formuladan foydalaniladi. Bunda ρ_∞ havoning zichligi va w_∞ tezlik larini ba'zi qiymatlari bilan bog'liq xarakteristikasi (Masalan, quvur devorining o'rtacha massali) $\rho w = (G/f)$ adiabatik entalpiyasi quyidagicha ifodalanadi

$$h_{a.c} = \bar{h} + r_h(h_o - \bar{h}) \quad (6.4.44)$$

Shuningdek (15.3.6) formula tipidagi kriterial tenglamadan havoning o'zgaruvchi fizikaviy parametrni qo'llash bilan foydalanish mumkin

bunda

$$St = q_c / [\bar{\rho} w (h_c - \bar{h})] \quad (6.4.45)$$

Fizikaviy parametrlar o'zgaruvchan bo'lgan holda havo tarkibi xarakteristikasini ifodalovchi entalpiyani (15.3.22) kriterial tenglamadan foydalanish

qo‘lay, masalan quvur devorini temperaturasini berilgan taqsimot $q_c(x)$ da hisoblash qo‘laydir.

$$\bar{h} = h_1 + \frac{P}{G} \int_0^x q_c(x) dx \quad (6.4.46)$$

bu yerda ρ – quvur kesimining perimetri. Olingan eksperimental ma’lumotlarga asosan stanton sonini, $h_c t_c$ va mos ravishda t_c larni aniqlanadi.

Quvur uzunligi bo‘yicha issiqlik berish koeffitsiyentini bir qator metodlar bilan aniqlash mumkin. Asosan quyidagi ikkita o‘rtachalashtirilgan foydalaniladi. Issiqlik berish koeffitsiyentini o‘rtacha integrallash metodi va

$$\bar{\alpha} = \frac{l}{\ell} \int_0^{\ell} \alpha dx \quad (6.4.47)$$

issiqlik berish koeffitsiyentini keltirilgan o‘rtacha temperaturalar farqini integrallash yo‘li bilan quyidagi formuladan foydalanib aniqlanadi

$$\bar{\alpha} = Q_c / (F \bar{\Delta t}) \quad (6.4.48)$$

bu yerda

$$\bar{\Delta t} = \frac{l}{\ell} \int_0^{\ell} (t_c - \bar{t}) dF \quad (6.4.49)$$

Agar quvur sirti temperatura ($t_c = const$) bo‘lsa.

Masala Q_c – ni aniqlashga qaratiladigan bo‘lsin. Bu holda issiqlik berish koeffitsiyenti o‘rtacha kattaligi (6.4.47) formulaga asosan aniqlansin.

Demak quvur sirtida issiqlik oqimini zichligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$q_c = \frac{l}{\rho} G c_p \frac{d\bar{t}}{dx}$$

Shuningdek $\alpha = q_c / (t_c - \bar{t})$ ifodalanib, uni integrallash yo‘li bilan quyidagi formula yordamida $\bar{\alpha}$ ni aniqlanadi.

$$\bar{\alpha} = \frac{G c_p}{\rho \ell} \ln \frac{t_c - \bar{t}_1}{t_c - \bar{t}_2} \quad (6.4.50)$$

Demak qaraladigan xususiy holda issiqlik berish koeffitsiyentini o‘rtacha qiymatini eksperimental tadqiqotlar bilan aniqlashda temperaturalar farqi $\bar{\Delta t}_l$ orqali hisoblash maqsadga muvofiq bo‘ladi. Bunda $\bar{\alpha}$ qiymatini (6.4.47) va (6.4.48) formulalardan foydalanib quvurning uzunligi bo‘yicha maxalliy issiqlik berish

koeffitsiyentini o'zgarishlar bog'liq bo'lmagan moslik qonuniga asosan aniqlash mumkin.

Shuningdek (15.3.25) formulaga asosan $\bar{\alpha}$ – aniq bo'lganligi uchun Q_c – aniqlash mumkin bo'ladi.

Nazorat savollari.

1. O'lchov natijalarini grafikda tasvirlash jarayonini tushuntirib bering.
2. Yarim fazaning sovishini aytib bering.
3. Tashqi issiqlik o'tkazuvchanlikni mohiyatini tushuntirib bering.
4. Molekulalarni tezliklarini issiqlik tizimi bilan bog'liq taqsimotini qisqacha tushuntiring.
5. Tasodifiy xatolik deb nimaga aytiladi?
6. O'rtacha kvadratik xatoni ta'riflab bering.
7. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasini tushintirib bering.
8. Gaus tomonidan ilgari surilgan xatolar normal qonuni yoki xatolar egri chizig'ini mohiyatini tushintirib bering.
9. O'xshashlik nazariyasini mohiyatini tushintiring.
10. Issiqlik almashinuv koeffitsiyentlari va ularni fizikaviy mazmuni.
11. Kriterial sonlar va ularni issiqlik fizikasidagi mohiyati.
12. Quvurlardagi lominar va turbulent oqimlar jarayonidagi issiqlik almashinuvini fizikaviy asosga ko'ra matematik hisoblash.
13. Metrologik ma'lumotlarni o'lchash asboblarini aytib bering.
14. O'lchashlarda ruxsat etiladigan asosiy absolyut xatoliklar (Δ) qanday ifodalanadi?
15. To'g'ridan – to'g'ri o'lchashlardagi tasodifiy xatoliklar qanday baholanadi.
16. Eksperimentdan olingan natijalari empirik formulalar yordamida yechish usullarini tushintirib bering.
17. O'rtacha issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlashni quvurlar orqali oqadigan issiq havo (yoki suv) misollar asosida aytib bering.

Yettinchi bob
KONVEKSIYA HODISASI. GAZ VA SUYUQLIKLARDA
KONVEKSIYA

7.1. Erkin va majburiy konveksiya. Konvektiv issiqlik almashinuvning differensial tenglamasi.

Odatda gaz va suyuqlik qattiq jism sirtiga tegib harakatlenganda isiydi yoki soviydi. Masalan: qizdirilgan pech va uning mo‘risiga sirpanib tegib o‘tadigan havo yoki suyuqlik isiydi. Qozonxonadan trubalarga uzatiladigan issiq suv yoki bug‘ shu trubalarni va batareyalarni qizdiradi. Xonadagi havo qizigan trubalarga va batareyalarga tegib isiydi hamda xonani isitadi va hokazo. Qattiq jism sirti bilan suyuqlik yoki gaz (havo) orasida sodir bo‘ladigan bu hodisaga issiqlik almashinuvi deyiladi.

Agar issiqlik uzatiladigan (qattiq jism) devorning temperaturasi T_2 va shu devorni sirti bilan o‘zaro sirpanib o‘tadigan issiqlik tashuvchi (gaz, havo, suyuqlik) ning temperaturasi T_s bo‘lsa, u holda qattiq jismdan beriladigan issiqlik konvektiv issiqlik almashinuv miqdori Q , issiqlik almashinuv sirti F ga proporsional bo‘ladi:

$$Q = \alpha F(T_\alpha - T_c) \quad (7.1.1)$$

Bu formulaga Nyuton – Rixmanning konvektiv issiqlik almashinuv formulasi deyiladi. Bunda issiqlik almashinuvi qattiq jism sirtidan suyuqlik yoki gazga va aksincha bo‘lishi mumkin.

Formuladagi α – issiqlik berish koeffitsiyenti deyiladi va $Vm/(m^2\text{°C})$ larda o‘lchanadi. Bu koeffitsiyent konvektiv issiqlik almashinuv intensivligini bildiradi (7.1.1) formuladan

$$\alpha = \frac{Q}{F(t_\alpha - t_c)} = \frac{q}{t_\alpha - t_c} \quad (7.1.2)$$

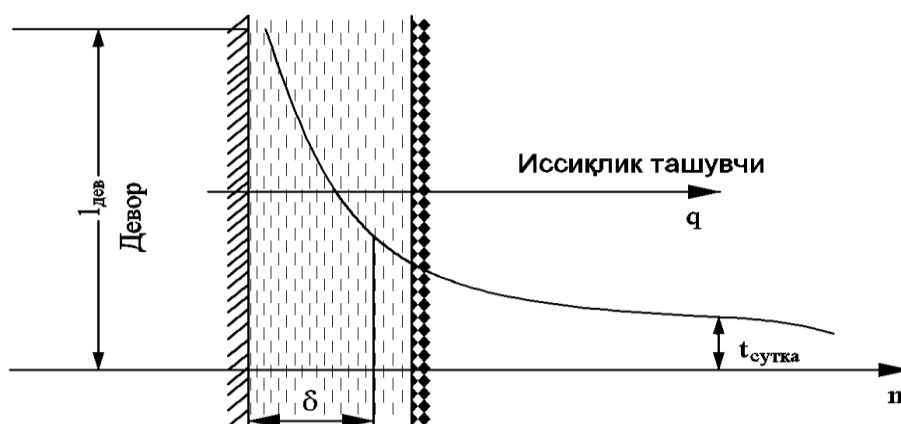
Ko‘rinishida ifodalanadi. α – issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati turli nuqtalarda turlicha bo‘ladi.

Agar issiqlik tashuvchi gazsimon yoki suyuq moddalar qattiq jism devorlari bilan o‘zaro ta’sirlashadigan bo‘lsa, bunda sodir bo‘ladigan konvektiv issiqlik almashinuvidagi solishtirma issiqlik oqimini Furrye quyidagi tenglama orqali aniqlash mumkinligini ko‘rsatdi: $\frac{\partial T}{\partial n}$

$$q = -\lambda \left| \frac{\partial t}{\partial n} \right| F \quad (7.1.3)$$

Bu yerda, λ – issiqlik tashuvchi (gaz yoki suyuqlik) ning issiqlik uzatish koeffitsiyenti, $\text{kJ}/(\text{m soat}^\circ\text{C})$; n – qizdirilgan yuzaga nisbatan normal; $\left| \frac{\partial t}{\partial n} \right| F$ – issiqlik tashuvchi temperatura o‘zgarishning normalga nisbatan gradiyenti deyiladi.

(7.1.1) formula differensial tenglama yordamida ifodalanadi va keltirib chiqariladi. Dastlab (7.1.2) formulaning asoslanishini 7.1. – rasm yordamida tushuntirish mumkin.



7.1.1– rasm. Issiqlik tashuvchining chegara qatlami.

Ko‘p sonli tajribalar shuni ko‘rsatadiki, qizigan devor yaqinida issiqlik tashuvchining oqimi muallaq bo‘lib, devordan δ uzoqlikda oqim turbulent rejimni oladi. Chunki δ qatlamda issiqlik tashuvchining temperaturasi vaqt bo‘yicha tez o‘zgarib boradi. Bu qatlama yopishqoq qatlam oqimi deyiladi. Shuning uchun bu qatlamda konvektiv issiqlik almashinuvi sodir bo‘lmaydi, ya’ni issiqlik oqimi devordan issiqlik uzatish bilan beriladi. Demak issiqlik o‘zgarishining gradiyenti

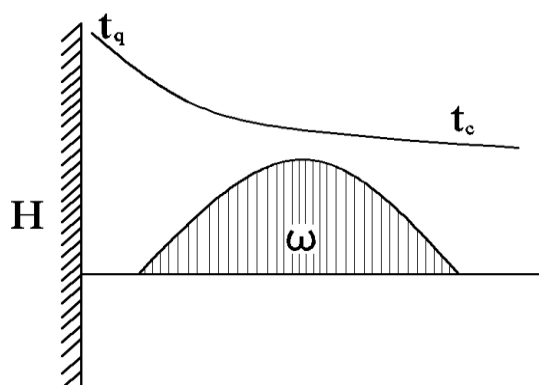
$$\left| \frac{\partial t}{\partial n} \right| \approx -\frac{t_q - t_c}{\delta} \quad (7.1.4)$$

ga teng bo‘ladi. (7.1.4) ni (7.1.3) ga qo‘yib issiqlik oqimi quyidagicha ifodalanadi.

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(t_{\alpha} - t_c) = \alpha \Delta t \quad (7.1.5)$$

ni hosil qilamiz. Bu yerda $\frac{\lambda}{\delta} = \alpha$ bilan belgilanadi va issiqlik berish koeffitsiyenti deb ataladi.

Gazlarda va suyuqliklarda tabiiy va majburiy konvektiv issiqlik almashinuvi farqlanadi. Issiqlik oqimi nasoslar, shamol haydagich yoki shamol yordamida majburiy harakatga keltiriladi. Tabiiy issiqlik oqimi suyuqlik va gazlar qizigan qattiq jism bilan ta'sirlashganda hosil bo'ladi (7.1.2-rasm).



7.1.2 rasm. Balandligi N bo'lgan issiqlik beruvchi sirt bilan tabiiy harakatlanuvchi havoning o'zaro ta'sirlashuvida uning tezligi ω va temperatura ($t_{\alpha} - t_s$) taqsimlanishi.

Issiqlik kengayishi intensivligi temperaturaning hajm kengayish koeffitsiyenti quyidagi formulasi bilan xarakterlanadi.

$$\beta = \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_{p-\text{const}} \quad (7.1.6)$$

Bu yerda $v = \frac{1}{\rho}$ suyuqlikning solishtirma hajmi. Gazlar uchun hajm kengayish koeffitsiyentini 1834 yilda Klayperon tomonidan quyidagi ko'rinishda tavsiya etilgan:

$$\beta = \frac{1}{T}$$

Tomchisimon suyuqliklar (masalan, gelioteplitsa, gelioparnik, geliosovutgich qurilmalarning tiniq yuzalarining sirtida hosil bo'ladigan tomchi – kondensatlar)

uchun temperaturaning hajmiy kengayish koeffitsiyenti gazlardagiga nisbatan kichik bo‘ladi:

$$\beta = \frac{1}{v} \left(\frac{v \cdot v_s}{t - t_c} \right) = \frac{\rho_c - \rho}{\rho_c (t - t_c)} \quad (7.1.7)$$

Issiqlik tashuvchining zichliklar farqi

$$\rho_s - \rho = \beta \rho (t - t_c) \quad (7.1.8)$$

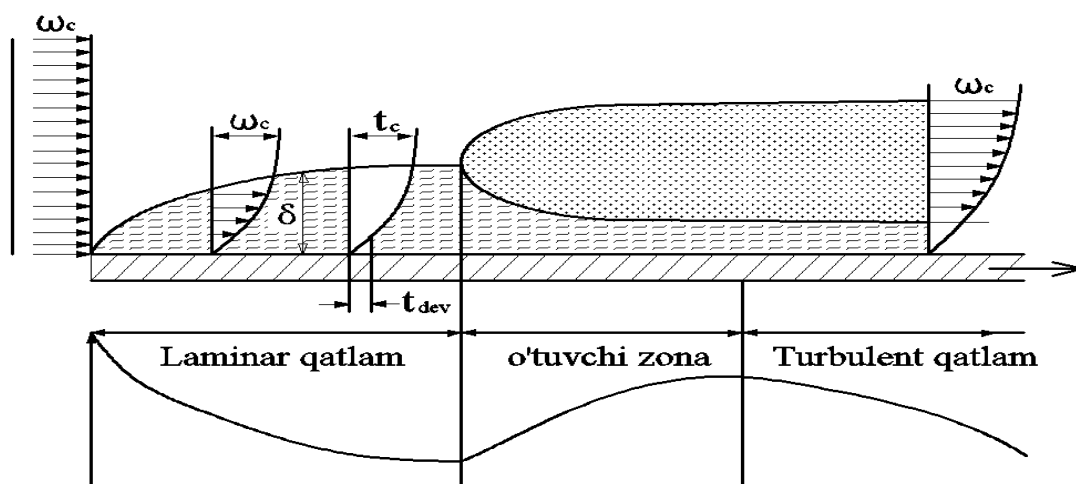
bilan ifodalanadi. Tomchini muallaq saqlab turishdan ko‘taruvchi kuch F_K Arximed itaruvchi kuchi $A = \rho_c g$ va og‘irlik kuchi $G = \rho g$ ning algebraik yig‘indisiga teng bo‘ladi:

$$F_K = A - G = g(\rho_c - \rho) = \beta \rho_c g (t - t_c) \quad (7.1.9)$$

Bu ko‘taruvchi kuch isigan suyuqlik yoki gaz (havo) ni yuqoriga tomon tabiiy ravishda ko‘tarilishiga ta’sir etadi. Sovigan suyuqlik yoki gaz tabiiy ravishda pastga va qizigan suyuqlik yoki gaz tabiiy ravishda yuqori tomonga harakatlanadi. Ammo suyuqlik yoki gazni ichki ishqalanish koeffitsiyenti dinamik yopishqoqlik koeffitsiyenti $\mu \left(\frac{\text{ns}}{\text{m}^2} \right)$ ya’ni ($\text{Pa} \cdot \text{s}$) va kinematik yopishqoqlik koeffitsiyenti $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, (m^2/s) ga bog‘liq bo‘ladi.

Ta’kidlash lozimki, bu koeffitsiyentlar ρ , $\lambda_3 C$, α , μ , ν , β , umuman modda haroratiga, namligiga, bosimiga va boshqa ta’sir etuvchi faktorlarga bog‘liq, lekin ko‘pgina masalalarni yechganda bu bog‘lanish ikkinchi va uchinchi tartibdagi kichik miqdorlar deb (asosiy aniqlanadigan kattalikni o‘zidan va mingdan bir necha ulushlarini hosil qiluvchi kichik miqdor) bu o‘zgarishni hisobga olmaydilar, ya’ni $\rho \lambda C$ doimiy deb hisoblaydilar.

Yuqorida aytilgandek issiqlik uzatish suyuqlikning fizik xususiyatlariga, uning harakatiga va suyuqlikni jism sirtidan sirpanib o‘tishiga, suyuqlik haroratining maydoniga bog‘liq shuning uchun suyuqlik harakatini ifodalaydigan differensial tenglamalar, barqaror harakatni ifodalaydigan tenglamalar (uzluksizlik tenglamalari), harorat o‘zgarishini ifodalaydigan differensial tenglamalari yoki qisqaroq aytilganda issiqlik almashishni differensial tenglamalarni har bir masala uchun bilish lozim. Shuning uchun issiqlik tashuvchini majburiy konveksiyaga o‘tkazish bilan issiqlik almashuvini intensivligiga erishish mumkin. (7.1.3-rasm).



7.1.3 – rasm.

Termosifon sistemalarda gidrodinamik va issiqlik almashinuv qatlamlarida jarayonlar issiqlik tashuvchisining tezligi ω_s ga va temperaturasi t_s larga bog'liq bo'ladi (16.3-rasm). 16.3 – rasm. Yupqa plastinkadan oqib o'tuvchi suyuqlikni chegara qatlamda hosil bo'lishi (a) va issiqlik berishda mahalliy koeffitsiyentning taqsimlanishi (b).

Plastinka sirtiga yaqin zonada suyuqlik zarralari yopishqoqlik tufayli tezlik juda kichik, oqim qatlamida esa ω_s ga teng bo'ladi.

Suyuqlik oqimining bu qatlamiga gidrodinamik chegara qatlam deyiladi va u noldan ω_s gacha ortib boradi hamda qalinligi δ_t ga teng bo'lib, tezligi $0,99 \omega_s$ ga teng bo'ladi.

Suyuqlik oqimining chegara qatlami δ_t ga tenglashganga bo'lgan zonada oqim laminar rejim bilan harakatlanadi. $X - X_{k\rho}$ holatgacha masofada suyuqlik oqimi laminar bo'lib, o'tuvchi chegara qatlami zonasidan keyin suyuqlik oqimi uyurma shakilda harakatlana boshlaydi. Bu zonada plastinka va suyuqlik temperaturalarini o'zgarishi yoki $0,99 (t_c - t_g)$ ga teng bo'ladi. Laminar oqimda issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan issiqlik suyuqlikdan plastinkaning ko'ndalang devorlariga tomon uzatiladi. Ammo oqim qatlami bo'ylab uzatiladigan issiqlik bir xil bo'lmaydi. Tashqi (chetgi) chegara qatlamlarda uzatiladigan issiqlik oqimining zichligi nolga teng bo'ladi. Oqim markazi qatlamlariga tomon q qiymati o'zgarib

boradi, ammo oqim qatlami bo'yicha q ning qiymati bir xil bo'ladi. Shuningdek issiqlik uzatish jarayoni yassi devorda bo'lgani singari plastinka qalinligi δ_t va temperaturalar farqi $t_c t_g$ lar orqali aniqlanadi, ya'ni:

$$q \approx \frac{\lambda(t_c - t_g)}{\delta_m} \quad (7.1.10)$$

Bu formulani (7.1.1) va (7.1.2) formula bilan tenglashtiramiz:

$$\begin{aligned} q &= \frac{\lambda}{\delta_t} (t_c - t_q) \\ q &= \alpha (t_q - t_c) \\ \alpha &\approx \frac{\lambda}{\delta_t} \end{aligned} \quad (7.1.11)$$

Plastinkada oqadigan suyuqlikni laminar rejimida α – issiqlik berish koeffitsiyenti bir xil qiymatga ega bo'ladi, ammo oqimning o'tish zonasida issiqlik berish koeffitsiyenti kamayib boradi. Agar oqimning rejimi turbulent bo'lsa, issiqlik berish – issiqlik uzatish va konvektiv issiqlik uzatish orqali intensiv amalga oshadi hamda oqim qatlami ortib borishi bilan issiqlik koeffitsiyenti ham kamayib boradi.

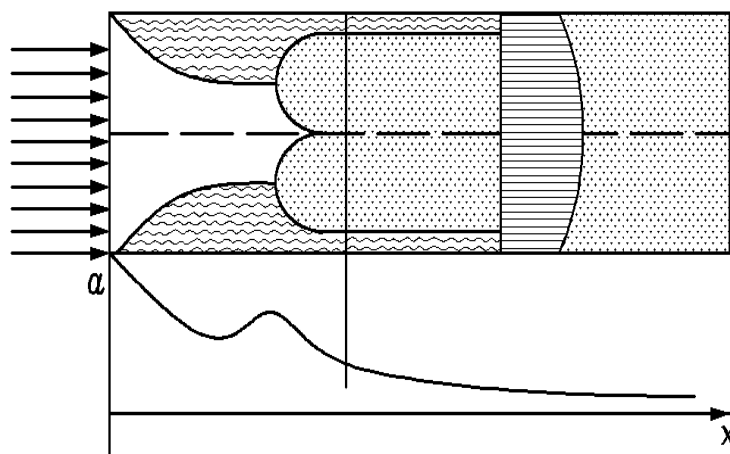
(13) formuladan ko'rinib turibdiki, gazlarda issiqlik berish koeffitsiyenti kichik qiymatga ega bo'lib, tomchisimon suyuqliklardagi issiqlik uzatishdan ham kimchik bo'ladi. Suyuqliklar va metallardagi issiqlik uzatishdan esa undan ham kichik bo'ladi.

α ning gazlardagi, jumladan havodagi qiymati $\alpha = 10 - 20 \text{ } \text{Wt}/(\text{m}^2\text{K})$ ga teng bo'ladi.

Havoning majburiy harakati sekundiga bir necha o'n metr bo'lganda $b = 50 - 100 \frac{\text{Wt}}{\text{m}^2\text{K}}$ atrofida bo'ladi.

Agar jismning sirti tomchi oqimi bilan yuviladigan bo'lsa, u holda issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati $b = 1000 \text{ } \text{Wt}/(\text{m}^2\text{K})$ atrofida bo'ladi.

Suyuqlik quvurning perimetri bo'ylab oqadigan bo'lsa, oqimning rejimi dastlab devor yaqinida laminar bo'lib, keyin stabillashadi va turbulent holatni egallaydi.



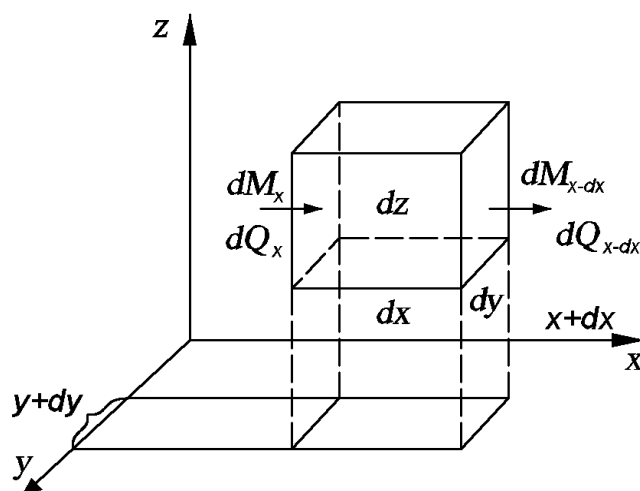
7.1.4-rasm. Suyuqlik qatlaminig hosil bo‘lishi (α) va quvurda suyuqlik turbulent rejimda oqishida maxalliy issiqlik berish koeffitsienti (b).

Konvektiv issiqlik almashinuvining differensial tenglamalari. Issiqlik almashinuv protsessini tekshirish uchun soxaning kichik differensial

Bo‘lagini ajratib olamiz va shu soxada bo‘ladigan issiqlik va massa almashinuvini taxlil qilamiz.

Uzluksizlik tenglamasini keltirib chiqarish uchun xajmi dV bo‘lgan paraleloipedni ajratib olamiz. Uning tomonlari dx , dy , dz bo‘lsin. X o‘qiga perpindikulyar bo‘lgan tomon orqali df vaqt ichida o‘tadigan suyuqlik massasini dM_x desak, u quyidagicha aniqlanadi:

$$dM_x = \rho v_x dy dz df \quad (7.1.12)$$



7.1.5-rasm. Differensial kichik hajm suyuqlik oqimida massa va issiqlik miqdorini hisoblash.

Bu yerda, v_x –suyuqlik tezligining o‘qdagi proyeksiyasi. Agar dM suyuqlik massasini $x + dx$ tomoni orqali o‘tadigan qismini aniqlamoqchi bo‘lsak, u holda (7.1.12) formulani Teylor funksiyasi bo‘yicha qatorga yoyamiz, yani:

$$dM_{x+dx} = dM_x + d/dx(dM_x)dx + \dots \quad (7.1.13)$$

dM_x va dM_{x+dx} larni ayirmasi parallelopipedning qarama-qarshi tomondan o‘tadigan suyuqlik massasini xarakterlaydi:

$$dM_x - dM_{x+dx} = -d/dx(dM_x)dx \quad (7.1.14)$$

Suyuqlik siqilmaydigan bo‘lsa $p = const$

$$dM_x - dM_{x+dx} = -\rho \frac{dv_x}{dx} dx dy dz d\tau = -\rho \frac{dv_x}{dx} dV d\tau \quad (7.1.15)$$

ga teng bo‘ladi.

Parallelopipedning qolgan tomonlari uchun xam (7.1.15) formulani yozadigan bo‘lsak:

$$dM_y - dM_{y+dy} = -\rho \frac{dv_y}{dy} dV d\tau \quad (7.1.16)$$

$$dM_z - dM_{z+dz} = -\rho \frac{dv_z}{dz} dV d\tau \quad (7.1.17)$$

bo‘ladi. (7.1.16) va (7.1.17) larni o‘zaro qo‘shsak, $p \neq 0$, $dV \neq 0$ va $d\tau \neq 0$ bo‘lgan uzluksizlik tenglamasi quyidagi ko‘rinishga keladi:

Havoning majburiy harakati sekundiga bir necha o‘n metr bo‘lganda $\alpha = 50 - 100Vt/(m^2K)$ atrofida bo‘ladi. Agar jismning sirti tomchi oqimi bilan yuviladigan bo‘lsa, u holda issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati $\alpha = 1000 \frac{Vt}{m^2K}$ atrofida bo‘ladi.

Suyuqlik quvurning perimetri bo‘ylab oqadigan bo‘lsa, oqimning rejimi dastlab devor yaqinida laminar bo‘lib, keyin stabillashadi va turbulent holatni egallaydi.

Konvektiv issiqlik almashinuvining differensial tenglamalari. Issiqlik almashinuv protsessini tekshirish uchun sohaning kichik differensial bo‘lagini ajratib olamiz va shu sohada bo‘ladigan issiqlik va massa almashinuvini tahlil qilamiz.

Uzluksizlik tenglamasini keltirib chiqarish uchun hajm dV bo'lgan paralelopipedni ajratib olamiz. Uning tomonlari dx , dy , dz bo'lsin. X o'qiga perrindikulyar bo'lgan tomon orqali $d\tau$ vaqt ichida o'tadigan suyuqlik massasini dM_X desak, u quyidagicha aniqlanadi:

$$dM_X = \rho \vartheta_X dy dz d\tau$$

bu yerda, ϑ_X – suyuqlik tezligining X o'qdagi proyeksiyasi.

Agar dM suyuqlik massasini $x + dx$ tomoni orqali o'tadigan qismini aniqlamoqchi bo'lsak, u holda (7.1.14) formulani Teylor funksiyasi bo'yicha qatorga yozyamiz, ya'ni:

$$dM_{X+dx} = dM_X + \frac{\partial}{\partial x}(dM_X)dx + \dots$$

dM_X va dM_{X+dx} larni ayirmasi paralelopipedning qarama – qarshi tomondan o'tadigan suyuqlik massasini xarakterlaydi:

$$dM_X - dM_{X+dx} = -\frac{\partial}{\partial x}(dM_X)dx d\tau$$

suyuqlik siqilmaydigan bo'lsa $\rho = const$

$$dM_X - dM_{X+dx} = -\rho \frac{\partial \vartheta_X}{\partial x} dx dz d\tau = -\rho \frac{\partial \vartheta_X}{\partial x} dV d\tau \quad (7.1.18)$$

ga teng bo'ladi.

Paralelopipedning qolgan tomonlari uchun ham (16.17) formulani yozadigan bo'lsak:

$$dM_y - dM_{y+dy} = -\rho \frac{\partial \vartheta_y}{\partial y} dV d\tau$$

$$dM_z - dM_{z+dz} = -\rho \frac{\partial \vartheta_z}{\partial z} dV d\tau \quad (7.1.19)$$

bo'ladi. (16.16) va (16.17) larni o'zaro qo'ysak, $\rho \neq 0$, $dV \neq 0$ va $d\tau \neq 0$ bo'lgan uzluksizlik tenglamasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\frac{\partial \vartheta_x}{\partial x} + \frac{\partial \vartheta_y}{\partial y} + \frac{\partial \vartheta_z}{\partial z} = 0 \quad (7.1.20)$$

Suyuqlikning eyenergiyasini differensial tenglamasini ham energiyaning saqlanish qonuniga asosan yuqoridagi metod yordamida aniqlash mumkin.

Agar paralelopipedning tomonlari orqali issiqlik uzatishda dV hajmiga va qizigan suyuqlik oqimi bilan konveksiya tufayli issiqlik oqimi bilan issiqlik

almashinuvi sodir bo'lsa, u holda $d\tau$ vaqt davomida X o'qiga nisbatan issiqlik uzatish bilan oqib o'tadigan suyuqlikni issiqlik miqdori:

$$\delta Q_{\lambda X} = \left(-\lambda \frac{dt}{dx}\right) dx dz d\tau \quad (7.1.21)$$

Konveksiya tufayli oqib o'tadigan suyuqlikni issiqlik miqdori:

$$\delta Q_{KX} = (\rho \vartheta_X h) dy dz d\tau \quad (7.1.22)$$

ga teng bo'lib, bu yerda $h = C_p t$ –suyuqlik entalpiyasidir. Bunda yig'indi issiqlik miqdori:

$$\delta Q_X = \delta Q_{\lambda X} + \delta Q_{KX} = \left(\rho \vartheta_X h - \lambda \frac{dt}{dx}\right) dy dz d\tau \quad (7.1.23)$$

ga teng bo'ladi.

Bu yerda ham (16.17) formulaga o'xshash parallelepipedning chap tomonidan kiradigan issiqlik miqdori δQ_x va o'ng tomondan chiqib ketadigan issiqlik miqdori δQ_{x+dx} larning farqi

$$\delta Q_x - \delta Q_{x+dx} = \frac{\partial}{\partial x} (\delta Q_{KX}) dx = \left[\lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} - \rho \left(\vartheta_X \frac{\partial h}{\partial x} + h \frac{\partial \vartheta_X}{\partial x} \right) \right] dx dy dz d\tau \quad (7.1.24)$$

ga teng bo'ladi.

Umumiy holatda $d\tau$ vaqt davomida parallelepipedning hamma tomonlari orqali o'tadigan issiqlik miqdorini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\delta Q = \left[\lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) - \rho \left(\vartheta_X \frac{\partial h}{\partial x} + \vartheta_Y \frac{\partial h}{\partial y} + \vartheta_Z \frac{\partial h}{\partial z} \right) \right] dV d\tau \quad (7.1.25)$$

Termodinamikaning I qonuniga asosan δQ issiqlik suyuqlik entalpiyasini o'zgarishiga sarf bo'ladi, ya'ni entalpiyaning o'zgarish tezligi $\frac{\partial J}{\partial \tau}$ desak, u holda

$$dJ = \left(\frac{\partial J}{\partial \tau} \right) \partial \tau = \rho \left(\frac{\partial h}{\partial \tau} \right) dV d\tau \quad (7.1.26)$$

(7.1.21) va (7.1.22) formulalardagi ifodalarni o'ng tomonlarini o'zaro tenglashtirsak v h ni $S_p t$ bilan almashtirsak differensial tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \left(\vartheta_X \frac{\partial t}{\partial x} + \vartheta_Y \frac{\partial t}{\partial y} + \vartheta_Z \frac{\partial t}{\partial z} \right) = \frac{\lambda}{S_p t} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (7.1.27)$$

bunda

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} = \nabla^2$$

operator desak (16.26) formula quyidagi ko‘rinishni oladi va

$$\frac{D}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial \tau} + \vartheta_x \frac{\partial}{\partial x} + \vartheta_y \frac{\partial}{\partial y} + \vartheta_z \frac{\partial}{\partial z} \quad (7.1.28)$$

hamda $\frac{\lambda}{s_{\rho} t} = \alpha$ temperatura o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti desak ($\alpha - m^2/s$), u

holda energiyaning differensial tenglamasi

$$\frac{Dt}{dt} = \alpha \nabla^2 t \quad (7.1.29)$$

formulaga Furrye – Kirxgof tenglamasi deyiladi.

Suyuqlikning harakat differensial tenglamasi

$$\rho \frac{DW}{dt} = \rho g - \nabla \rho + \mu \nabla^2 W \quad (7.1.30)$$

ko‘rinishida ifodalanadi.

Differensial tenglamalar sistemalarining xarakteristikasida quyidagi shartlar bo‘lsagina, ularni bir qiymatli deb atash mumkin:

Fizikaviy sharti-muhitning teplofizik holatini xarakterlaydi, $C_{\rho}, \rho, \lambda, \beta, \alpha, v$.

Geometrik sharoiti-sistemaning shakli, o‘lchamlarini xarakterlaydi.

Vaqt sharoiti – nostatsionar jarayonlar uchun.

Chegara shartlari.

Issiqlik oqimi sistemaning yuzasi orqali uzatiladigan bo‘lsa $\partial \tau$ vaqt ichida uning miqdori

$$\delta Q_x = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_{n \rightarrow 0} dF \alpha \tau \quad (7.1.31)$$

Shunga ko‘ra konvektiv issiqlik almashinuv uchun Nyuton Rixman formulasi

$$\delta Q_r = \alpha (t_c - t_m) dF d\tau \quad (7.1.32)$$

ga teng bo‘ladi. (16.26) ni (16.27) ga tenglashtirsak

$$\alpha = \frac{\lambda}{t_c - t_m} \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_{n \rightarrow 0} \quad (7.1.33)$$

(32) formulaga issiqlik berishning berishning differensial tenglamasi deyiladi va bu tenglamani yechish kamyuter dasturi yordamida bajariladi.

Demak, amalda tajribadan olingan natijalarni ishlab chiqish talab etilsa, o‘xshashlik nazariyasining kriterial tenglamalaridan foydalaniladi. Bu tenglamani tadbiq etishda yuqoridagi to‘rt shart bajarilishi lozim.

7.2. Issiqlik almashuv apparatlari.

Issiqlikni issiq issiqlik tashuvchidan (gaz) sovuq issiqlik tashuvchiga uzatib beradigan qurilmalarga issiqlik almashuv apparatlari deyiladi.

Issiqlik almashuv apparatlarini ishlash usuliga ko‘ra rekuperativ, regenerativ va aralastiruvchi apparatlarga bo‘lish mumkin.

Aralastiruvchi issiqlik almashuv apparatlarda issiqlik almashuvi issiq va sovuq issiqlik tashuvchilarning bir-biriga bevosita tegishi va aralashishi yo‘li bilan amalga oshiriladi. Aralastiruvchi issiqlik almashuv apparatlariga gradirnyalar, skrubberlar va boshqa qurilmalar misol bo‘la oladi.

Regenerativ issiqlik almashuv apparatlarida isitish (yoki sovitish) sirtining o‘zi vaqti-vaqti bilan gox qaynoq, goh sovuq issiqlik tashuvchi bilan yuvib turilishi bilan issiqlik almashuvi amalga oshiriladi. Dastlab regenerativ kanallaridan qizigan issiqlik tashuvchi (domna va marten pechlari, vagrankalar va boshqalar) dagi yonish maxsulotlari yuboriladi.

Regenerativ isitish sirti qizigan gazlardan issiqlik olib isiydi, so‘ngra bu issiqlikni sovuq issiqlik tashuvchiga beradi.

Regenerativ issiqlik almashuv apparatlari metallurgiya, shisha pishirish va shunga o‘xshash qizigan havo beriladigan boshqa pechlarda ishlatiladi.

Rekuperativ issiqlik almashuv apparatlarida issiqlik issiq sovuqlikdan sovuq suyuqlikka qattiq sirt orqali uzatiladi. Masalan, bug‘ generatorlari, bug‘ qizdirgichlar, suv isitgichlar va boshqalar. Rekuperativ issiqlik almashuv apparati to‘g‘ri oqimli, teskari oqimli va ko‘ndalang oqimli apparatlarga bo‘linadi.

To‘g‘ri oqimli issiqlik almashuv apparatlarida issiq va sovuq muhitlar o‘zaro bir tomonga parallel ravishda oqadi.

Teskari oqimli apparatlarida bir-biriga qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi.

Issiqlik almashuv apparatlari hisoblashda issiqlik balansi tuziladi va uning yuzasi aniqlanadi.

$$Q = G_1 C_{p1} (t_1' - t_1'') = G_2 C_{p2} (t_2'' - t_2'), [Vt] \quad (7.2.1)$$

Bu yerda: G_1 – issiq suyuqlik sarfi, kg/s; G_2 – sovuq suyuqlik sarfi, kg/s; S_{R1} – issiq suyuqlikning issiqlik sig‘imi, kJ/kg°C; S_{R2} – sovuq suyuqlikning issiqlik

sig'imi, $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$; t'_1 – issiq suyuqlikning apparatga kirishdagi harorati, $^\circ\text{C}$; t''_1 – issiq suyuqlikning apparatdan chiqishdagi harorati, $^\circ\text{C}$; t'_2 – sovuq suyuqlikning apparatga kirishdagi harorati, $^\circ\text{C}$; t''_2 – sovuq suyuqlikning apparatdan chiqishdagi harorati, $^\circ\text{C}$; Issiqlik almashuv yuzasi issiqlik uzatish ifodasidan topiladi.

$$Q = K\Delta t_{\log} F [Vt] \quad (7.2.2)$$

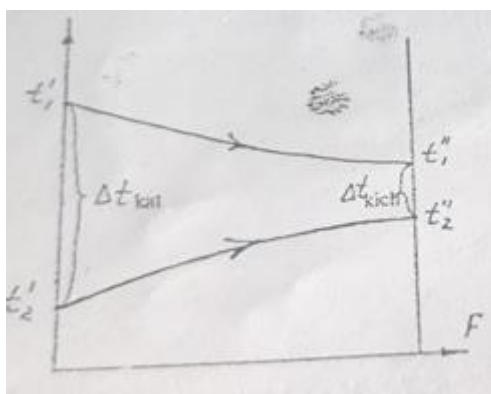
bu yerda K – issiqlik uzatish koeffitsiyenti; Vt/m^2K ; Δt_{\log} – o'rtacha logarifmik haroratlar farqi, $^\circ\text{C}$; F – sirt yuzasi, m^2 .

O'rtacha logarifmik haroratlar farqi haroratlar grafigi yordamida aniqlanadi.

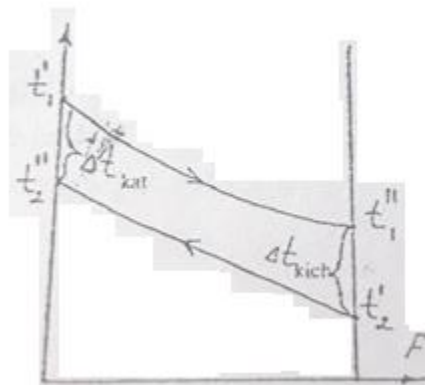
$$\Delta t_{\log} = \ln \frac{\frac{\Delta t_{kat} - \Delta t_{kich}}{\Delta t_{kat}}}{\Delta t_{kat}} \quad (7.2.3)$$

bu yerda: Δt_{kat} – katta haroratlar farqi; Δt_{kich} – kichik haroratlar farqi.

Masalan, to'g'ri oqimli harorat uchun $\Delta t_{kat} = t'_1 - t'_2$; $\Delta t_{kich} = t''_1 - t''_2$



7.2.1- rasm. To'g'ri oqimli



7.2.2- rasm. Teskari oqimli

Masalalar.

1. Ichki yonuv dvigatelining teskari yo'nalishli suvli moy sovutgichiga moy 65°C gacha sovitiladi. Sovituvchi suvning kirishdagi harorati 16°C va chiqishdagi harorati 25°C . Moyning sarfi $0,8 \text{ kg/sek}$. Issiqlik uzatish koeffitsiyenti $280 Vt/m^{20}\text{C}$, moyning issiqlik sig'imi $2,45 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$. Issiqlik almashuv yuzasini va sovuq suvning sarfini toping.

Yechish:

$$Q = G_1 C_{p1} \Delta t_1 = 0,8 \cdot 2,45 (65 - 55) = 19,6 \text{ kv}t$$

$$\Delta t = \ln \frac{\Delta t_{kat} - \Delta t_{kich}}{\Delta t_{kich}} = \ln \frac{(65-55) - (55-16)}{55-16} = 39,5^{\circ}\text{C}$$

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{19600}{280 \cdot 39,5} = 1,77 \text{ m}^2$$

$$G = \frac{Q}{C_{P2} \cdot \Delta t_2} = \frac{19,6}{4,19 \cdot 9} = 0,52 \text{ kg/sek.}$$

2. MS markali moy sovitish apparatida moy 70°C dan 30°C gacha sovitiladi. Sovituvchi suvning kirishdagi xarorati 20°C ga teng. Moyning sarfi $G_1 = 10000$ kg/soat va suvning sarfi $G_2 = 20400$ kg/soat. Moy sovitish apparatidan chiqqan suvning haroratini aniqlang.

Javob: $t_2'' = 30^{\circ}\text{C}$.

3. Suv ekonomayzerida gaz bilan suv qarama-qarshi yo'nalishlarda harakatlanib, bir-biri bilan issiqlik almashmoqda. Gazning sarfi $G_1 = 220$ t/soat, gazning ekonomayzeri kirishdagi harorati $t_1^1 = 400^{\circ}\text{C}$, gazning massaviy issiqlik sig'imi $C_{P1} = 1,04$ kJ/kgK. Suvning sarfi $G_2 = 120$ t/soat, suvning ekonomayzerga kirishdagi harorati $t_2^1 = 105^{\circ}\text{C}$, gazdan suyuqlikka uzatiladigan issiqlik oqimi $Q = 13,5$ MVt, gazdan suvga issiqlik uzatish koeffitsiyenti $k = 79$ Vt/m²K. Suv ekonomayzeridagi issiqlik almashish yuzasi topilsin.

Javob: $F = 1100 \text{ m}^2$

4. "Quvur-quvurda" turidagi qarama-qarshi yo'nalishli issiqlik almashuv apparatida suv 15°C dan 45°C gacha isitiladi. Suvning sarfi $G_2 = 3200$ kg/soat. Tashqi quvurning ichki diametri $D = 48$ mm va bitta seksiya quvurining uzunligi $l = 1,9$ m. Issiq suv diametri $d_2/d_1 = 35/32$ mm bo'lgan po'lat quvurda xarakatlanib kirishdagi xarorati $t_1^1 = 95^{\circ}\text{C}$ ga teng. Issiq suvning sarfi $G_1 = 2130$ kg/soat. "Quvur-quvurda" qarama qarshi oqimli issiqlik almashuv apparatining isitish yuzasini va seksiyalar sonini aniqlang.

Javob: $F = 1100 \text{ m}^2, n = 7$.

Yechish:

Suvning issiqlik sig'imi $c_p = 4,19$ kJ/kg $^{\circ}\text{C}$.

Issiqlik miqdori:

$$Q = G_2 c_{p2} (t_{s2}'' - t_{s2}') = \frac{3200}{3600} 4,19 (45 - 15) = 111 \text{ kVt}$$

$$\text{Issiq suvning chiqishdagi harorati: } t_1'' = t_1' - \frac{Q}{G_1 c_{p1}} = 95 - \frac{111 \cdot 3600}{2130 \cdot 4,19} = 50^\circ\text{C}$$

Issiqlik tashuvchilarning o'rtacha haroratini aniqlaymiz va shu harorat bo'yicha jadvallardan suvning fizik xususiyatlarini olamiz:

$$\begin{aligned} t_{s1} &= 0,5(t'_{s2} + t''_{s2}) = 0,5(95 + 50) = 72,5^\circ\text{C} \\ \rho_{s1} &= 976 \text{ kg/m}^3; \nu_{s1} = 0,403 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ \lambda_{s1} &= 0,670 \text{ Wt/(m} \cdot ^\circ\text{C)}; Pr_{s1} = 2,47 \\ t_{s2} &= 0,5(t'_{s2} + t''_{s2}) = 0,5(15 + 45) = 30^\circ\text{C} \\ \rho_{s2} &= 996 \text{ kg/m}^3; \nu_{s2} = 0,805 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ \lambda_{s2} &= 0,618 \text{ Wt/(m} \cdot ^\circ\text{C)}; Pr_{s2} = 5,42 \end{aligned}$$

Issiqlik tashuvchilarning tezligi

$$W_1 = \frac{4G_1}{\rho_{c1} \pi d_1^2 3600} = \frac{4 \cdot 2130}{976 \cdot 3,14 (3,2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 3600} = 0,755 \text{ m/s}$$

$$W_2 = \frac{4G_2}{\rho_{s2} \pi (D^2 - d_1^2) 3600} = \frac{4 \cdot 2130}{996 \cdot 3,14 (4,8^2 - 3,5^2) 10^{-4} \cdot 3600} = 1,06 \text{ m/s}$$

Issiq suv oqimi uchun reynolds soni

$$Re_{s1} = \frac{\omega_1 d_1}{\nu_{s1}} = \frac{0,755 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2}}{0,403 \cdot 10^{-6}} = 6 \cdot 10^4$$

Issiq suv oqimi uchun turbulent holatda Nusselt sonini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} Nu_{s1} &= 0,021 Re_{s1}^{0,8} Pr_{s1}^{0,43} \left(\frac{Pr_{s1}}{Pr_{s1}} \right)^{0,25} \\ Nu_{s1} &= 0,021 (6 \cdot 10^4)^{0,8} (2,47)^{0,43} \left(\frac{2,47}{3,5} \right)^{0,25} = 188 \end{aligned}$$

Sovuq suv oqimi uchun Reynolds sonini aniqlaymiz:

$$Re_{s2} = \frac{\omega_2 d_e}{\nu_{s2}} = \frac{1,06 \cdot 1,3 \cdot 10^{-2}}{0,805 \cdot 10^{-6}} = 1,71 \cdot 10^4$$

Bu yerda kanal uchun ekvivalent diametr:

$$d_c = D - d_2 = 48 - 35 = 13 \text{ mm.}$$

Sovuq suv oqimi uchun turbulent holatda Nusselt sonini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} Nu_{s2} &= 0,017 Re_{s2}^{0,8} Pr_{s2}^{0,4} \left(\frac{Pr_{s2}}{Pr_{s2}} \right)^{0,25} \frac{D^{0,18}}{d_2} \\ Nu_{s2} &= 0,017 (1,71 \cdot 10^4)^{0,8} (5,42)^{0,4} \left(\frac{5,42}{3,5} \right)^{0,25} \left(\frac{48}{35} \right)^{0,18} = 95 \end{aligned}$$

Quvur devoridan sovuq suvga issiqlik berish koeffitsiyenti:

$$\alpha_2 = Nu_{s2} \frac{\lambda_{s2}}{d_e} = 958 \frac{0,618}{1,3 \cdot 10^{-2}} = 4500 \text{ Vt}/(m^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Issiqlik uzatish koeffitsinti:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_g}{\lambda_g} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{3940} + \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{45} + \frac{1}{4500}} = 1970 \text{ Vt}/(m^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Bu holatda $\frac{t'_{s1} - t''_{s2}}{t'_n - t'_s} = \frac{50}{35} < 1,5$ bo'lgani uchun o'rtacha arifmetik haroratlar

farqi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta t_a = \frac{50+35}{2} = 42,5^\circ\text{C}$$

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q = K \Delta t_a = 1970 \cdot 42,5 = 8,37 \cdot 10^4 \text{ Vt}/m^2.$$

Isitish sirt yuzasi:

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{111}{83,7} = 1,33 m^2$$

Seksiyalar soni:

$$n = \frac{F}{\pi d_1 l} = \frac{1,33}{\pi \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1,9} = 7$$

5. "Quvur-quvurda" issiqlik almashuv apparatida transformator moyi suv bilan sovutiladi. Diametri $d_2/d_1 = 14/12\text{mm}$ bo'lgan latun quvurida transformator moyi 4 m/s tezlik bilan harakatlanadi. Moyning kirishdagi harorati $t_1^1 = 100^\circ\text{C}$ va chiqishdagi harorati $t_1^{11} = 60^\circ\text{C}$. Suvning tezligi 2,5 m/s va kirishdagi harorati $t_2^1 = 20^\circ\text{C}$. Tashqi quvurning ichki diametri $d_3 = 22 \text{ mm}$. Issiqlik almashuv sirtining uzunligini toping.

Javob: $l = 11,6 \text{ m}$.

6. Qarama-qarshi yo'nalishli issiqlik almashuv apparatidagi issiq suvning kirishdagi harorati 80°C , chiqishdagi harorati 60°C , va sarfi $G_1 = 2 \text{ kg/s}$. Sovuq suvning kirishdagi harorati 10°C va sarfi $G_2 = 0,75 \text{ kg/s}$. Issiqlik berish koeffitsiyentlari $\alpha_1 = 2000 \text{ Vt}/m^2\text{K}$, $\alpha_2 = 4000 \text{ Vt}/m^2\text{K}$ va devorning termik qarshiligi $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{100}$ ma'lum bo'lsa, issiqlik almashuv apparatining sirt yuzasini aniqlang.

Javob: $F = 4,24 m^2$.

7.3. Quvurlarda majburiy oqimda issiqlik berish.

Suyuqlik quvur bo‘ylab harakatlanganda oqimga qarshilik kuchlari ta’sirida suyuqlik harakati butun quvur ko‘ndalang kesimi va uzunligi bo‘ylab o‘zgarib boradi. Suyuqlik oqimi turbulent va laminar holatda bo‘lishi mumkin. Suyuqlikning fizik xususiyatlari o‘zgarishi tufayli laminar oqimda ($Re \leq 2300$) noizotermik harakatda ikkita holat bo‘lishi mumkin- qovushqoq va gravitatsion qovushqoq.

Bunday harakatlar uchun issiqlik berish qonunlari har xil va ular har xil mezon tenglamalari orqali izohlanadi.

Laminar gravitatsion –qovushqoq holatda harakatlanayotgan issiqlik tashuvchining o‘rtacha issiqlik berish koeffitsiyentining tahminiy qiymatini quyidagi formula orqali hisoblash mumkin:

$$Nu_{sd} = 0,15Re_{sd}^{0,33} \cdot Pr_s^{0,33} (Gr_{sd} \cdot Pr_s)^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_s}{Pr_\theta}\right)^{0,25} \cdot \varepsilon_e \quad (7.3.1)$$

Bu yerda: ε_e –quvur uzunligi ℓ ning diametri d ga nisbatini hisobga oluvchi tuzatma.

ε_e ning λ/d kattalikka bog‘liq ravishdagi qiymatlari jadvaldan ko‘rsatilgan.

O‘xshashlik mezonlaridagi indeks suyuqlikning yoki devorning o‘rtacha haroratlariga tegishliligini ko‘rsatadi. (d –devor; s –suyuqlik).

Suyuqlik turbulent ($Re \geq 10000$)harakatlanganda, $\ell/d > 50$ bo‘lsa,

Issiqlik berish koeffitsiyentining o‘rtacha qiymati α ni quyidagi formula orqali topish mumkin.

$$Nu_{sd} = 0,02Re_{sd}^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_s}{Pr_\theta}\right)^{0,25} \quad (7.3.2)$$

Pr_d –devordagi suyuqlikning o‘rtacha hararati bo‘yicha olinadi.

To‘g‘ri tekis quvurda turbulent harakat qilayotgan gazning issiqlik berish koeffitsiyentini quyidagi formula orqali hisoblash mumkin.

$$Nu_{s(x/d)} = 0,022Re_{s(x/d)}^{0,8} \cdot Pr_s^{0,43} \cdot \varepsilon_\lambda \quad (7.3.3)$$

Agar $(x/d \geq 15)$ bo‘lsa, $\varepsilon_\lambda \approx 1$ va $(x/d) < 15$ bo‘lsa, $\varepsilon_\lambda = 1,38 (x/d)^{0,12}$ ga teng bo‘ladi.

Agar quvur diametri dumaloq bo‘lmasa yoki ilonsimon shaklda bo‘lsa, hisoblashda bu e‘tiborga olinishi kerak.

Erkin harakatlanishda issiqlik berilishi. Gravitatsion kuch ta‘sirida erkin harakat hosil bo‘ladi. Harakatlar turbulent va laminar bo‘lishi mumkin.

Erkin laminar harakatda vertikal devorning issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formula orqali topiladi.

$$Nu_{sx} = 0,6(Gr_{sx}Pr_s)^{0,25} \left(\frac{Pr_s}{Pr_\partial}\right)^{0,25} \quad (7.3.4)$$

Laminar oqimda $t_s = const$ bo‘lganda vertikal devorning issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formula bilan hisoblanadi.

$$Nu_{s,\ell} = 0,63(Gr_{s,\ell}Pr_s)^{0,25} \left(\frac{Pr_s}{Pr_\partial}\right)^{0,25} \quad (7.3.5)$$

Suyuqlik gorizontaal quvur atrofida erkin laminar harakatlanganda o‘rtacha issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$Nu_{s,d} = 0,5(Gr_{s,d}Pr_s)^{0,25} \left(\frac{Pr_s}{Pr_\partial}\right)^{0,25} \quad (7.3.6)$$

Rivojlangan turbulent harakat ($Gr_{s,x}Pr_s$) bo‘lgan vertikal devor bo‘ylab erkin harakatlanishda issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formula orqali topiladi:

$$Nu_{s,x} = 0,15(Gr_{s,x}Pr_s)^{0,53} \left(\frac{Pr_s}{Pr_\partial}\right)^{0,25} \quad (7.3.7)$$

(7.3.2), (7.3.3), (7.3.4), (7.3.5), (7.3.6) formulalarda aniqlanuvchi harorat deb qizigan yuzadan uzoqroqdagi harorat qabul qilinadi.

(7.3.2) va (7.3.6) formulalarda aniqlanishi kerak bo‘lgan kattalik sifatida x qabul qilingan. x – devorning boshidan boshlab issiqlik berish koeffitsiyenti aniqlanuvchi maydonga bo‘lgan masofa, (209) ifodada 1- devor uzunligi, (7.3.4) formulada esa d – quvurning tashqi diametri,

Agar suyuqlik hajmi katta bo‘lmasa, devor har xil kichik teshiklar bilan chegaralangan bo‘lsa, bu chegaralangan hajm deb ataladi. Bunda issiqlik berish koeffitsiyenti suyuqlikning turiga, uning harakati, devorlar orasidagi haroratlar farqi teshiklarning geometrik kattaliklariga bog‘liq bo‘ladi.

Amaliy hisobda ko‘pincha suyuqlik qatlamidan issiqlik oqimini topish kerak bo‘ladi. Bunday sharoitda chegaralangan hajmdagi qo‘sh jarayonlar issiqlik o‘tkazuvchanlikning ekvivalent jarayoniga almashtirib hisoblanadi:

$$q = (\lambda_{ekv}/\delta)(t_{\partial_1} - t_{\partial_2}), \text{ Vt/m}^2 \quad (7.3.8)$$

bu yerda: λ_{ekv} – chegaralangan hajmda issiqlik o‘tkazuvchanlik va konveksiya bilan issiqlik o‘tishini hisobga oluvchi issiqlik o‘tkazuvchanlikning ekvivalent koeffitsiyenti,

$$\lambda_{ekv} = e_k \lambda \quad (7.3.9)$$

bu yerda: λ – suyuqlikning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Vt/mK;

e_k – issiqlik o‘tishida konveksiyaning ta’sirini ifodalovchi koeffitsiyent.

$(Cr - Pr)_d > 10^3$ bo‘lgan aniqlikda $\varepsilon_k = 0,8(Cr - Pr)_d^{0,25}$ deb qabul qilish mumkin.

Aniqlanuvchi harorat sifatida:

$$t_j = 0,5(t_{\partial_1} - t_{\partial_2}), \text{ }^\circ\text{C bo‘ladi.} \quad (7.3.10)$$

Aniqlanuvchi kattalik qilib teshik qalinligi δ_m qabul qilingan. Gorizontall teshik bo‘lgan sharoitda yuqori yuzasining harorati pastki qismdagi haroratdan yuqori bo‘ladi. Suyuqlik harakat qilmaydi va $\lambda_{ekv} = \lambda$, konvektiv issiqlik almashuvi qiymati nolga teng bo‘ladi.

Masalalar.

1. Gorizontall issiqlik almashuv apparatining diametri $d = 400$ mm, sirtning harorati $t_{q.c} = 200^\circ\text{C}$ va xonadagi havoning harorati $t_h = 30^\circ\text{C}$ ga teng bo‘lganda vaqt birligi ichida 1 m^2 gorizontall issiqlik almashuv apparati sirtidan o‘tgan issiqlikni aniqlang.

Javob: $q = 1000 \text{ Vt/m}^2$.

Yechish:

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q = \alpha(t_{q.c} - t_s)$$

Erkin konveksiya uchun issiqlik berish koeffitsiyenti:

$$Nu = 0,5(Gr_s Pr_s)^{0,25}$$

Havo haroratida $t_x = 30^\circ\text{C}$ parametrlarni jadvaldan olamiz:

$$\gamma = 16,0 \cdot 10^{-6}, m^2/s; \lambda = 2,67 \cdot 10^{-2} \text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\beta = 1/T = 1/30 + 273 = 1/303 \text{ K}^{-1}; Pr = 0,701$$

$$(Gr_s Pr_s) = \frac{g\beta\Delta t d^3}{\nu^2} Pr_s = \frac{9,81 \cdot (200-30) \cdot 0,4^3}{303(16 \cdot 10^{-6})} \cdot 0,701 = 9,75 \cdot 10^8$$

$$Nu = 0,5(Gr_s Pr_s)^{0,25} = 0,5(9,75 \cdot 10^8)^{0,25} = 88,2$$

Bu yerdan issiqlik berish koeffitsiyentini $\text{Wt/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ topamiz:

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d} = 88,2 \frac{2,67 \cdot 10^{-2}}{0,4} = 5,9 \text{ Wt/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

Vaqt birligi ichida 1 m^2 issiqlik almashuv sirtidan o'tgan issiqlik

$$q = \alpha(t_{q,c} - t_s) = 5,9(200 - 30) = 1000 \text{ Wt/m}^2$$

2. Agar plita sirtining harorati $t_{q,c} = 100^\circ\text{C}$ va atrof-muhitning harorati

$t_x = 20^\circ\text{C}$ ga teng bo'lsa, balandligi 2 m bo'lgan vertikal plitaning issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlang.

Javob: $\alpha = 7,92 \text{ Wt/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

3. Moy bakidagi MS markali moy diametri 20 mmli gorizontalar quvurlar yordamida bir xil haroratda saqlanadi. Moyning harorati $s = 60^\circ\text{C}$ va quvur sirtidagi harorat $t_{q,c} = 90^\circ\text{C}$ bo'lganda quvur sirtidan moyga berilgan issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlang. $\alpha = 96,2 \text{ Wt/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

4. Kvadrat kesimli kanalning eni $a = 10 \text{ mm}$ va uzunligi $l = 1600 \text{ mm}$ ga teng. Kanaldan suv $w = 4 \text{ m/c}$ tezlikda oqib o'tadi. Suvning harorati $s = 40^\circ\text{C}$ va kanalning ichki sirtidagi harorat $t_{q,c} = 90^\circ\text{C}$ bo'lganda kanal devoridan suvga issiqlik berish koeffitsiyenti va issiqlik oqimini aniqlang.

Javob: $\alpha = 20300 \text{ Wt/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, $Q = 50994 \text{ Wt}$.

Yechish:

Kanalning ekvivalent diametrini aniqlaymiz:

$$d_e = \frac{4f}{p} = \frac{4a^2}{4a} = a = 0,01 \text{ m}$$

bu yerda f – kanalning yuzasi, m^2 , p – kanalning perimetri, m.

Suvning $t_s = 40^\circ\text{C}$, haroratida fizik hususiyatlari:

$$v_s = 0,659 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}; \lambda_s = 0,634 \text{ Vt/m} \cdot ^\circ\text{C}. Pr_s = 4,3$$

$$t_{q.c} = 90^\circ\text{C} \text{ da } Pr_{q.s} = 1,95$$

Reynolds soni:

$$Re = \frac{wd_e}{\nu} = \frac{4 \cdot 0,01}{0,659 \cdot 10^{-6}} = 6,07 \cdot 10^4 > 10^4$$

Harakat holati –turbulent

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr_s}{Pr_{k,s}} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,021(6,07 \cdot 10^4)^{0,8} (4,3)^{0,43} \left(\frac{4,3}{1,95} \right)^{0,25} = 320$$

Issqlik berish koefitsiyenti

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d_1} = 320 \frac{0,634}{0,01} = 20300 \frac{\text{Vt}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Issqlik oqimi:

$$Q = \alpha(t_{q.c} - t_s)\pi dl = 20300(90 - 60)3,14 \cdot 0,01 \cdot 1,6 = 50994 \text{ Vt.}$$

6. Uzunligi $l = 2 \text{ m}$ va eni $a = 1,5 \text{ m}$ gorizantal plastinadan havo oqimi o'tadi.

Havo oqimining tezligi $w = 3 \text{ m/s}$, harorati 20°C va plastina sirtidagi harorat 90°C ga teng. Plastinadan havoga issiqlik berish koefitsiyentini va issiqlik miqdorini aniqlang.

Javob: $\alpha = 4,87 \frac{\text{Vt}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} Q = 2050 \text{ Vt.}$

7. Ichki diametri $d = 50 \text{ mm}$ bo'lgan quvurdan suv $w = 0,8 \text{ m/s}$ tezlikda oqib o'tadi. Suvning harorati $s = 50^\circ\text{C}$ quvur sirtidagi harorat $t_{q.c} = 65^\circ\text{C}$ bo'lganda 1 m quvur sirtidan o'tgan issiqlikni aniqlang.

Javob: $q_\lambda = 9,03 \text{ kVt/m.}$

8. Tashqi diametri $d = 15 \text{ mm}$ bo'lgan suv kalorimetridan havo oqimi ko'ndalangiga oqib o'tadi. Havo kalorimetr o'qiga 90° burchak ostida 2 m/s tezlik bilan harakatlanadi. Havoning xarorati 20°C va kalorimetr tashqi sirtining harorati $t_{q.c} = 80^\circ\text{C}$ ga teng. Issiqlik berish koefitsiyenti va birlik uzunlikdagi issiqlik oqimini aniqlang.

Javob: $\alpha = 36,3 \text{ Vt/2m}^2 \cdot ^\circ\text{C}, q_\lambda = 102 \text{ Vt/m.}$

VII-bob bo'yicha nazorat savollari.

1. Issiqlik almashuv apparatlari deb qanday apparatlarga aytiladi?
2. Issiqlik almashuv apparatlari nechta turga bo'linadi?
3. Nima uchun issiqlik balansi tuziladi?
4. Issiq tashuvchilarning yo'nalishi bo'yicha issiqlik almashuv apparatlari nechta turga bo'linadi?
5. Issiqlik almashuv apparatlarining issiqlik hisobi qaysi ifoda orqali olib boriladi?
6. Konvektiv issiqlik almashuvi haqida tushuncha bering.
7. O'xshashlik nazariyasi nima uchun kiritilgan?
8. Issiqlik berish koeffitsiyenti nimalarga bog'liq?
9. Quvurlarda issiqlik berish qanday sodir bo'ladi?
10. Erkin harakatlanishda issiqlik berilishi qanday sodir bo'ladi?
11. Majburiy harakatlanishda issiqlik berilishi qanday sodir bo'ladi?
12. Nusselt mezoni nimani ifodalaydi?
13. Laminar va turbulent oqim nima?

ADABIYOTLAR RO'YHATI

1. Будникова И.К “Теория и практика научного эксперимента ”Учебное пособие Казан 2014 (“Казанский государственный энергетический университет”).
2. В.А. Осилова Экспериментальное исследование процессов теплообмена М: “Энергия”1980. 302 с.
3. Л.А. Коздоба, П.Г. Круковский Методы решения обратных задач теплопереноса. Киев “Наукова думка” 1993. 200 с.
4. Кузнецов И.Н. Основы научных исследований: учеб. Пособие И.Н. Кузнецов. – М.: Дашков и К, 2014, -284 с.
5. Сменов Б.А. Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс]: учеб пособие для вузов /А.Б. Семенов. -2-е изд., доп. – СПб.: Лань, 2013.-400 с.- Режим доступа: [www. Ланбук.ру](http://www.lanbook.ru).
6. Рыжков И.Б. Основы научных исследований и изобретательства [Электронный ресурс]: учеб. Пособие для вузов /И.Б. Рыжков. -2-е изд., стер.- СПб.: Лань, 2013.-224 с.- Режим доступа: [www. Ланбук.ру](http://www.lanbook.ru).
7. Тихонов В.А. Основы научных исследований: теория и практика: учеб. Пособие для вузов /В.А. Тихонов. – М.: Гелиос АРВ, 2006.-235 с.
8. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе статистика /В.П. Боровиков. –М.: Финансы и статистика, 2012.- 427 с.
9. Зохидов РА, Айлмова М.М., Мавжудова Ш.С. “Иссиқлик техникаси” Ўзбекистон файласуфлари миллий жамияти нашриёт Тошкент 2010.180 бет.
10. Халафян А.А. Математическая Статистика с элементами теории вероятностей: учебник для вузов /А.А. Халафян. – М.: Бином, 2010. 356 с.

11. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов /Н.Ш. Кремер.- 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Юнити-дана, 2007.-551 с.
12. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных: учеб. Пособие для вузов / А.П. Кулаичев. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Инфра, 2006.-512 с.
13. Галеев Э.Р. Моделирование систем: метод. указания / Э.Р. Галеев, В.В. Елизаров, В.И. Елизаров. – Нижнекамск: филиал КГТУ, 2009. – 89 с.
14. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций: учеб. Пособие для вузов / Э.А. Вуколов. –М.: ИНФРА-М, 2004.- 464 с.
15. Cox D R. Kcid N. The Plicory of the Design of experiments. Boca Raton London New York Washington. D.C. 2000.pp. 167с.
16. Соатов Ё. У. Олий математика 2, 3, 4, 5, томлар. 1996 й.
17. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента М. 1974.
18. Асатурян В.И. Теория планирования эксперимента. М. 1983.
19. Гмурман В.И. Теория всроятностей и математическая статистика. 2006.
20. Румшинский Т.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.1971.
21. Закин Я.Х., Рашидов Н.Р. “Основы научного исследование” Т. 1981.
22. Шенк Х. “Теория инженерного эксперимента” М. 1972.
23. Лрутов В.И. и др. Основы научных исследований М.: «Высшая школа» 1989 398 с.
24. Бобойев.С.М. «ЖСЖТЖШ» Янги аср авлоди Т/: 2008 259 с.
25. Шашков А.Г. Системно структурный анализ процесса теплообмена и его применение М.: «Энерго-атомиздат» 1983 273 с.
26. Роговой М.И. и др. Расчеты и задачи по теплотехническому оборудованного промышленности строительных материалов М.: «Строиздат» 2005 301.

MUNDARIJA

SO'Z BOSHI	5
KIRISH	7
I BOB. O'LCHASH XATOLIKLARI VA O'LCHASH NATIJALARI TAXLILINI BERISH	11
1.1. O'lchashlar va o'lchash xatoliklari	11
1.2. Xatolik turlari	12
1.3. Bevosita o'lchash natijalarining xatoligini hisoblash	14
1.4. Bilvosita o'lchash natijalarining xatoligi	17
1.5. O'lchashlarning to'liq xatoligi	18
1.6. O'lchash natijalarini yozish	20
1.7. Amaliy ishlarni hisobot uchun tayyorlashga talablar	21
1.8. Kirish qismini rasmiylashtirish	22
1.9. O'lchash natijalarini yozish	22
II BOB. ENERGETIK RESURSLARNI ILM-FAN VA ISHLAB CHIQRISHDAGI O'RNI	24
2.1. Tajriba nazariyasi va amaliyotini qo'llanilish metodologiyasi	24
2.2. Tajribani nazariy asoslarini rivojlantirish "Tajribalar nazariyasi va amaliyoti" fanining qisqacha mazmuni, asosiy masalasi va boshqa fanlar bilan bog'lanishi, uning injenerlik mutaxassislari uchun ahamiyati tavsifi ...	34
2.3. Tajriba nazariyasi va amaliyoti fanini o'qitishda zamonaviy pedagogik va axborot kommunikatsion texnologiyalardan foydalanish metodlari	38
2.4. Tadqiqot sifatiga qo'yiladigan talablar, nostatsionar va statsionar issiqlik o'tkazuvchanlik	46
2.5. Binoning to'siq konstruksiyalari orqali issiqlik uzatish	52
2.6. Tajriba nazariyasi natijalarini qayta ishlash va umumlashtirish.	

Issiqlik almashinuvining issiqlik-fizikaviy jarayonlardagi masalalar	63
2.7. Tajribadagi o‘lchashlarning natijalari. O‘lchashlar va ulardagi xatoliklarning turlari	70
2.8. Bilvosita o‘lchashlar natijasining ishonchliligi mutloq va nisbiy xatoliklar	75
2.9. Absolyut va nisbiy xato. O‘lchamlarni aniqlash mezonlari. Funktsiya xatoliklarini differensial usul yordamida hisoblash	83
2.10. Muttasil va tasodifiy xatoliklarni birgalikda hisobga olish. O‘lchanayotgan kattalikni haqiqiy qiymatini baholari	94
II bob bo‘yicha nazorat savollari	104
III BOB. ISHONCHLI INTERVAL BAHOLAR	107
3.1. Tasodifiy miqdorlar taqsimoti. Taqsimot turlari	107
III bob bo‘yicha nazorat savollari	130
IV BOB. KORRELATSION REGRESSION ANALIZ	131
4.1. Chiziqli va egri chiziqli korreksiya	131
IV bob bo‘yicha nazorat savollari	138
V BOB. TASODIFIY MIQDORLAR	139
5.1. Normal taqsimot	139
V bob bo‘yicha nazorat savollari	154
VI BOB. TASHQI ISSIQLIK O‘TKAZUVCHANLIK	155
6.1. Molekulalarni tezliklarini issiqlik tizimi bilan bog‘liq taqsimoti	155
6.2. Tajriba ma‘lumotlari va emperik formulalar	171
6.3. Eksperimentni matematik asosda rejalashtirish va natijalarini tahlil qilish	177
6.4. Optimallashtirish mezonlarini tanlash bir faktorli va ikki faktorli dispersion tahlilini tajribada rejalashtirish	191
VI bob bo‘yicha nazorat savollari	207

VII BOB. KONVEKSIYA HODISASI. GAZ VA SUYUQLIKLARDA KONVEKSIYA	208
7.1. Erkin va majburiy konveksiya. Konvektiv issiqlik almashinuvning differensial tenglamasi	208
7.2. Issiqlik almashuv apparatlari	219
7.3. Quvurlarda majburiy oqimda issiqlik berish	224
VII bob bo'yicha nazorat savollari	229
Adabiyotlar ro'yxati	230