

A.M. POLATOV

KOMPYUTER VOSITASIDA MODELLASHTIRISH ASOSLARI



**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI**

**MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI
O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI**

A. M. POLATOV

**KOMPYUTER VOSITASIDA
MODELLASHTIRISH
ASOSLARI**

(O‘quv qo‘llanma)

**Toshkent
“Tafakkur avlodi”
2020**

UO‘K: 004.9(075.8)

KBK: 32.81v6

P 99

P 99 A. M.Polatov

Kompyuter vositasida modellashtirish asoslari

[Matn]: o‘quv qo‘llanma / A. M. Polatov. – Toshkent:

«Tafakkur avlodi», 2020. – 136 b.

Ushbu o‘quv qo‘llanmada kompyuter vositasida murakkab jarayonlarni modellashtirish nazariyasi asoslari, modellar va modellashtirish usullarining turlari tavsiflari va tizimlar imitatsion modellashtirishning har xil turlari keltirilgan. O‘quv qo‘llanma O‘zbekiston Milliy universiteti Algoritmilar va dasturlash texnologiyalari kafedrasida tayyorlangan va “Kompyuter vositasida modellashtirish” o‘quv dasturiga mos keladi.

Ma’sul muharrir:

f.-m.f.d., professor M.M.Aripov

Taqrizchilar:

f.-m.f.d., dotsent Sh.A. Sadullayeva

f.-m.f.d., professor N.A.Ignatyev

O‘quv qo‘llanma O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta-maxsus ta’lim vazirligini 2019-yil 20-iyuldagi 654-sonli buyrug‘iga asosan nashrga tavsiya etilgan (ro‘yxatga olish raqami 654-034)

UO‘K: 004.9(075.8)

KBK: 32.81v6

ISBN 978-9943-6690-5-5

© **A. M.Polatov**

© «Tafakkur avlodi», 2020

KIRISH

Mazkur o'quv qo'llanmaning maqsadi talabalarda amaliy masalalarni matematik modellashtirish jarayonlarini tahlil qilish, asosiy sifat ko'rsatkichlari bo'yicha baxolash va aksincha, berilgan talablarga javob beruvchi masalalarni yechish va natijalarni tahlil qilish uchun zarur bo'lgan asosiy bilim va ko'nikmalarni hosil qilishga yo'naltirilgan. Shunga binoan quyidaga asosiy vazifalarga e'tibor beriladi: talabalarga nazariy bilim berish, tegishli tushunchalar, kompyuterlar yordamida dastur ta'minoti yaratish jarayonlarini o'rgatish, olgan nazariy bilimlarini sozlashda tadqiqotni etib olish, ularda mantiqiy mushoxada qilish, fazoviy tasavvur hamda abstrakt tafakkur kabi, inson faoliyatining barcha sohalalaridagi jarayonlarining modellashtirish uchun zarur bo'lgan qobiliyatni shakllantirishdan iboratdir.

Mutaxassislik bo'yicha oldinga qo'yilgan masalalarni yechishda zarur dasturiy vositalarni to'g'ri tanlash va ulardan foydalana olish, olingan bilimlari asosida qo'yilgan masalalarni yechish, kompyuterlarning dasturiy ta'minotlari bilan tanishish, kompyuterning amaliy dasturlari bilan ishlay olish, zamonaviy kompyuter texnologiyalari vositalaridan foydalana olish hamda bilim va ko'nikmalariga ega bo'lish qo'llanmaning asosiy vazifasidir.

Mazkur o'quv qo'llanma "Kompyuter vositasida modellashtirish" va "Tizimlarni modellashtirish" fanlar doirasida ko'plab amaliy masalalar tahlil kilingan. Bu fanlarni chuqur o'rgangan har bir bakalavr olgan bilim va ko'nikmalaridan ilmiy-tadqiqot ishlarida, bank tizimida, ishlab chiqarishning turli jabhalarida, shuningdek, talim tizimida samarali foydalanish imkonini beradi.

O'quv qo'llanmada kompyuter vositasida modellashtirishning dastlabki tushunchalar, model va modellashtirish, jamiyat fikrining abstraktlanish jarayoni, kompyuter vositasida modellashtirish tushunchalari, bilish jarayonida va insonning amaliy faoliyatida modellashtirishning roli, matematik modelga misol sifatida matematik modelni ifodalash shakllari, matematik modelni qurish va ularni

3
ILM VA HADISA MARKAZI
VA IBERNVA INSTITUTI
BOROT RESURS MARKAZI

№ 60656

tadqiq qilish uslublari va ularga qo'yiladigan asosiy talablar yoritilgan. Matematik modellashtirishning asosiy bosqichlari, matematik modellarning adekvatligi, jarayonlari modellashtirishda tabiatning saqlanish qonunlaridan va boshqa usullaridan foydalanish. Mexanikaga oid murakkab jarayonlarni tadqiq qilishda matematik modellashtirishdan foydalanish. Shu bilan birga chekli elementlar usuli asoslari, diskret (chekli elementli) modellar qurish, uning asosida modellashtirish, murakkab tizimlarni modellashtirish, konseptual modellashtirish, modellashtirish tizimlarini tashkil qilish va qurish texnologiyalari, imitatsiyali modellashtirish, ommaviy xizmat to'rlari va tizimlari hisoblash mashinalari va diskret qurilmalarni modellashtirish usullari, uzluksiz tizimlarni modellashtirish usullari, geometrik modellashtirish, hamda iqtisod, biologiya va ekologiya sohalaridagi masalalar tahlil qilangan.

1. KOMPYUTERDA MODELLASHTIRISH ASOSLARI

1.1. Modellashtirish bo'yicha asosiy tushunchalar

Modellashtirish jarayon va hodisalarni anglashning asosiy usullaridan biri hisoblanib, reallikni akslantirish shaklidir va real obyektlar, predmetlar va hodisalarni boshqa obyektlar, jarayonlar, hodisalar yoki tasvir, reja, xarita, tenglamalar majmuasi, algoritmlar va dasturlar majmui ko'rinishlaridagi abstrakt tavsifi yordamida aniqlash yoki real obyektlarning ba'zi bir boshqa hususiyatlarini tasvirlashdan iborat.

Model lotincha "modulus" so'zidan olingan bo'lib, o'lchov va namuna ma'nosini bildiradi. Model bu real obyekt ustida tadqiqot va tajriba olib borish uchun qulay va arzon bo'lgan boshqa bir real yoki abstrakt obyektidir. Model real obyektning asosiy hususiyatlarini o'zida mujassam etgan soddalashtirilgan ko'rinishidir.

Turli sohalarda model tushunchasining o'ziga xos ta'rifi mavjud, bularning ba'zi birlarini misol sifatida keltirish mumkin.

Model (iml va fanda) – real mavjud bo'lgan obyekt yoki tizimning faqat eng muhim hususiyatlari o'z ichiga olgan soddalashtirilgan obyekt bo'lib, va oldindan ularni o'rganish uchun tayinlangan. Model real obyekt va/yoki unda o'tayotgan jarayonlarning soddalashgan ko'rinishidir.

Model (informatikada) – bu tizim bo'lib, uni tadqiq qilish natijasida boshqa bir tizim to'g'risida ma'lumot olish uchun ishlatiladi:

- berilganlar modeli: relyatsion, iyerarxik,
- tarmoq – ma'lumotlar bilan ishlash nazariy konsepsiyadir;
- axborot modeli – konkret predmet soxalar yoki obyekt ma'lumotlar modeli;
- konseptual model (predmet soha yoki obyektning);
- tarmoq modellari – tarmoq protokollarining o'zaro bog'lanishi;
- fizik model –material obyekt yoki fizik xodisalarning ma'lum bir xususiyatlarini taqlid (imitatsiya) qilish uchun ishlatiladigan texnik qurilma.

Model (sanoatda) – ketma-ket ishlab chiqariladigan bir xildagi qandaydir buyumlar turkumi majmui (model qatori).

Model – tadqiq va hisob qilinayotgan jarayon yoki xodisani tasvir etuvchi ta’riflar, bog’lanishlar, shartlar va cheklashlar tizimi iborat.

Matematik model esa real obyektning tasavvurimizdagi abstrakt ko‘rinishi bo‘lib, u matematik belgilar va ba’zi bir qonun-qoidalar bilan ifodalangan bo‘ladi.

Matematik modelga qo‘yiladigan asosiy talablar quyidagilardan iborat:

1. *Universallik*, Ya’ni konkret obyektning modeli boshqa o‘xshash obyektlarga qo‘llanishi uchun yetarli darajada universal bo‘lishi kerak. Bu degani real obyektning matematik modeli boshqa o‘xshash obyektlarga juda kam o‘zgartirishlar orqali qo‘llash uchun yetarli darajada umumiy bo‘lishi kerak.

2. *Kompaktlik*. Model shunday qo‘rilishi kerakki, uni deyarli o‘zgartirishsiz o‘zidan yuqori darajali modelga model osti sifatida kiritish mumkin bo‘lsin. Masalan, daraxtni matematik modeli o‘rmon ekosistemi modelining bir bloki sifatida qo‘llanilishi. Fotosintez jarayonining matematik modeli daraxt matematik modelini bir bloki sifatida ishlatilishi mumkin bo‘lsin.

3. *Soddalik*. Ya’ni, matematik modelni qurishda ikkinchi, uchinchi darajali faktorlar hisobga olinmasligi lozim. Bu faktorlarni hisobga olish matematik modelni murakkablashtiradi. Misol: epidemiyani tarqalishi jarayoni matematik modelida shamol tezligini hisobga olish modelni ancha murakkablashtiradi. Ammo atrof – muhitni ekologiyasini o‘rganishda shamol tezligini va yo‘nalishini hisobga olmaslik mumkin emas. Suv quviridagi suvni harakatini o‘rganayotganda oyniing tortishish kuchini hisobga olmasa ham bo‘ladi. Ammo, dengiz va okeanlardagi suv toshqinlarini o‘rganayotganda oyniing tortishish kuchini albatta hisobga olish lozim. Bu toshqinlar oyniing tortishi natijasidir.

4. *Sezgirlik darajasi* past bo‘lishi lozim. Matematik modelni qurishda hisobga olinishi zarur bo‘lgan asosiy faktorlarga nisbatan modelni sezgirlik darajasi past bo‘lishi lozim. Ya’ni real obyektning o‘rganayotgan paytda o‘lchashlar ko‘p hollarda xatolik bilan

bajariladi. Ayrim hollarda modelda ishtirok etayotgan asosiy faktorni aniq o'lchashni imkoni bo'lmaydi. Masalan, ob – havoni bashorat qilish haligacha taxminiy, paxta maydonidagi hashoratlarning sonini aniq o'lchash mumkin emas.

Agar matematik modellar hisobga olinayotgan faktorlarni qiymatini o'lchashda yo'l qo'yilgan xatoliklarga nisbatan sezgir bo'lsa, ushbu matematik model mukammal bo'lmaydi, ya'ni hech qachon bu model orqali o'rganilayotgan obyekt to'g'risida qoniqarli natijalar olib bo'lmaydi. Shu sababli hisobga olinayotgan faktorlarga nisbatan matematik model qo'pol bo'lishi, ya'ni faktorlarning qiymatiga sezgir bo'lmashligi kerak.

Ammo, bu talab faqatgina tabiiy jarayonlar uchunгина o'rinli. Ishlab chiqarishda yoki texnologik jarayonlarda bu talab o'rinli emas. Masalan, avtomobil ishlab chiqarilishda.

5. *Moslashish darajasi* yuqori bo'lishi lozim. Ya'ni model blokli prinsipda qurilishi lozim. Bunda o'zgaruvchilar iloji boricha alohida blokda – avtonom holda hisoblanishi maqsadga muvofiq.

Bu esa matematik modelni tez o'zgartirish, modifikatsiya qilish imkonini yaratadi. Umuman olganda bu talab unga katta bo'lmagan o'zgartirish orqali boshqa real obyektga moslashishni, ya'ni matematik modelni universalligini xarakterlaydi.

Tabiiy va texnik fanlar bilan bog'liq modellashtirish turlari quydagilar:

– konseptual modellashtirish, bunda ma'lum bo'lgan faktlar yoki tadqiqot qilinadigan obyektga nisbatan tasavvurlar yoki mahsus belgilar, simvollar ustidan bajariladigan amallar bilan yoki tabiiy yoki sun'iy tillar asosida tasvirlanadi;

– jismoniy modellashtirish, unda model va modellashtiruvchi obyekt real obyektlar yoki yagona yoki turli jismoniy tabiiyatli jarayonlarni tasvirlaydi, bunda jarayonlarning jismoniy o'xshashligidan asl obyekt va modeldagi jarayonlar o'rtasida ba'zi bir o'xshashlik munosabatlari amalga oshiriladi;

– tuzilmaviy-funksional modellashtirish, bunda modellar sifatida sxemalar (blok-sxemalar), grafiklar, chizmalar, diagrammalar, jadvallar, maxsus birlashtirish va o'zgartirish qoidalari bilan to'ldirilgan suratlar ishlatiladi,

– matematik (mantiqiy-matematik) modellashtirish, bunda modellashtirish, shu jumladan model qurish, matematika va mantiq vositalari orqaliq amalga oshiriladi;

– imitatsion (kompyuter vositasida) modellashtirish, bunda tadqiqot qilinuvchi obyektning mantiqiy-matematik modeli obyektning faoliyat jarayoning kompyuter uchun dasturiy ta’minot sifatida amalga oshirilgan algoritmi sifatida tasvirlanadi.

Matematik modellashtirish – bu real obyekt, jarayon yoki tizimni o’rganib bilmoq uchun ularni matematik modeli bilan almashtirgan holda kompyuterda qulayroq eksperimental tadqiqot qilish vositasidir.

Matematik model matematik terminlarda ifodalangan bo’lib, real obyekt, jarayon yoki tizimni asl nusxaning muhim xususiyatlarini saqlagan taqribiy ko’rinishidir. Matematik modellar miqdoriy shaklda obyekt, jarayon yoki tizimning asosiy xususiyatlarini, parametrlari, ichki va tashqi bog’lanishlarini mantiqiy matematik qurilmalar asosida tasvir qiladi.

1.2. Matematik modelni qurish bosqichlari

Matematik modelni qurish quyidagi asosiy bosqichlardan iborat:

1. Jarayonni o’rganish. Bu bosqichda jarayonga doir, uning dinamikasini, tabiatini xarakterlovchi ma’lumotlari yig’inadi.

2. Yig’ilgan ma’lumotlarni tizimlashtirish. Ishchi gipotezalar qabul qilish. Jarayonni jarayon osti bloklarga ajratish, bloklarda o’zgaruvchilarni aniqlash, bloklar va ulardagi o’zgaruvchilar orasidagi bog’liqliklarni o’rnatish. Jarayon uchun ikkinchi, uchinchi darajali faktorlar aniqlanib, bu faktorlar tashlab yuboriladi.

3. Yig’ilgan ma’lumotlar asosida jarayon bo’ysinadigan qonun yoki qonuniyatlar tanlanadi (variatsiya yoki analogiya prinsiplari). Ushbu qonunlar asosida jarayon matematik tilda yoziladi. Matematik modelni nazariy tadqiqoti o’tkaziladi.

4. Jarayonning taklif etilayotgan matematik modeli “jihozlanadi”. Masalan, jarayon ni boshlang’ich holati beriladi (jism tezligi, boshlang’ich vaqtda populyatsiya soni va shunga

o'xshash). Shu bilan matematik formallashtirish, Ya'ni matematik modelni yozish jarayoni tugaydi.

5. Jarayonni matematik modeli asosida diskret modeli quriladi va diskret model asosida dastur tuzilib, kompyuterda qo'yilgan matematik masala yechiladi. Bu bosqichda hisoblash eksperimenti o'tkaziladi. Hisoblash eksperimenti natijasida matematik model real obyektga muvofiqligi tekshiriladi. Modelni unda ishtirok etayotgan faktorlarga nisbatan sezgirligi o'rganiladi. Modelda qatnashayotgan kattalik yoki parametrlarni o'zgarish chegaralari aniqlanadi. Boshqacha qilib aytganda, ushbu bosqichda matematik modelni real jarayonga moslashtirish bajariladi.

Model va jarayon orasidagi muvofiqlik

Ma'lumki, model o'rganilayotgan jarayonning sodda ko'rinishidir. Model hamma vaqt real jarayondan farq qiladi. Matematik modellashtirish boshqa modellashtirishlarga nisbatan ustunliklarga ega bo'lsada, hech qachon jarayonni to'la akslantira olmaydi. Matematik model va uning real jarayon orasidagi muvofiqlik deganda jarayon va uning matematik modeli dinamikalarining sifat jihatdan o'xshashligi va yaqinligi tushuniladi.

Agar jarayon va uning matematik modelining dinamikalari orasida o'xshashlik, ya'ni muvofiqlik bo'lmasa, bu muvofiqlikni o'rnatishning bir necha usuli mavjud:

1. Matematik modelda ishtirok etayotgan o'zgarmas kattaliklarni qaytadan baholash.

2. Matematik modelni yozishda qabul qilingan ishchi gipotezalarni qaytadan ko'rib chiqish.

3. Real jarayon haqida qo'shimcha ma'lumotlar yig'ish.

4. Yangi yig'ilgan ma'lumotlar asosida modelni qaytadan ko'rib chiqish.

Jarayon va uning matematik modeli dinamikalari sifat jihatdan o'xshash bo'lib, miqdor jihatdan farqli bo'lsa, u holda muvofiqlashtirishning birinchi usulidan foydalanish lozim. Aks holda muvofiqlashtirishning 2-4 usullarning har biridan ayrim –

ayrim foydalanish kerak. Qaysi biridan foydalanish jar yon va uning modeli dinamikasini farq qilish darajasiga bog'liq.

Matematik modelni real jarayonga muvofiqlashtirish ko'p hollarda real jarayonga nisbatan o'tkazilgan tajriba, eksperiment natijalaridan foydalaniladi va bu natijalar bir necha marta solishtiriladi. Bu jarayon matematik model real jarayonga yetarli darajadagi aniqlikda yaqinlashguncha davom ettiriladi.

Kompyuter vositasida modellashtirish maqsadlari va asosiy qadamlari tahlilini ko'rib chiqamiz. Hisoblash eksperimenti va modelni o'z ichiga olgan kompyuter vositasida modellashtirish jarayoni tadqiq qilinadi va u quyidagi sxemada keltiriladi (1.1. - rasm).

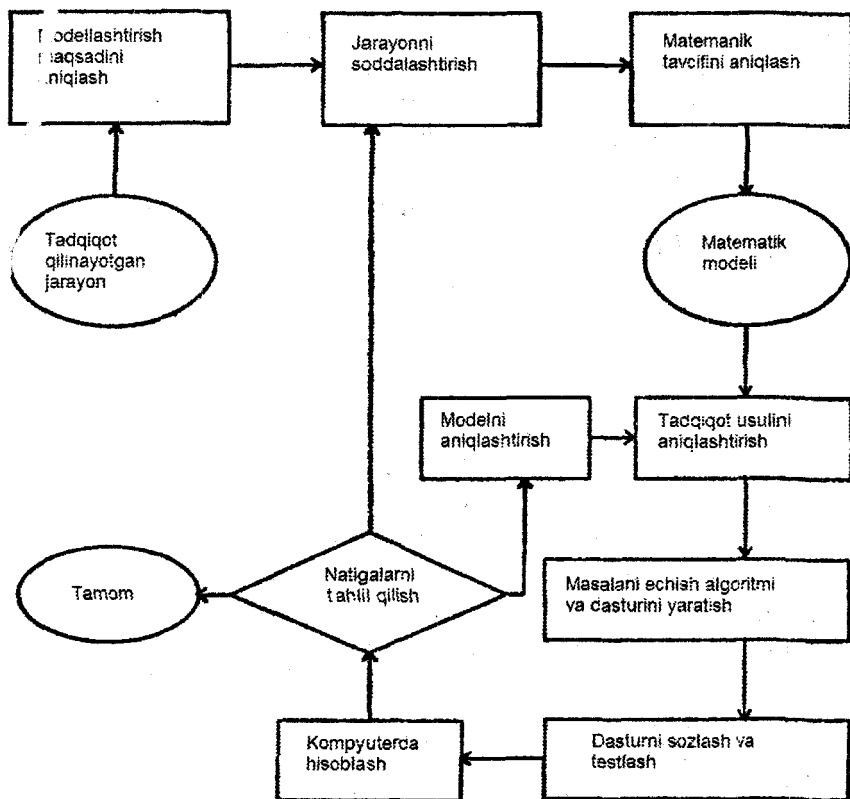
Boshlang'ich qadam – modellashtirishning maqsadlarini aniqlash:

1) muayan jarayonning tuzilishi, strukturasi, asosiy xususiyatlari, rivojlanish qonuniyatlari va tashqi muhit bilan o'zaro bog'likligini anglash uchun model kerak (**tushinish**)

2) qo'yilgan maqsad va shartlarda jarayonni boshqarishni o'rganish va boshqarishning eng qulay usullarini aniqlash uchun model kerak (**boshqarish**);

3) jarayonga ta'sir qiluvchi berilgan usullar va shakllarning bevosita va bilvosita oqibatlarini bashorat qilish uchun model kerak (**bashorat qilish**).

Bularni misolda ko'rib chiqaylik. Faraz qilaylik tadqiqot jarayoni jism bilan gaz yoki suyuqlik oqimining qattiq jism bilan to'qnashishidan iborat bo'lsin. Jism oqim uchun to'g'onoq bo'ladi. Tajriba ko'rsatadiki, jism tomonidan oqimga qarshilik kuchi oqimning tezligiga to'g'ri proporsional ravishda o'sadi. Lekin oqimning qandaydir muayan katta tezligida jismning qarshilik kuchi keskin kamayadi. So'ngra, tezlik yanada ko'proq oshganida, jism qarshiligi yana oshaveradi. Bu xolatni anglash uchun oqimning qattiq jism bilan to'qnashish jarayoni matematik modellashtirilishi aniq javob beraoladi. Qarshilik keskin kamaygan xolatda, jism orqasida hosil bo'ladigan uyurma jismdan ajralib, oqim bilan birga jismdan uzoqlashadi.



1.1. rasm. Kompyuter vositasida modellashirish asosiy ko‘rinishi

Modellashtirishning yana bir maqsadi – jarayonni boshqarish mezonlarini hosil qilishdir. Samolyotning parvozi yo‘lovchiga bezarar va qulay bo‘lib, shu bilan birga kam xarj bo‘lishi uchun uning parvoz rejimini qanday tanlash kerak? Imkon qadar tez vaqtda katta obyekt qurish uchun bajaraladigan ishlar grafigini qanday tanlash kerak? Shunga o‘xshash har xil savollar doimo iqtisodchilar, konstruktorlar va olimlar oldiga qo‘yiladi.

Va nixoyat, obyektga bo‘lgan ta’sir natijasini bashorat qilish murakkab bo‘lmagan jarayonlar uchun qiyin ish bo‘lmasa, murakkab ekologik yoki sotsial tizimlar uchun esa juda kiyin ishdir. Agar sterjenda issiqlik tarqalishini aniqlash ancha sodda

bo'lsa, katta *GES* qurilishining ekologiyaga va ob-xavog' ta'siri, yoki solig' konunchiligining o'zgarishini sotsial oqi atlarini bashorat qilish ancha qiyin masaladir. Bu muammolarni hal qilishda ham matematik modellash usullari o'z hissasini qo'shadi va masalani yechishga yordam beradi.

Jarayonga ta'sir qiluvchi (boshlang'ich) parametrlar x_1, x_2, \dots, x_n va modellashtirish natijasida olinadigan (natijaviy) parametrlar y_1, y_2, \dots, y_k munosabatlarini tuzaylik. Jarayonning o'tishini simvolik ravishda

$$u_j = F_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (j=1, 2, \dots, k), \quad (1)$$

ko'rinishda tasvirlash mumkin. Bu yerda F_j – natija olish uchun boshlang'ich parametrlar ustidan bajariladigan amallar. $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ yozuv funksiyani tasviriga o'xshasa xam, bu yerda biz uni kengroq ma'noda ishlatamiz. Faqat eng sodda xollardagina, $F(x)$ – elementar matematikadagi funksiya bo'lishi mumkin. Shuning uchun biz $F(x)$ munosabatga «operator» tushinchasi ishlatiladi.

Modellashtirish jarayoning asosiy qadamlaridan biri boshlang'ich ma'lumotlarni jarayonga qiladigan ta'siri bo'yicha ajratib olishdir. Ko'p xolatlarda boshlang'ich parametrlarning xammasini hisobga olish shart emas. Ularning asosiylarini ajratib olish – modelashtirishning muvaffaqiyatligiga bog'liq bo'lib, maqsadga tez va samarali erishish imkonini beradi. Tadqiqot qilinayotgan soxaga tegishli mutaxassisgina axamiyatga ega (salmog'li) parametrlarni ajratib olishi mumkin. Salmog'i kam bo'lgan boshlang'ich parametrlarni ajratish va ularni hisobga olmaslik modellashtirish jarayonini soddalashtiradi va uning asosiy xususiyatlari va konuniyatlarini anglashga imkon beradi.

Navbatdagi qadam – jarayonning matematik tavsifini (ko'rinishini) aniqlash. Bu qadamda modelning abstrakt tavsifidan konkret matematik ma'noga ega bo'lgan ko'rinishiga o'tish kerak. Bu holatda model tenglama, tenglamalar sistemasi, tengsizliklar sistemasi, differensial tenglama yoki shunda o'xshash tenglamalar sistemasi ko'rinishda bo'ladi.

Ja ayonning matematik modeli aniqlangandan so'ng, uni tadqiq qiladigan usul tanlanadi. Odatda bir masalani yechish uchun bir-necha usullar mavjud. Ular bir-biri bilan samaraligi, yechimning turg'uligi va boshqa xususiyatlari bilan farqlanadi. Yechish usulini to'g'ri tanlash masalani yechish jarayonining muvaffaqiyatiga bog'liq.

Masala yechish algoritmini tuzish va uning dasturini yozish bu juda murakkab formallashtirilgan jarayondir. Hozirgi vaqtda kompyuter vositasida modellashtirish jarayonida strukturalik dasturlash usullaridan keng foydalaniladi. Dasturlash tillaridan ko'pgina fiziklar *FORTRAN* tilini xush ko'radi, chunki ular bu tilga o'rganib qolgan va undagi ko'p sonli standart funksiyalaridan foydalanish qulaydir. Masalaning qaysi soxaga yo'nalganligi va dastur tuzuvchining rayiga qarab kerak bo'lgan dasturlash tili tanlanishi mumkin.

Masalani yechish dasturi tuzilgandan so'ng, uning yordamida sodda test masalasi yechiladi. Iloji boricha, bu qulay bo'ladi agar masala aniq yechimga ega bo'lsa. Maqsad – boshlang'ich xatolarni tezkorlik bilan bartaraf qilish. Bu qadam bilan testlash jarayoni boshlanishi. Testlash jarayoni yechish algoritmi va dasturdagi barcha hatolar tugatilmaguncha davom etadi.

Testlashdan so'ng hisoblash eksperimenti jarayoni boshlanadi va tuzilgan model muayan jarayonga mosligi aniqlanadi. Agar kompyuterda olingan natijalar eksperiment natijalari bilan kerak bo'lgan aniqlikda mos bo'lsa model muayyan jarayonga mos keladi deyiladi. Agar yaratilgan model muayyan jarayonga mos kelmasa, u holda oldingi kadamlardan biriga qaytiladi va modelni muayyan jarayonga moslashtirish jarayoni davom ettiriladi.

1.3. Kompyuter vositasida modellashtirish

Kompyuter vositasidagi model (yoki sonli model) – alohida kompyuterda, superkompyuterda yoki kompyuterlar tarmog'ida amalga oshiriladigan kompyuter dasturidir. Dastur obyekt, tizim yoki tushunchalar tavsifini real obyektidan farqliroq, lekin algoritmik tavsifiga yaqin va tizim hususiyatlarini tasvirlovchi

ma'mumotlar majmui hamda vaqt bo'yicha o'zgarish dinamikasini amalga oshirishini o'z ichiga oladi.

Eksperiment – bu nazoratchi tomonidan boshqariladigan biror bir hodisani tadqiq qilish ilmiy usulidir. Eksperiment kuzatishdan tadqiq qilinadigan obyekt bilan faol munosabatda bo'lishi bilan farq qiladi. Odatda eksperiment gipotezalarni tekshirish va hodisalar orasidagi bog'liklarni o'rnatish uchun ilmiy tadqiqotlar doirasida o'tkaziladi. Eksperiment bu ilimga emperik yondashuvning hal qiluvchi elementi hisoblanadi.

Eksperiment hususiyatlari:

- tadqiqotchi o'rganiladigan hodisa yuz berishini kutmasdan, uni o'zi hosil qiladi;

- o'rganiladigan hodisaning o'tish jarayoni shartlarini o'zgartirishi mumkin;

- muqobil tabiiy bog'lanishlarni (qonuniyatlarni) o'rnatish uchun eksperimentda ma'lum shartlarni istisno qilish mumkin;

- eksperiment shartlar miqdoriy nisbatlarini o'zgartirishga imkon beradi va shu asosda berilganlarni matematik qayta ishlashni amalga oshirish imkonini yaratadi.

Kompyuter vositasida eksperiment – bu tadqiqot obyektining matematik modeli asosida kompyuter vositasida bajariladigan eksperimentdir. Unda matematik model bilan tasvirlangan obyekt hususiyatlari haqida hulosalar qilish va ba'zi bir parametrlar bo'yicha uning boshqa parametrlarini hisoblashdan iborat. Eksperimentning bu turini faqat shartli ravishda eksperiment deb nomlash mumkin, chunki u hodisaning tabiiyatini aks ettirmaydi va faqat inson tomonidan yaratilgan matematik modelni sonli amalga oshiradi. Albatta, matematik model korrekt bo'lmaganda, uning sonli yechimi jismoniy eksperiment natijalaridan farq qiladi.

Kompyuter vositasida modellashtirish – kompyuter modeli asosida murakkab tizimning tahlili yoki ayrim elementlari o'rtasidagi bo'lgan aloqalarni muqarrarlash masalasini yechish usulidir. Kompyuter vositasida modellashtirish mohiyati mavjud model asosida tadqiq qilinuvchi obyekt haqida miqdoriy va sifat natijalarni olishdan iborat.

Kompyuter vositasidagi modellar matematik modellash-tirishning oddiy ish quroli (instrumenti) bo'lib, har xil sohadagi amaliy masalalarni yechish uchun ishlatiladi. Kompyuter vositasidagi modellar modellashtirilayotgan obyekt haqida yangi bilimlar olish uchun yoki analitik tadqiqot uchun murakkab bo'lgan tizimlarning ishini taxminiy baholashda foydalaniladi. Kompyuter vositasida modellashtirish murakkab tizimlarni tahlil qilishning samarali usullaridan biri hisoblanadi. Kompyuter vositasidagi modellashtirish real hisoblash tajribalar o'tkazish imkoniyatining mavjudligi, moliyaviy yoki jismoniy to'siqlar, yoki oldindan aytib bo'lmaydigan natija berishi mumkin bo'lgan hollarda tadqiqot o'tkazish uchun ishlatilishi sodda va qulayroqdir.

Kompyuter vositasidagi modellarning mantiqqa egaligi va shakllantirilganligi original obyektning (yoki obyektlar butun sinfini) o'rganilayotgan original obyektning asosiy omillarini aniqlashga imkon beradi, xususan, parametrlar va boshlang'ich berilganlar o'zgarishini modellashtirilayotgan jismoniy tizimga ta'sirini tadqiqot qilishni.

Kompyuterli modelni ishlab chiqarilishi hodisaning muayyan tabiatidan yoki o'rganilayotgan original obyektidan abstraktlashishga asoslangan bo'lib, ikki bosqichdan iborat – avvalo sifat, so'ngra miqdoriy modelini tuzish. Original ob'ktning qanchalik ko'p muhim xususiyatlari aniqlangan bo'lsa va kompyuter modeliga o'tkazilsa, shunchalik uni real modelga yaqinlashtirish imkoniyati bo'ladi va shu modeldan foydalanuvchi tizim shuncha ko'proq imkoniyatlarga ega bo'ladi. Kompyuter vositasida modellashtirish esa, kompyuterda qator hisoblash eksperimentlar o'tkazishdan iborat, ularning maqsadi: tahlil qilish, talqin qilish va modellashtirish natijalarini muayyan o'rganayotgan obyekt aynan shunday yo'l tutishi bilan solishtirish, va kerak bo'lsa, keyinchalik modelni aniqlashtirish va xakazo.

Modellashtirish analitik va imitatsiyali ko'rinishlariga ajratiladi. Analitik modellashtirishda algebrayik, differensial va boshqa tenglamalar shaklidagi real obyektning matematik (abstrakt) modellari o'rganiladi, shuningdek, ular aniq yechimga olib keladigan aniq hisoblash jarayonini amalga oshirishni

ta'minlashi kerak. Imitatsiyali modellashtirishda algoritm (ar) shaklidagi matematik modellar tadqiq qilinadi, unda tadqiq qilinayotgan tizimning ishlashi katta hajmdagi bir qator elementar amallarni bajarish orqali amalga oshiriladi.

Kompyuter vositasida modellashtirish asosiy bosqichlari quyida keltirilgan.

Bosqichning nomi	Qanday amallar bajariladi
1. Masalaning qo'yilishi va uning tahlili	1.1. Model yaratish maqsadini aniqlash. 1.2. Qanday boshlang'ich ma'lumotlar va qanday ko'rinishda ularni olishligini aniqlash. 1.3. Model yaratish uchun qanday boshlang'ich ma'lumotlar kerakligini aniqlash.
2. Axborot modelini ishlab chiqish	2.1. Model parametrlarini aniqlash va ular orasidagi uzviy bog'lanishlarni aniqlash 2.2. Ko'rilayotgan masala uchun ahamiyatga ega parametrlarni aniqlash. 2.3. Parametrlar orasidagi bog'liqlikni matematika tilida tasvirlash.
3. Kompyuter vositasidagi modelni amalga oshirishning usullari va algoritmlarini ishlab chiqish	3.1. Boshlang'ich natijalarni hisoblash usulini tanlash yoki ishlab chiqish. 3.2. Tanlangan usul natijalari bo'yicha hisoblash algoritmini tuzish. 3.3. Algoritm to'g'riligini tekshirish.
4. Kompyuter vositasidagi modelni ishlab chiqarish	4.1. Algoritm asosida kompyuterda dasturni ishlab chiqish vositasini tanlash. 4.2. Kompyuter vositasidagi modelni ishlab chiqish. 4.3. Yaratilgan kompyuter vositasidagi to'g'riligini tekshirish.
5. Kompyuterda eksperimentlar o'tkazish	5.1. Tadqiqot rejasini ishlab chiqish. 5.2. Yaratilgan kompyuter vositasidagi model asosida eksperiment o'tkazish. 5.3. Olingan natijalarni tahlil qilish. 5.4. Yaratilgan model xususiyatlari haqida xulosalar qilish.

Eksperiment jarayoni davomida aniqlanishi mumkin bo'lgan hollar:

- tadqiqot rejasini moslashtirish;
- masala yechishning boshqa usulini tanlash;
- natijalarni olish algoritmini takomillashtirish;
- axborot modelini aniqlashtirish;
- masala qo'yilishiga o'zgarishlar kiritish.

Bu xollarda mos qadamga qaytiladi va jarayon boshidan boshlanadi.

Matematik modellashtirish faqat kompyuterda hisoblashlar o'tkazishgina emas. Bu birinchi navbatda voqea va jarayonlarni o'rganish, ularni matematik tilda ifodalashdir. Demak, matematik model – voqea va jarayonlarni absolyut to'g'ri ifodalash emas, balki ularni taqribiy ifodalashdir.

Matematik modellashtirish qimmat baholi eksperimentlar o'tkazmasdan turib, voqea va jarayonlarning keyingi bosqichidagi hodisa va detallarini kompyuter ekranida o'rganish, shuningdek, hattoki zamonaviy asbob – uskunalar ilg'amaydigan (payqamaydigan) jarayonlarni izohlashdan iboratdir.

1.4. Konseptual modellashtirish

Muammoli vaziyatni o'rganish natijalari asosida tuzilgan tizimning mazmunli tavsifi o'z ichiga tadqiq qilinadigan obyektlar hamda vaziyatlarni oladi va tadqiqot maqsadlarini belgilaydi. Konseptual model - bu modellashtiruvchi tizimning tuzilishini, tizimga xos va modellashtirish maqsadiga erishish uchun ahamiyatli bo'lgan uning elementlari xususiyatlari va sabab-natijaviy bog'lanishlari aniqlaydigan abstrakt modeldir.

Tizimning mazmunli ta'rifi va tadqiq qilinuvchi masaladan tegishli konseptual modelini qurishga o'tish yo'li birxil bo'lmaydi.

Lekin tajriba tadqiqot deyarli har doim quyidagi bosqichlarni o'z ichiga olishini ko'rsatadi:

- tizimda bo'lib o'tayotgan asosiy jarayonlarning funksional sxemasi ishlab chiqish;
- modelning chegarasini aniqlash;
- elementlarning to'la-to'kis tasvirlanish darajasi aniqlash.



Ko'rsatilgan qadamlarni ketma-ket bajarish aslida tizimlar modellarini qurish texnologiyasini tashkil etadi. Shuni ta'kidlash mumkinki, ko'p jihatdan o'xshash texnologiya dasturiy mahsulotni obyektli modellashtirish usullari bilan yaratishda ishlatiladi. har bir ko'rsatilgan bosqich o'zining tushinchalar yig'imi bilan tavsiflanadi, shuning uchun bir bosqichdan navbatdavisiga o'tish bu bir tushinchalarda yozilgan modeldan boshqa bir tushinchalarga asoslangan modelga o'zgarishidan iborat. Bu o'zgarish nafaqat tushinchalar o'zgarishlari bilan, balki bizning tizim xaqida bilim jamlash va tartibga solish bilan birga olib boriladi.

Navbatdagi qadam bu asosiy jarayonlarnig bir biri bilan ta'sir etishi, ularning xususiyatlari va modelning chegaralarini aniqlashni tavsif etishdan iborat. Modelning asosiy elementlari va jarayonlari aniqlanganidan so'ng, ularni moslik darajasi savolini hal qilish kerak, Ya'ni har bir ajratilgan jarayonda qaysi omillar va parametrlar hisobga olingan va qayid qilinganligini aniqlash kerak. Omillar va parametrlar ro'yxati modelning ham maqsadi, ham uning tadqiq qilinadigan ish nizomiga bog'liq. Bunda tizimni harxil (uzoq muddat, qisqa muddat va operativ rejalashtirish) vaqt oralig'ida ishlashini tadqiq qilish kerak. Bu batafsil modelda vaqtinchalik parametrlarni olgandan so'ng, dag'allashgan modelni tuzish mumkin, va bu topilgan parametrlar unga boshlang'ich ma'lumotlar sifatida kiritiladi. Natijada biz bir-biriga ta'sir qiluvchi elementlar, jarayonlar va ularning ishlash xususiyatlari ro'yxatini o'z ichiga olgan va bularni o'z ishlash jarayonida hisobga oladigan *konseptual modelga* ega bo'lamiz.

Bu ro'yxatlarni axborot bilan ta'minlanganligini tekshirish kerak. Bu tizim haqida ma'lumotlar mavjud majmui asosida tanlangan parametrlarni o'rnatish qobiliyatini anglatadi. Ya'ni, har bir element ishlashi uchun kerak bo'lgan ma'lumotlar bilan ta'minlangan bo'lishiga ishonch hosil qilish zarur. Aks holda, yetishmaydigan ma'lumotni olish yo'lini aniqlash kerak.

1.5. Iyerarxiya prinsipidan foydalanib modellar qurish

Oldingi paragrafda biz modellarini qurishda fizik qonunlarning tadbqiqini o'rganib chiqqan edik, bu paragrafda esa model qurilgan,

ammo endilikda bu model yanada umumiyroq holga nisbatan qo'llanilishi mumkinligi ma'lum bo'lib qolgan vaziyatni o'rganib chiqamiz. Faqatgina ayrim hollarda eng sodda modellarning matematik modellarini to'liq qo'rinishda, uning hatti-harakati uchun mos bo'lgan barcha omillarni qurish o'zini oqlaydi. Shuning uchun "soddadan-murakkablikka qarab" tamoyilini amaliyotga tadbqiq etuvchi yondashuv o'rinli bo'lib, bu yondashuvga ko'ra keyingi qadamga murakkab bo'lmagan modelni sinchkovlik bilan o'rganib chiqqandan so'ng o'tiladi. Bunda har biri oldingingi modellarni umumlashtiruvchi va ularni xususiy hol sifatida o'ziga biriktirib oluvchi to'la modellar zanjiri (iyerarxiyasi) hosil bo'ladi.

Bunday zanjirni ko'p pog'onali raketaning modeli misolida quraylik. Oldingi ma'ruzaning oxirida qayd qilinganidek, haqiqiy bir pog'onali raketa birinchi kosmik tezlikka erisha olmaydi. Buning sababi - yonilg'ining kerakli bo'lmagan tuzilmaviy massani harakatlantirib yuborishga sarf bo'lishidir. Demak, raketa o'zining harakati davomida davriy ravishda ballastdan qutulib borishi lozim.

Amaliy konstruksiyada esa bu raketa foydalanib bo'lingandan so'ng tashlab yuboriladigan bir nechta pog'onalardan tashkil topishini anglatadi.

m_i - i -pog'onaning umumiy massasi, λm_i - tuzilmaviy massa (bunda yonilg'ining massasi $(1 - \lambda)m_i$), m_p kattalikka, ya'ni foydali yuk massasiga teng bo'ladi). λ kattalik va gazlarning tugab bitish tezliklari barcha pog'onalarga nisbatan bir xildir. Aniqlik uchun pog'onalar sonini $n = 3$ ga teng deb olamiz. Bunday raketaning boshlang'ich massasi

$$m_0 = m_p + m_1 + m_2 + m_3$$

ga teng. Birinchi pog'onaning butun yonilg'isi sarf bo'lgan va raketa massasi

$$m_p + \lambda m_1 + m_2 + m_3$$

ga teng bo'lgan momentni o'rganib chiqamiz. U holda Siolkovskiyning formulasiga ko'ra, raketaning tezligi

$$v_1 = u \ln \left(\frac{m_0}{m_p + \lambda m_1 + m_2 + m_3} \right)$$

ga teng bo'ladi. v_1 tezlikka erishilgandan so'ng, λm_1 tuzilmaviy massa tashlab yuboriladi va ikkinchi pog'ona ishga kiradi. Bu momentda raketaning massasi $m_p + m_2 + m_3$ ga teng bo'ladi.

Shu momentdan boshlab, to ikkinchi pog'onadagi yonilg'i to'la yonib bitgunga qadar qurilgan modeldan foydalanishga hech narsa halaqit bermaydi. Umumiy impulsning saqlanishi to'g'risidagi barcha mulohazalar o'z kuchini saqlab qoladi (endilikda raketaning boshlang'ich tezligi v_1 ga teng ekanligini hisobga olish darkor). U holda, Siolkovskiyning formulasiga ko'ra, ikkinchi pog'onadagi yonilg'i yonib bitgandan so'ng, raketa

$$v_2 = v_1 + u \ln \left(\frac{m_p + m_2 + m_3}{m_p + \lambda m_2 + m_3} \right)$$

tezlikka erishadi.

Huddi shu mulohazalarni raketaning uchinchi pog'onasiga nisbatan ham qo'llash mumkin. Raketaning dvigatellari o'chirilgandan so'ng, raketaning tezligi

$$v_3 = v_2 + u \ln \left(\frac{m_p + m_3}{m_p + \lambda m_3} \right)$$

ga teng bo'ladi.

Bu zanjirni ixtiyoriy sondagi pog'onalarga nisbatan davom ettirib, mos formularni hosil qilish mumkin. $n=3$ holda esa oxirgi tezlikka nisbatan

$$\frac{v_3}{u} = \ln \left(\frac{m_0}{m_p + \lambda m_1 + m_2 + m_3} \right) \left(\frac{m_p + m_2 + m_3}{m_p + \lambda m_2 + m_3} \right) \left(\frac{m_p + m_3}{m_p + \lambda m_3} \right),$$

yoki

$$\alpha_1 = \frac{m_0}{m_p + m_2 + m_3}, \quad \alpha_2 = \frac{m_p + m_2 + m_3}{m_p + m_3}, \quad \alpha_3 = \frac{m_p + m_3}{m_p},$$

belgilashlarni kiritgan holda,

$$\frac{v_3}{u} = \ln \left\{ \left(\frac{\alpha_1}{1 + \lambda(\alpha_1 - 1)} \right) \left(\frac{\alpha_2}{1 + \lambda(\alpha_2 - 1)} \right) \left(\frac{\alpha_3}{1 + \lambda(\alpha_3 - 1)} \right) \right\}$$

tenglikga ega bo'lamiz.

Mazkur ifoda $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ kattaliklarga nisbatan simmetrik bo'lib, u o'zining maksimumiga simmetrik holda, ya'ni $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha$ bo'lganda erishadi. Bunda, $i=3$ ga nisbatan

$$\alpha = \frac{1 - \lambda}{P - \lambda}, \quad P = \exp \left(-\frac{v_3}{3u} \right)$$

munosabat o'rinlidir.

$\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 = \alpha$ munosabat o'rinlidir, buni m_0/m_p yoki

$$\alpha^3 = \frac{m_0}{m_p} = \left(\frac{1-\lambda}{P-\lambda} \right)^3$$

bo'lganda tekshirish mumkin. Ko'p pog'onali raketaga nisbatan shunga o'xshash ravishda

$$\frac{m_0}{m_p} = \left(\frac{1-\lambda}{P-\lambda} \right)^n, \quad P = \exp\left(-\frac{v_n}{\alpha u}\right), \quad (1)$$

ga ega bo'lamiz, bu yerda n — pog'onalar soni.

(1) formulani tahlil qilaylik. $v_n = 10,5$ km/s, $A = 0,1$ deb olamiz. U holda $n = 2, 3, 4$ ga nisbatan mos ravishda $m_0 = 149 m_r$, $m_0 = 77 m_p$, $m_0 = 65 m_p$ deb olamiz. Bu degani, ikki pog'onali raketa foydali massani orbitaga chiqarishga layoqatlidir (ammo bir tonallik foydali yukda 149 tonnalik vaznli raketaga ega bo'lish darkor). Uchinchi pog'onaga o'tish raketaning massasini deyarli ikki marta kamaytiradi (ammo uning tuzilmasini murakablashtiradi), to'rt pog'onali raketa esa uch pog'onaliga nisbatan sezilarli yutuqni bermaydi.

Iyerarxik zanjirni qurish natijasida bu kabi muhim xulosalarga nisbatan oson yo'l bilan kelindi. Matematik modellarning iyerarxiyasi teskari "murakkabdan osonga qarab" tamoyili bo'yicha ham quriladi. Bunday holatda "yuqoridan pastga" tartibda ish ko'riladi - umumiy va murakkab modeldan soddalashtiruvchi farazlar asosida nisbatan soddaga (ammo tadbir etilish doirasi ancha tor bo'lgan) modellar ketma-ketligi hosil qilinadi.

2. IMITATSIYALI MODELLASHTIRISH

2.1. Modda va energiya muvozanatining modeli

Modda va energiyaning muvozanatini hisobga olgan differensial tenglamalarga asoslanuvchi modelga misol ko'raylik. Ma'lumki, tabiatda, hattoki eng qulay sharoitlarda ham daraxtning o'sishi ma'lum bir chegaradan oshmaydi. Nima uchun hamma daraxtlar tabiati qanday bo'lishidan qat'iy nazar, avvaliga tez o'sib, so'ngra o'sish sur'atlari sekinlashadi va nihoyat umuman o'sishdan to'xtab qoladi?

Ongli ravishda shunisi ravshanki, daraxt o'sishi bilan fotosintez tufayli energiya ko'payadi, boshqa tomondan esa ozuqaviy moddalarni daraxtning butun hajmi bo'yicha uzatish bilan bog'liq qiyinchiliklar paydo bo'ladi, bundan esa energiyaning katta qismi shu kabi ehtiyojlarga sarf bo'ladi. Va nihoyat, shunday vaqt momenti keladiki, daraxt o'zining o'sishi bilan paydo bo'ladigan yangi energiya xarajatlarni qoplash uchun yetarli bo'lmay qoladi va daraxt o'sishdan to'xtaydi. Bu kabi ongli mulohazalar asosida gipotezalar bayon qilinib, model qurish, so'ngra esa mulohaza qilish mumkin.

Poletayev I.A. tomonidan taklif etilgan modelni o'rganib chiqamiz. Bu model quyidagi soddalashtiruvchi farazlarga asoslangan:

1. Yetuk yoshdagi o'simlik o'sish jarayonida geometrik o'xshashlikni saqlab qoladi. Bu degani, yetuk daraxtda o'sish davomida geometrik o'lchamlarning nisbati, masalan balandlikning diametrga nisbati ($h/d = const$) o'zgarmasdan qoladi.

2. Erkin energiyani (yoki faol moddani) o'simlik faqatgina fotosintez yo'li bilan oladi.

3. Erkin energiya fotosintezga, tirik tanani qurish (o'sish) va eritmani tuproqdan ko'tarish uchun sarf bo'ladi.

4. Katta vaqt oraliklarida o'simlik tanasining birlik yuzasiga to'g'ri keluvchi o'zgarmas miqdordagi yorug'likni oladi (kunlik va mavsumiy tebranishlarni hisobga olmagan holda) va tuproqdagi chegaralanmagan zahiradan kerakli moddalarni yutadi.

Endi muvozanat tenglamasini qurish mumkin bo‘ladi. x – daraxtning balandligi bo‘lsin; u holda 1-chi farazga ko‘ra, barg sathining yuzasi x^2 ga, o‘simlik hajmi esa x^3 kattalikka proporsional bo‘ladi. Ma’lumki, x vaqt o‘tishi bilan o‘zgaradi: $x = x(t)$. Muvozanat tenglamasida qatnashgan barcha kattaliklarni x orqali ifodalashga harakat qilamiz. Avvalambor, kelib tushuvchi E erkin energiyaga mos keluvchi ifodani topamiz. Bu energiya fotosintez tufayli hosil bo‘ladi. O‘simlikning yashil qismi qanchalik ko‘p bo‘lsa, energiya shunchalik katta bo‘ladi. Shunday qilib, E x^2 ga proporsional deb hisoblash mumkin: $E = \alpha x^2$, bu yerda α - proporsionallik koeffitsiyenti (u barglarning o‘lchami va shakliga bog‘liq bo‘lib, konkret turdagi o‘simlik uchun uni o‘zgarmas deb hisoblash mumkin).

2-farazga ko‘ra boshqa energiya manbalari yo‘q va shuning uchun energiyaning sarf bo‘lishini kuzatib borish mumkin. Energiyaning bir qismi avvalambor, fotosintez jarayonini o‘zini amalga oshirish uchun sarf bo‘ladi. Bu xarajat ham x^2 ga bog‘liq bo‘lib, uni βx^2 ko‘rinishda ifodalash mumkin, bu yerda β α dan kichik bo‘lgan proporsionallik koeffitsiyenti. So‘ngra energiya ozuqaviy eritmani o‘simlikning barcha qismlariga yetkazib berish uchun sarf bo‘ladi. Yetkazib beriluvchi yo‘llar, ya’ni, o‘simlikning hajmi qanchalik katta bo‘lsa, xarajat ham shunchalik katta bo‘ladi. Bundan tashqari, bu xarajat og‘irlik kuchini yengib o‘tish bilan bog‘liq bo‘lib, ozuqaviy moddalarni qanchalik kattaroq balandlikka ko‘tarish kerak bo‘lsa, u ham shunchalik katta bo‘ladi. Shunday qilib, bu xarajat ham x^3 hajmga, ham x balandlikka bog‘liq bo‘lib, uni hajm va balandliklarning ko‘paytmasi, ya’ni ρx^3 ga proporsional deb hisoblash mumkin.

Va nihoyat, energiya o‘simlik massasini orttirishga, ya’ni o‘sishga sarf bo‘ladi. Bu xarajat o‘sish tezligiga, ya’ni massaning vaqt bo‘yicha olingan hosilasiga proporsional ($m = \rho x^3$, bu yerda ρ - o‘simlikning o‘rtacha zichligi, x^3 – hajm). Shunday qilib, oxirgi xarajat

$$\delta \frac{d}{dt} (\rho x^3)$$

ko‘rinishda ifodalanishi mumkin, bu yerda δ – proporsionallik koeffitsiyenti.

Energiyaning saqlanish qonuniga ko‘ra (aytib o‘tilgan farazlarni hisobga olgan holda) energiyaning sarf bo‘lishi uning kelib tushishiga teng bo‘lishi kerak, bundan quyidagi muvozanat tenglamasiga ega bo‘lamiz:

$$\alpha x^2 = \beta x^2 + \gamma x^4 + \delta \frac{d}{dt}(\rho x^3)$$

yoki

$$\alpha x^2 = \beta x^2 + \gamma x^4 + \delta \rho 3x^2 \frac{dx}{dt}. \quad (1)$$

Bu munosabat $x(t)$ ga nisbatan differensial tenglamani ifodalaydi.

Tenglamani noldan farqli bo‘lgan $3\delta\rho x^2$ ifodaga bo‘lib va

$$a = \frac{\alpha - \beta}{3\delta\rho} > 0; \quad b = \frac{\gamma}{3\delta\rho} > 0$$

belgilashlarni kiritgandan so‘ng, $\frac{dx}{dt} = a - bx^2$, $x(0) \approx 0$ (2)

munosabatlarga ega bo‘lish mumkin.

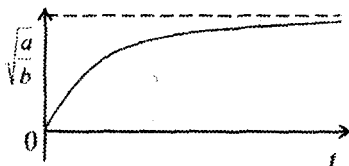
Daraxt o‘shib borayotganligi tufayli, dx/dt hosila musbat. Bu degani $a - bx^2 > 0$, demak, $x^2 < a/b$. Shuning uchun, (2) ifodani integrallab,

$$\ln \frac{\sqrt{\frac{a}{b}} + x}{\sqrt{\frac{a}{b}} - x} = 2\sqrt{ab}(t - t_0)$$

ga ega bo‘lamiz, bu yerdan

$$x(t) = \sqrt{\frac{a}{b} \frac{1 - e^{-2\sqrt{ab}(t-t_0)}}{1 + e^{-2\sqrt{ab}(t-t_0)}}}.$$

Bu formula daraxt o‘shishining vaqt bo‘yicha egri chizig‘ini beradi (2.1-rasm).



2.1.- rasm

Agarda a va b lar ma'lum bo'lsa (ular daraxtning turiga bog'liq bo'ladi), u holda mazkur formula bo'yicha berilgan turdagi daraxtning yoshiga qarab o'rtacha o'sishini aniqlash mumkin. Modelning real tajribaviy vaziyatlarda sinovdan o'tkazilishi uning adekvatligini tasdiqlab berdi. Demak, uning asosida yotgan farazlar haqiqatga zid emas.

Masala. O'rmondagi daraxtlarning maksimal balandligi 50 metr 40-yoshli daraxtlarni kesib, sellyuloza tayyorlashda xomashyo sifatida ishlatadilar. Bu daraxtlarning o'rtacha balandligi 15 metr a va b koeffitsiyentlarni aniqlang va modelni quring.

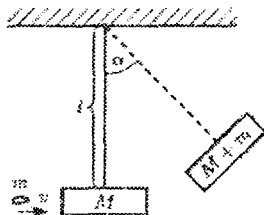
Yechish sxemasi. (t) yosh ortib borishi bilan, $x(t)$ balandlik $\sqrt{\frac{a}{b}}$ ga yaqinlashib boradi (tenglamaning yechimiga qarang).

$$\begin{cases} \sqrt{\frac{a}{b}} = 50 \\ \sqrt{\frac{a}{b}} \frac{1 - e^{-2\sqrt{ab}40}}{1 + e^{-2\sqrt{ab}40}} = 15 \end{cases}$$

Bu sistemani yechish natijasida a va b koeffitsiyentlarning qiymatlarini topish mumkin bo'ladi.

2.2. Energiyaning saqlanish qonuni modeli

Bu qonun qariyb ikki yuz yillardan buyon ma'lum bo'lib, tabiatning buyuk qonunlari orasida alohida o'rinni egallaydi. Bu qonunga tayanib, yaqin atrofda maxsus laboratoriyaga ega bo'linmasada, to'pponcha o'qining tezligini tezkor aniqlash niyatida mayatnik turidagi nisbatan oson qurilma - mustahkam va erkin aylanuvchi yengil sterjenga osilgan yukdan foydalanish mumkin (2.2. rasm).



2.2.-rasm. Matematik mayatnik

Faraz qilaylik, m massali o'q M massali yukka v tezlik bilan otilsin. Natijada yukda tiqilib qolgan o'q "o'q-yuk" sistemasiga o'zining kinetik energiyasini beradi. Bu kinetik energiya sterjenning vertikaldan eng yuqori chetlashish momentida "o'q-yuk" sistemasining potensial energiyasiga o'tadi.

Bu o'tishlar quyidagi tengliklar zanjiri orqali tasvirlanadi:

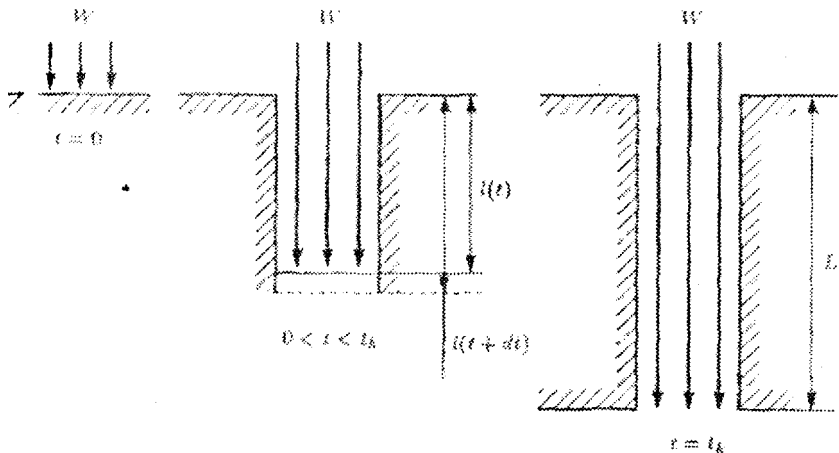
$$\frac{mv^2}{2} = (M + m)\frac{V^2}{2} = (M + m)gl(1 - \cos\alpha).$$

Bu yerda $mv^2/2$ - v tezlikka ega bo'lgan m massali o'qning kinetik energiyasi, M - yukning massasi, V - "o'q-yuk" sistemasining to'qnashuvdan keyingi tezligi, g - erkin tushish tezlanishi, l - sterjenning uzunligi, α - vertikaldan eng yuqori chetlashish burchagi.

Izlanayotgan tezlik quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$v = \sqrt{\frac{2(M + m)gl(1 - \cos\alpha)}{m}}.$$

Bu qiymat o'q va yukni isitish, havoning qarshiligini yengish, sterjenni tezlashtirish va h.k. larga sarf bo'lgan energiyalar unchalik katta bo'lmaganida aniq ko'rinishga ega bo'ladi. Bir qarashda o'rinli hisoblangan mazkur mulohaza aslida to'g'ri emas. O'q va mayatnikning "yopishish"i paytida sodir bo'ladigan jarayonlar endilikda sof mexanik jarayonlar emas. Shuning uchun V kattalikni hisoblashda qo'llanilgan mexanik energiyaning saqlanish qonuni o'rinli emas: sistemaning mexanik energiyasi emas, to'liq energiyasi saqlanadi. U o'qning tezligini baholash uchun quyi chegarani beradi, xolos (bu sodda masalani to'g'ri yechish uchun impulsning saqlanish qonunidan ham foydalanish kerak).



2.3.-rasm. Metalni lazer bilan o'yishning bosqichlari.

Shunga o'xshash mulohazalarni muhandis ham L qalinlikdagi metallqatlamini nurlanishi materialning sirtiga perpendikulyar bo'lgan W quvvatli lazer bilan o'yish vaqti t_k ni baholashda ham tabdiq etishi mumkin (4).

Agarda lazerning energiyasi $LS\rho$ (S – nurlanuvchi yuza, LS – ustunchaning hajmi, ρ – moddaning zichligi) massali metall ustunchasining bug'lanishiga to'liq sarf bo'lsa, u holda energiyaning saqlanish qonuni quyidagi tenglik bilan ifodalanadi:

$$E_0 = W t_k = h L S \rho, \quad (1)$$

bu yerda h – birlik massaning bug'lanishi uchun kerak bo'ladigan energiya. h kattalik tarkibli tuzilmaga ega: $h = (T_{pl} - T)h_1 + h_2 + h_3$, chunki materialni ketma-ket ravishda erish temperaturasi T_{pl} gacha isitish, so'ngra qizitib, bug'ga aylantirish kerak (T – boshlang'ich temperatura, h_1 – solishtirma issiqlik sig'imi, h_2 va h_3 – mos ravishda erish va bug' hosil qilishning solishtirma issiqligi).

O'yish chuqurligi $l(t)$ ning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi t dan $t+dt$ gacha bo'lgan vaqt oralig'idagi energiyaning muvozanatidan aniqlanadi. Bu vaqt ichida bug'langan

$$[l(t+dt) - l(t)] S \rho = dLS\rho$$

massaga dl $hS\rho$ energiya sarf bo'lib, bu energiya lazer tomonidan moddaga uzatiladigan Wdt energiyaga teng bo'ladi:

$$dl hS\rho = W dt$$

Bu yerdan quyidagi differensial tenglama

$$\frac{dl}{dt} = \frac{W}{hS\rho}$$

kelib chiqadi. Tenglamani integrallash (boshlang'ich o'yish chuqurligi nolga tengligini hisobga olgan holda) natijasida

$$l(t) = \frac{W}{hS\rho} t = \frac{E(t)}{hS\rho} \quad (2)$$

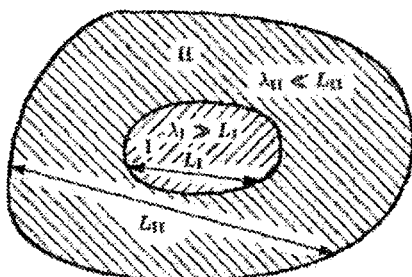
ga ega bo'lamiz, bu yerda $E(t)$ – lazer tomonidan t vaqt momentigacha ajralgan to'la energiya. Demak, o'yish chuqurligi sarf bo'lgan energiyaga proporsionaldir.

Aslida o'yish jarayoni o'rganib chiqilgan sxemaga qaraganda ancha murakkabdir – energiya moddani isitish, noto'g'ri shaklda bo'lishi mumkin bo'lgan o'ymadan bug'larni yo'qotish uchun sarf bo'ladi. Shuning uchun, taklif etilgan matematik modelning to'g'riligiga ishonch unchalik katta emas. Obyekt va uning modeli o'rtasidagi muvofiqlik to'g'risidagi masala – matematik modellashtirishdagi markaziy masalalardan biri bo'lib, kelgusida biz unga yana ko'p marotaba qaytamiz.

2.3. Modda massasining saqlanish qonuni modeli

Maktab o'quvchisi ikkita quvurdan oqib keluvchi va chiquvchi suv bilan basseyni to'ldirish to'g'risidagi masalani yechish paytida aynan bu mulohazaga tayanadi. Albatta mazkur qonunning tadbiiq etilish doirasi bunga qaraganda yanada kengroqdir.

Faraz qilaylik, radioaktiv modda (uran) "oddiy" material (qo'rg'oshin) ning qalin qatlami bilan o'ralgan bo'lsin. Ushbu holat bo'linuvchi materiallarni saqlashda yoki ulardan energetikada foydalanishda uchrab turadigan tabiiy holdir.



2.4.-rasm. Radioaktiv chiqindilarni saqlash sxemasi

“Katta bo‘lmagan” iborasi ostida soddalashtirilgan hol, aniqrog‘i, yemirilishda qatnashgan barcha mahsulotlar moddaning atomlari bilan to‘qnashmagan holda I-chi sohani hech qanday qiyinchiliklarsiz tark etishi tushuniladi. Boshqa so‘z bilan aytganda, birinchi moddadagi yemirilish mahsulotlarining erkin yugurib o‘tish uzunligi λ_I materialning xarakterli o‘lchami L_I dan anchagina kattadir, ya‘ni $\lambda_I \gg L_I$. Agar ikkinchi moddadagi yemirilish mahsulotlarining erkin yugurib o‘tish uzunligi materialning xarakterli o‘lchamidan anchagina katta, ya‘ni $\lambda_{II} \ll L_{II}$ bo‘lsa ajraluvchi mahsulotlar II sohada to‘la yutiladi (2.4.-rasm).

Shunday qilib, I-chi sohadan uchib chiqadigan barcha moddalar II-chi sohada yutiladi va ikkala moddaning umumiy massasi vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmaydi. Aytib o‘tilgan mulohazalar berilgan vaziyatga nisbatan tadbiq etilgan moddaning saqlanish qonunidir. Agarda boshlang‘ich vaqt momenti $t=0$ da moddalarning massalari mos holda $M_I(0)$ va $M_{II}(0)$ teng bo‘lgan bo‘lsa, u holda ixtiyoriy vaqt momentida

$$M_I(0) + M_{II}(0) = M_I(t) + M_{II}(t) \quad (3)$$

muvozanat o‘rinli bo‘ladi. Ikkita $M_I(t)$ va $M_{II}(t)$ massalarning joriy qiymatlarini aniqlash uchun (3) tenglamaning o‘zi yetarli bo‘lmaydi. Matematik bayonni oxiriga yetkazish uchun yemirilish jarayonini qo‘shimcha mulohazalarni jalb etgan holda o‘rganish kerak. Ushbu mulohaza quyidagicha: yemirilish tezligi (birlik vaqt ichida yemiriluvchi atomlar soni) radioaktiv moddadagi atomlarning umumiy soniga proporsional. t va $t+dt$ momentlar orasidagi dt vaqt oralig‘ida jami

$$N_I(t+dt) - N_I(t) = -\alpha N_I(t) + \xi dt, \quad \alpha > 0, \quad 0 < \xi < 1,$$

ta atom yemiriladi. Bu yerda moddaning saqlanish qonuni t itun jarayonga emas, faqatgina dt vaqt oralig'ini uchun ikkinchi maraba qo'llanilgan. Atomlarning muvozanatini ta'riflovchi mazkur tenglamaning o'ng tomonida minus ishorasi turibdi (modda kamayadi), $N_I(t + \Delta t)$ kattalik esa ko'rilayotgan vaqt ichida atomlar sonining o'rtacha qiymatini ifodalaydi. Uni differensial shaklda yozib olamiz:

$$\frac{dN_I(t)}{dt} = -\alpha N_I(t).$$

$M_I(t) = \mu N_I(t)$ ekanligini hisobga olgan holda, bu yerda μ – I moddaning atom vazni,

$$\frac{dM_I(t)}{dt} = -\alpha M_I(t) \quad (4)$$

ga ega bo'lamiz. O'z-o'zidan chiqaruvchi radioaktivlikda har qanday atom o'zining atrofidagi moddaning holatiga bog'liq bo'lmagan yemirilish ehtimolligiga ega bo'ladi. Shuning uchun, radioaktiv modda qanchalik ko'p (kam) bo'lsa, birlik vaqt ichida shunchalik ko'p (kam) mahsulot ajralib chiqadi. Proporsionallik koeffitsiyenti $\alpha > 0$ (emirilish doimiysi) har bir konkret modda uchun o'zining aniq qiymatiga ega.

(3), (4) tenglamalar $\lambda_I \gg L_I$, $\lambda_{II} \ll L_{II}$ shartlar hamda $M_I(0)$, $M_{II}(0)$ kattaliklar bilan birgalikda o'rganilayotgan obyektning matematik modelini tashkil etadi.

(4) ni integrallab, bo'linuvchi (ajraluvchi) moddaning massasi eksponensial qonun bo'yicha kamayishiga guvoh bo'lamiz

$$M_I(t) = M_I(0)e^{-\alpha t},$$

va $t \rightarrow \infty$ da I-chi sohada modda butunlay yo'qoladi, Ya'ni I sohadagi moddalar butunlay II-chi sohaga o'tib ketadi. Umumiy massa (3) ga ko'ra o'zgarmasdan qolganligi uchun, II-chi sohadagi modda miqdori ortib boradi:

$$M_{II}(t) = M_{II}(0) + M_I(0) - M_I(0)e^{-\alpha t} = M_{II}(0) + M_I(0)(1 - e^{-\alpha t}),$$

va $t \rightarrow \infty$ da yemiriluvchi moddalar I-chi sohadan butunlay II-chi sohaga o'tib ketadi.

2.4. Impulsning saqlanish qonuni modeli

Ma'lumki, shamol bo'lmasa dengiz sathida qo'zg'almasdan turgan qayiqning bir uchidan ikkinchi uchiga qarab bir necha qadam qo'yilsa, qayiq harakatlanishni boshlaydi. Impulsning saqlanish qonuni aynan shu yerda o'zini namoyon qiladi, bu

qonuniga ko'ra: sistema tashqi ta'sirga uchramasa sistemaning impulsi saqlanadi. Yeshkaklar harakatga keltirilgandan so'ng qayib, bu harakatga qarama-qarshi tomonga siljish bilan harakatlanadi.

Ko'pgina ajoyib texnik qurilmalar reaktiv harakat prinsipiga aslangan. Masalan, sun'iy yo'ldoshni Yer atrofidagi orbitaga chiqaruvchi raketa tezligini birinchi kosmik tezlik $- 8 \text{ km/s}$ ga yetkazishi zarur.

Raketa harakatining eng sodda matematik modeli havoning qarshiligi, yerning tortish kuchini hisobga olmagan holda impulsning saqlanish qonunidan kelib chiqadi.

Raketa yoqilg'i bakidagi yonish mahsulotlaridan hosil bo'lgan gaz yoqilg'i bakidan u tezlik (zamonaviy yoqilg'ilarga nisbatan bu kattalik $3-5 \text{ km/s}$ ga teng) bilan chiqib ketsin. t va $t+dt$ momentlar orasidagi kichik vaqt oralig'i dt da yonilg'ining bir qismi yonadi va raketaning massasi dm kattalikka o'zgaradi. Shuningdek, raketaning impulsi ham o'zgaradi, ammo "raketa plyus yoqilg'i mahsulotlari" sistemasining impulsi t vaqtdagi kabi o'zgarmasdan, saqlanib qoladi, Ya'ni

$$m(t)v(t) = m(t+dt)v(t+dt) - dm[u(t+\xi dt) - u].$$

Bu yerda $v(t)$ - raketaning tezligi, $v(t+\xi dt) - u$, $0 < \xi < 1 - dt$ vaqt oralig'ida yoqilg'i bakidan ajralib chiqadigan gazlarning o'rtacha tezligi (ikkala tezlik ham Yerga nisbatan olinadi). Bu tenglikning o'ng qismida turgan birinchi had - raketaning $t+dt$ vaqt momentidagi impulsini, ikkinchisi - dt vaqt ichida yoqilg'i bakidan ajralib chiqadigan gazlarning impulsini anglatadi.

$$m(t+dt) = m(t) + (dm/dt)dt + O(dt^2)$$

tenglikni hisobga olgan holda, impulsning saqlanish qonunini quyidagi differensial tenglama ko'rinishida yozib olish mumkin

$$m \frac{dv}{dt} = - \frac{dm}{dt} u,$$

bu yerda $- (dm/dt) u$ had raketa dvigatellarining tortish kuchi bo'lib, uni

$$\frac{dv}{dt} = -u \frac{d(\ln m)}{dt},$$

ko'rinishga keltirib olgandan so'ng, osongina integrallash mumkin:

$$v(t) = v_0 + u \ln \left(\frac{m_0}{m(t)} \right),$$

bu yerda v_0 , m_0 – mos ravishda raketaning $t=0$ vaqt momentdagi tezligi va massasi. Agarda $v_0=0$ bo'lsa, u holda raketa yoqilg'isining to'la yonib bo'lganida erishiladigan raketaning maksimal tezligi

$$v = u \ln \left(\frac{m_0}{m_p + m_s} \right) \quad (5)$$

ga teng. Bu yerda m_p – foydali massa (sputnik massasi), m_s – struktura massasi (raketaning massasi yoqilg'i baxlari, dvigatellar, boshqaruv tizimlari va h.k. larning massalaridan tashkil topadi).

Siolkovskiyning (5) sodda formulasi kosmik uchishlar uchun raketaning strukturasi qanday bo'lishi kerakligi to'g'risida fundamental xulosani chiqarishga imkon beradi.

$$\lambda = \frac{m_s}{m_0 - m_p},$$

kattalikni kiritaylik. Bu kattalik $m_r=0$ da raketaning strukturaviy va boshlang'ich massalari nisbatini ifodalaydi. U holda haqiqiy $\lambda=0,1, \alpha=3$ km/s qiymatlarga nisbatan, $m_r=0$ da

$$\lambda = \frac{m_s}{m_0 - m_p},$$

ga ega bo'lamiz. Bu yerdan hattoki eng ideal vaziyat (foydali massa nolga teng, yerning tortish kuchi va havoning qarshiligi yo'q bo'lgan) da ham o'rganilayotgan turdagi raketa birinchi kosmik tezlikka erisha olmasligi kelib chiqadi. Shu tufayli, kosmonavtikaning asoschilari kelgan xulosaga ko'ra, ko'p pog'onali raketalardan foydalanish lozimdir.

Keltirilgan misol shu jumladan murakkab obyektlarni matematik modellashtirishning boshlang'ich davrida qo'llaniladigan "eng katta qulaylik" prinsipini namoyish qiladi: agarda eng yaxshi sharoitlarga qo'yilgan obyekt kerakli xarakteristikalariga erisha olmasa, u holda obyektga nisbatan yondashuvni o'zgartirish yoki unga qo'yilgan talablarni yumshatish lozim; agarda talablarga erishib bo'lsa, u holda keyingi qadamlar obyektga nisbatan qo'shimcha murakkablashtiruvchi omillarning ta'sirini o'rganish bilan bog'liqdir.

3. OMMAVIY XIZMAT KO'RSATISH TIZIMLARINI MODELLASHTIRISH

3.1. Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlari modellari

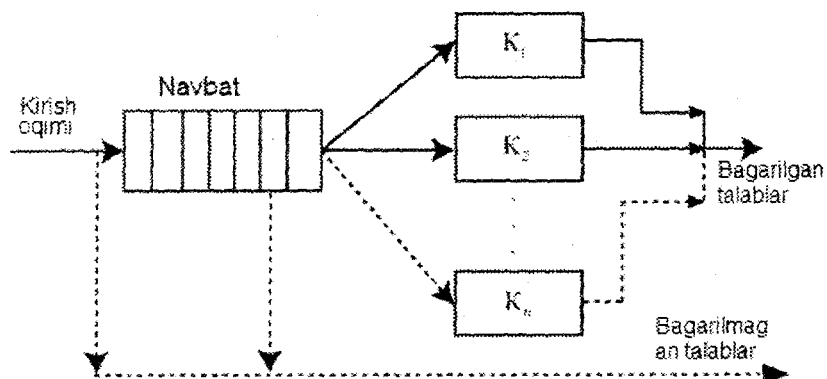
Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlari – bu unga tushadigan talablarni amalga oshiradigan tizimdir. Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlarida talablarni amalga oshirish xizmat ko'rsatish qurimlari bilan bajariladi.

Klassik ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlari birdan cheksizgacha qurilmalarni o'z ichiga oladi.

Ishlab chiqarishni boshqarish, axborot, tarmoqlar transport tizimlari optimallashtirish masalalarini hal etishda ko'pincha bir qator o'xshash muammolar paydo bo'ladi:

- aloqa kanallar, avtomobil va temir yo'llarining sig'imligini baholash va boshqalar;
- korxonalar, kompyuter tarmoqlari ishlashining samaradorligini baholash;
- aloqa kanallari va transport aloqa yo'llarini (marshrutlari) sonini aniqlash va boshqalar.

Barcha bu masalalarning o'xshashligi ularda ommaviy xizmat ko'rsatishga talab mavjudligidan iborat. Bu talabni qondirishda ommaviy xizmat ko'rsatish tizimini tashkil qiluvchi aniq bir elementlar majmui ishtrok etadi (3.1.-rasm).



Rasm 3.1. Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi

Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi elementlari quyidagilarda iborat:

- xizmat ko'rsatishga talablar (so'rovlar) kirish (kiruvchi) oqimi;
- xizmat ko'rsatish qurilmalari (kanallari);
- xizmat ko'rsatishni kutayotgan talablar navbati;
- chiqish (chiquvchi) xizmat ko'rsatilgan talablar oqimi;
- xizmat ko'rsatilmagan talablar oqimi;
- bo'sh kanallar navbati (ko'p kanalli ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlari uchun).

Kirish oqimi – bu xizmat ko'rsatish talablar majmui. Ko'pincha talab uni tashuvchisi bilan belgilanadi. Masalan, birlashmaning ustaxonasiga keladigan buzilgan radioappaturalar oqimi bu ommaviy xizmat ko'rsatish tizimida xizmat ko'rsatishga talablar oqimidan iborat.

Odatda amal rekurrent oqimlar deb nomlanuvchi, quyidagi xususiyatlarga ega oqimlar bilan shug'ullanadilar:

- statsionarlik (turg'unlik);
- ordinarlik (oddiylik);
- amaldan so'ng cheklanganligi.

Amaldan so'ng cheklanganligi oqibatiga kelganda, bu tizimga tushayotgan talablar (so'rovlar) orasidagi intervallar ixtiyoriy tasodifiy o'zgaruvchi miqdordir.

Rekurrent oqimlar ko'p uchraydi. Har bir interval taqsimlanish qonuni o'zining rekurrent oqimini hosil qiladi. Rekurrent oqimlari boshqacha qilib Palma oqimlari deyiladi.

Sodda statsionar oqim – bu Puasson oqimi bo'lib, unda so'rovlar orasidagi tasodifiy intervallar eksponensial taqsimlangan.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

bunda λ - oqimlar jadalligi.

Puasson oqimining nomi Δt vaqt intervalida k so'rovlarning $P_k(\Delta t)$ extimoli bilan paydo bo'lishi Puasson qonuni asosida aniqlangan:

$$P_k(\Delta t) = \frac{(\lambda \cdot \Delta t)^k}{k!} e^{-\lambda \Delta t}.$$

Aynan shu ko'rinishdagi oqimni ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlari ishlab chiqishda loyihalovchilar tomonidan taklif qiladi.

Birinchidan, ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlaridagi bu turdagi oqim ehtimollik nazariyasidagi normal tarqalgan qonunga mos keladi. Chunki, ixtiyoriy xususiyatli oqim limit o'tkazish anosida sodda statistik oqimiga keltiradi. Sodda statistik oqim esa oqimlar soni cheksizga o'sganda ixtiyoriy xususiyatli oqimlarning yig'indisini tashkil qiladi va ularning intensivligi kamayadi. Ya'ni λ_i intensivlarigi ega ixtiyoriy bog'lanmagan oqimlar yig'indisi

$$\lambda = \sum_i \lambda_i$$

qiymatga ega sodda oqim hisoblanadi.

Ikkinchidan, agar xizmat kanallari (qurilmalari) so'rovlarining sodda oqimlariga mo'ljallangan bo'lsa, u holda boshqa turdagi oqimlarga xizmat qilishni ta'minlash (bir xil intensivlik bilan) undan kam bo'lmagan samaradorlikda amalga oshiriladi. Uchinchidan, tizimda xuddi shunday oqimni Markov jarayoni aniqlaydi, va shuning uchun tizimning matematik tahlili qulay.

Ko'pincha xizmat ko'rsatishda bo'lgan kirish oqim so'rovlarining soni so'rovlar soniga bog'liq bo'lgan tizimlar uchraydi. Bunday ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlari *yopiq*, aks holda *yopiq emas* deyiladi. Misol uchun, birlashmaning aloqa ustaxonasi faoliyati yopiq ommaviy xizmat ko'rsatish tizimining yopiq modeli bilan tasvirlanishi mumkin. Faraz qilaylik, bu ustaxona m -ta radiostansiyaga xizmat qilishga mo'ljallangan. Ularning har birini λ ishdan chiqish intensivligiga ega. Ishdan chiqqan apparatning kirish oqimi λ_p ga teng intensivlikga ega bo'ladi:

$$\lambda_p = \lambda(m - n),$$

bunda n - ustaxonada ta'mirlashdagi bo'lgan radiostansiyalar soni.

Xizmat ko'rsatish kelgan so'rovlar uchun har xil huquqlarga ega bo'lishi mumkin. Bu holda so'rovlar *bir jinsli emas* deb aytiladi. Bir oqim so'rovlarining boshqalaridan avzalligi ustuvorlik shkalasi bilan beriladi.

Variatsiya koeffitsiyenti kirish oqimining muhim xususiyati hisoblanadi va so'rovlar notekis tushishligining darajasini aks ettiruvchi xususiyati:

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{\tau}_{mux}}$$

bu yerda

$\bar{\tau}_{mux}$ – interval uzunligining matematik kutilishi;

σ – tasodifiy miqdor,

τ_{mux} – (interval uzunligining) o'rtta kvadratik chetlanishi.

Sodda oqim uchun $\left(\sigma = \frac{1}{\lambda} \tau_{mux} = \frac{1}{\lambda}\right) : \nu = 1$ bo'ladi.

Ko'pchilik real oqimlar uchun $0 \leq \nu \leq 1$, $\nu = 0$ bo'lganda oqim regulyar, deterministik deyiladi.

3.2. Xizmat ko'rsatish kanallari faoliyatini modellashtirish

Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlarida bir yoki bir necha xizmat ko'rsatish kanallari (qurilmalari) bo'lishi mumkin. Shunga nisbatan ular bir yoki ko'p kanallik deb ataladi. Ko'p kanallik ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi bir yoki harxil turli qurilmalardan iborat bo'lishi mumkin.

Xizmat qiluvchi qurilmalar quyidagilardan iborat:

- aloqa chizig'i;
- ta'mirlash ustaxonasining ustasi, sotuvchilar, kassirlar;
- kompyuter tarmoqlaridagi marshrutizatorlar;
- transport vositalari
- to'lov terminallari;
- serverlar va boshqalar.

Kanalning asosiy xususiyati – xizmat ko'rsatish (muddati) vaqti. Odatda, xizmat ko'rsatish muddati – tasodifiy miqdordir.

Odatda amaliyotda, xizmat ko'rsatish muddati eksponensial qonun bo'yicha taqsimlanadi:

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}, f(t) = e^{-\mu t},$$

$$\mu = \frac{1}{\bar{\tau}_{mux}};$$

bu yerda

μ xizmat ko'rsatish intensivligi;

$\bar{\tau}_{mux}$ xizmat ko'rsatish muddatining matematik kutilma.

Ya'ni, bu xizmat ko'rsatish turi - Markov jarayonidir, bu esa kompyuter vositasida modellashtirishda muhim qulayliklar yaratadi. Yeksponensialdan tashqari, Yerlang k - taqsimlanishi,

giperekspontsional, uchburchak, va bir qancha boshqalar mavjud. Bular bizni adashtirmasligi kerak, chunki ommaviy xizmat ko'rsatish tizimining samaradorlik mezoni qiymatlari xizmat ko'rsatish muddati extimollik taqsimlash konuni turiga kichik miqdorda boglangan.

Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimini tadqiq qilishda xizmat ko'rsatishning mohiyati, sifatini bizda ko'rib chiqilmadi. Kanallar juda ishonchli bo'lishi mumkin, ya'ni ishdan chiqmaydigan. Aniqrog'i tadqiqotda shunday deb kabul qilish mumkin. Kanallar yakuniy ishonchlikka ega bo'lishi mumkin. Bu holda ommaviy xizmat ko'rsatish tizimining modeli ancha murakkab bo'ladi.

So'rovlar navbati. So'rovlar oqimining tabiyati va xizmat ko'rsatish tasodifiy bo'lgani sababli, kelgan so'rov uchun kanal yoki kanallar avvalgi surovga xizmat ko'rsatish bilan band bo'lishi mumkin. Bu holda surov yoki ommaviy xizmat ko'rsatish tizimidan xizmat ko'rsatilmay chiqib ketishi mumkin, yoki xizmat ko'rsatish boshlanishini kutib tizimda qolishi kerak.

Bunga asosan ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlar ajratiladi:

- rad qilish bilan ifodalanadigan ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi;
- kutish bilan ifodalanadigan ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi;

Kutish asosidagi ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi – navbatlar mavjudligi bilan ifodalanadi. Navbat chekli yoki cheksiz sig'imga ega bo'lishi mumkin: $1 \leq L < \infty$.

Tadqiqotchini odatda so'rovlarni navbatda bo'lishiga bog'liq quyidagi statik xususiyatlari qiziqtiradi:

- tadqiq oralig'idagi navbatdagi o'rtacha so'rovlr soni;
- so'rovni navbatda o'rtacha turib qolish (kutish) vaqti.

Chegaralangan sig'imga ega navbatli ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi aralash turli ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlarga tegishli. Aralash turli ommaviy xizmat ko'rsatish tizimilari – ularda so'rov sig'imidan kat'iy ravishda navbatda cheklanmagan vaqt davomida bo'lishi mumkin. Chiqish oqimi – ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi tomonidan xizmat ko'rsatilgan va uni tark etadigan so'rovlar oqimidir.

4. UZLUKSIZ TIZIMLARNI MODELLASHTIRISH

4.1. Issiqlik tarqalish masalasi

Ko'p fizik masalalar kvazigarmonikli differensial tenglama bilan ta'riflanadi va bu tenglama tarkibida vaqtga bog'liq alohida hosila bor. Natijada quyidagi tenglama hosil bo'ladi:

$$K_x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + Q = \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (1.a)$$

Uning chegaraviy shartlari (1.a) va (1.b) formulari bilan ta'riflanadi.

$$S_1 \text{ da } \varphi = \varphi_B, \quad (1.b)$$

$$K_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} l_x + K_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} l_y + K_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} l_z + q + h(\varphi - \varphi_\infty) = 0 \quad (1.c)$$

Bu yerda (1.a) tenglamasidagi λ o'lchovi materialning ayrim parametri yoki shunday parametrlar kombinatsiyasining yig'indisidan iborat. Tenglamaning barcha koeffitsiyentlari K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} va λ , hamda Q vaqt davomida o'zgarishi mumkin. (1.a) tenglamasini yechishda chekli elementlar usulidan foydalanilganda vaqtga nisbatan alohida hosilali a'zo vaqtning har bir belgilangan onida fazoviy koordinatalar funksiyasi sifatida ko'riladi. Bunday holda (1.a) tenglamani (1.c) tenglamasiga teng deb hisoblash kerak, lekin bunda (2) tenglamadagi Q , $Q - \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial t}$ ayirmaga almashtiriladi.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + Q = 0. \quad (2)$$

Bunday almashuvdan so'ng fizik masalaning yechimi (1) tenglamadagi vaqt intervalining har biri uchun funksionalni minimallashtirishdan iborat bo'ladi. Har bir minimallashtirish oldidan issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti va boshqa o'lchovlar (vaqtga bog'liq bo'lgan o'lchovlar) qaytadan hisoblanishi kerak.

Masalada uch o'lchovli jismga issiqlik ta'sir qiladi. Jismga issiqlik ta'siri boshlangandan Δt vaqtdan keyingi jism elastik parametrlarini aniqlash kerak bo'lsin. Bu elastik parametrlarga quyidagilar kiradi:

- tugun nuqtalar siljishlari: u, v, w ;
- normal kuchlanishlar: $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}$;

- urinma kuchlanishlar: $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$;
- deformatsiya intensivligi: ε_i ;
- kuchlanish intensivligi: σ_i .

Masalani yechishda temperatura maydoni aniqlangan deb faraz qilinadi va elastiklik masalasi chekli elementlar usuli yordamida yechiladi.

(1.1) tenglamasi bilan bog'liq funksional quyidagi ko'rinishga ega

$$\chi = \int_V \frac{1}{2} \left[K_x \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + K_y \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 + K_z \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 - 2 \left(Q - \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) \varphi \right] dV + \int_S q \varphi dS + \int_S \frac{h}{2} \left[\varphi^2 - 2\varphi\varphi_n + \varphi_n^2 \right] dS.$$

Bu ifodasi (3.a) dan faqat hajm integralidan Q o'lchami bilan farq qiladi.

$$\chi = \int_V \frac{1}{2} \left[K_x \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + K_y \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 + K_z \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 - 2Q\varphi \right] dV + \int_S \left[q\varphi + \frac{1}{2} h(\varphi - \varphi_n)^2 \right] dS \quad (3.a)$$

Minimallashtirish natijasida (3b) va (3.v) kabi nisbatlar hosil bo'ladi.

$$[k^{(e)}] = \int_{V^{(e)}} [B^{(e)}]^T [D^{(e)}] dV + \int_{S_1^{(e)}} [M^{(e)}]^T [N^{(e)}] dS \quad (3.b)$$

$$\{f^{(e)}\} = - \int_{V^{(e)}} [Q^{(e)}]^T dV + \int_{S_1^{(e)}} [q^{(e)}]^T dS - \int_{S_2^{(e)}} h\varphi_n [N^{(e)}]^T dS \quad (3.c)$$

Bu nisbatlar quyida keltiriladi.

$$\chi_Q = - \int_V \varphi \left(Q - \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) dV \quad (4)$$

(3) funksional uchun modifikatsiya qilingan Q o'lchamining hissasi (4) tashkil etadi.

$$\chi_Q = \sum_{e=1}^E \int_V \varphi^{(e)} \left(\lambda^{(e)} \frac{\partial \varphi^{(e)}}{\partial t} - Q^{(e)} \right) dV \quad (5)$$

Oxirgi nisbat qayta (5) formulasi bilan ta'riflanadi, chunki φ elementar aniqlanadi. $\varphi^{(e)}$ maydon funksiyasi (6) funksiya bilan belgilanadi, unda $[N^{(e)}]$ -shakl funksiyasi matritsasining kengaytirilma shaklidir.

$$\varphi^{(e)} = [N^{(e)}] \{\varphi\} \quad (6)$$

(6) ifodasini vaqtga nisbatan differensiallashtirish natijasida (7) hosil bo'ladi,

$$\frac{\partial \varphi^{(e)}}{\partial t} = [N^{(e)}] \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad (7)$$

chunki $[N^{(e)}]$ faqat koordinatalar funksiyasi bo'lib, vaqtga bog'liq emas.

(5) ifodasiga (6) va (7) ifodalarini kiritsak (8) chi munosabat hosil bo'ladi.

$$x_Q = \sum_{e=1}^E \int_V \left(\lambda [N^{(e)}]^T \{\Phi\} [N^{(e)}] \frac{\partial \{\Phi\}}{\partial t} - [N^{(e)}] \{\Phi\} Q \right) dV \quad (8)$$

Bu integrallar yig'indisi $\{\Phi\}$ bo'yicha minimallashtirilishi kerak. $\{\Phi\}$ bo'yicha differensiallashtirib (9) ni hosil qilamiz.

$$\frac{\partial x_Q}{\partial \{\Phi\}} = \sum_{e=1}^E - \int_V [N^{(e)}] \cdot Q dV + \sum_{e=1}^E \left(\int_V \lambda [N^{(e)}]^T [N^{(e)}] dV \right) \frac{\partial \{\Phi\}}{\partial t} \quad (9)$$

(9.a) tenglamasidagi ikkinchi nisbat (9) nisbati bilan almashtirish kerak.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \{\Phi\}} \int_{V^{(e)}} Q [N^{(e)}] \{\Phi\} dV &= \int_{V^{(e)}} Q [N^{(e)}]^T dV \\ \frac{\partial}{\partial \{\Phi\}} \int_{S^{(e)}} q [N^{(e)}] \{\Phi\} dS &= \int_{S^{(e)}} q [N^{(e)}]^T dS \end{aligned} \quad (9.a)$$

(9) ni (3) dagi boshqa integrallar differensiallashtirish natijalari bilan birlashtirgandan so'ng minimallashtirish jarayoni quyidagi differensial tenglamalar sistemasiga olib keladi.

$$[C] \frac{\partial \{\Phi\}}{\partial t} + [K] \{\Phi\} + \{F\} = 0 \quad (10)$$

Matritsaning har bir elementi $[K]$, $[C]$ va $[F]$ larning hissasi (11.a), (11.b) va (11.c) formulalari bilan ta'riflanadi.

$$[c^{(e)}] = \int_V \lambda [N]^{(e)T} [N] dV \quad (11.a)$$

$$[k^{(e)}] = \int_B [B]^{(e)T} [D] [B] dV + \int_{S_1} h [N]^{(e)T} [N] dS \quad (11.b)$$

$$\{f^{(e)}\} = - \int_V Q [N]^{(e)T} dV + \int_{S_1} q [N]^{(e)T} dS - \int_{S_2} h \Phi_{\infty} [N]^{(e)T} dS \quad (11.c)$$

(11.a)-(11.c) munosabatlardagi barcha integrallar alohida elementlardan olinadi. Alohida elementlarning hissasini jamlash oddiy usulda amalga oshiriladi. (10) nisbati birinchi darajali chiziqli differensial tenglamalar tizimini hosil qiladi. (10) dagi $[S]$ matritsani demfirlashtirish matritsasi deb ataladi. Bu yagonalik matritsasi. (11.b), (11.c) formulalardagi $[K^{(e)}]$ va $\{f^{(e)}\}$ larni aniqlovchi integrallarni yuqorida ko'rib chiqdik.

Issiqlik o'tkazish masalalarini yechishda (1) formulasida λ o'chami $\rho \cdot s$ ko'paytmasiga teng, bu yerda ρ -zichlik, kg/m^3 , s esa silindri issiqlik sig'imi, $\text{Dj}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{S})$, K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} o'lchamlari yuqorida kiritilgan issiqlik o'tkazish koeffitsiyentiga teng.

$\{\Phi\}$ qiymatini vaqt intervalining har bir nuqtasida olish uchun (10) chiziqli differensial tenglamani yechish kerak bo'ladi. Vaqt bo'yicha xususiy hosilani chekli ayirmali sxema bilan almashtirib yechish mumkin. Chekli ayirmali sxemalardan markaziy ayirmali sxemani qo'llab yechamiz. $\varphi(\tau)$ chiziqda ikkita absissasi t_0 va t_1 bo'lgan, $\Delta t = t_1 - t_0$ masofada joylashgan nuqtalar berilgan bo'lsin. $t_1 - t_0$ interval markazidagi 1-tartibli hosila uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \tau} = \frac{\Phi_1 - \Phi_0}{\Delta t} \quad (12)$$

Agar tugun nuqtalardagi qiymatlarni vaqt funksiyasi sifatida qaraydigan bo'lsak, quyidagicha yozish mumkin bo'ladi.

$$\frac{d\{\Phi\}}{dt} = \{\dot{\Phi}\} = \frac{\dot{\Phi}}{\Delta t} (\{\Phi\}_1 - \{\Phi\}_0), \quad (13)$$

bunda $\{\dot{\Phi}\}$ vaqt intervalining markazida hisoblanar ekan, bu nuqtada $\{\Phi\}$ va $\{F\}$ qiymatini hisoblash kerak bo'ladi. Bu kattaliklar quyidagi taqribiy formulalar orqali aniqlanadi:

$$\{\Phi\}^* = \frac{\dot{\Phi}}{2} (\{\Phi\}_1 + \{\Phi\}_0) \quad (14)$$

$$\{F\}^* = \frac{\dot{F}}{2} (\{F\}_1 + \{F\}_0) \quad (15)$$

(12) - (15) ifodalarni differensial tenglamalar sistemasiga qo'yib quyidagi munosabatga ega bo'lamiz:

$$\frac{\dot{C}}{\Delta t} [C] \{\Phi\}_1 - \frac{\dot{C}}{\Delta t} [C] \{\Phi\}_0 + \frac{\dot{K}}{2} [K] \{\Phi\}_1 + \frac{\dot{K}}{2} [K] \{\Phi\}_0 + \{F\}^* = 0 \quad (16)$$

Bu tenglamani quyidagicha yozish ham mumkin:

$$\left([K] + \frac{\dot{C}}{\Delta t} [C] \right) \{\Phi\}_1 = \left([K] + \frac{\dot{C}}{\Delta t} [C] \right) \{\Phi\}_0 - 2\{F\}^* \quad (17)$$

Tugun nuqtalardagi qiymatlar t vaqt momentida ma'lum deb hisoblab, $t + \Delta t$ vaqt uchun tugun nuqtalardagi qiymatlarni (17) tenglamani yechib olish mumkin. Bunda yakuniy tenglamalar sistemasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$[A] \{\Phi\}_{\text{vaqt } t} = [P] \{\Phi\}_{\text{old}} - \{F\}. \quad (18)$$

$[A]$ matritsa $[C]$ va $[K]$ matritsalar kombinatsiyasidan iborat va vaqt qadami Δt ga bog'liq.

4.2. Tenglamalar sistemasini yechish usuli

Aksariyat hollarda matematik modellashtirish jarayonida tenglamalar sistemasini yechishga to'g'ri keladi. Tenglamalar sistemasini yechish usullari biri kvadrat ildizlar usulidir. Bu usul yuqori tartibli algebrayik tenglamalar sistemi koeffitsiyentlari simmetrik va lentalik ko'rinishga ega bo'lgan holda yechish uchun qulay bo'lgan usullardan biridir.

Uning ma'nosi $A\delta = A$ chiziqli tenglamalar sistemasining $[A]$ matritsa elementlari ikki o'zaro transponirlangan uchburchak matritsalar ko'paytmasi ko'rinishida tasvirlanadi: $[A] = [T][T]$, u holda $[A](X) = (B)$ tenglamalar sistemi quyidagi ikki uchburchak ko'rinishidagi matritsali tenglamalar sistemasiga ajraladi:

$$[T](Y) = (B) \text{ va } [T](X) = (Y).$$

bu yerda

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1n} \\ 0 & t_{22} & \dots & t_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & t_{nn} \end{bmatrix}.$$

$[T]$ matritsaning elementlari quyidagicha aniqlanadi:

$$t_{11} = \sqrt{a_{11}}; \quad t_{1j} = \frac{a_{1j}}{t_{11}}, (j > 1); \quad t_{ii} = \sqrt{a_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki}^2}, (1 < i \leq n);$$

$$t_{ij} = \frac{a_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki} t_{kj}}{t_{ii}} \quad (i < j); \quad t_{ij} = 0 \text{ agar } i > j.$$

(Y) va (X) vektorlar qiymatlari quyidagi formulalar orqali aniqlanadi:

$$y_i = \frac{b_i}{t_{11}}; \quad y_i = \frac{b_i - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki} y_k}{t_{ii}} \quad (i > 1);$$

$$x_n = \frac{y_n}{t_{nn}}; \quad x_i = \frac{y_i - \sum_{k=1}^n t_{ik} x_k}{t_{ii}} \quad (i < n).$$

Agar matritsa elementlarining simmetrik va lentaligini hisobga olinsa, u holda quyi uchburchak matritsa elementlarini S_{ij}

(o'chovlari $n \times l$, rasm 4.1.), bunda n – tenglamalar sistemasining ta'ribi, l –tenglamalar sistemi lenta uzunligining yarimi). Bunda diagonal elementlari S_{ij} matritsasining yakuniy l -chi ustunida joylashadi. Misol uchun $n=9$, $l=4$ bo'lsin. U holda quyidagi chburchak va S_{ij} matritsasining ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} & & & & & & & & & \\ t_{21} & t_{22} & & & & & & & & \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & & & & & & & \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} & & & & & & \\ 0 & t_{52} & t_{53} & t_{54} & t_{55} & & & & & \\ 0 & 0 & t_{63} & t_{64} & t_{65} & t_{66} & & & & \\ 0 & 0 & 0 & t_{74} & t_{75} & t_{76} & t_{77} & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & t_{85} & t_{86} & t_{87} & t_{88} & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & t_{96} & t_{97} & t_{98} & t_{99} & \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & s_{14} \\ 0 & 0 & s_{23} & s_{24} \\ 0 & s_{32} & s_{33} & s_{34} \\ s_{41} & s_{42} & s_{43} & s_{44} \\ s_{51} & s_{52} & s_{53} & s_{54} \\ s_{61} & s_{62} & s_{63} & s_{64} \\ s_{71} & s_{72} & s_{73} & s_{74} \\ s_{81} & s_{82} & s_{83} & s_{84} \\ s_{91} & s_{92} & s_{93} & s_{94} \end{bmatrix}$$

Rasm. 4.1. Matritsada ko'effitsiyentlarning joylashishi

S_{ij} matritsani x_j vektor elementlariga ko'paytirish uchun quyidagi munosabat ishlab chiqilgan:

$$y_i = \sum_{j=1}^p s_{i,q} x_r + \sum_{j=l}^m s_{j,i+l-j} x_j,$$

bu yerda

$$p = \begin{cases} i-1, 1 \leq i \leq l \\ l-1, \text{unache} \end{cases}, \quad q = \begin{cases} l+j-i, 1 \leq i \leq l \\ j, \text{unache} \end{cases},$$

$$r = \begin{cases} j, 1 \leq i \leq l \\ i-l+j, \text{unache} \end{cases}, \quad m = \begin{cases} i+l-1, 1 \leq i \leq n-l+1 \\ n, \text{unache} \end{cases}.$$

Keltirilgan munosabat asosida kvadrat ildizlar usulidagi matritsa ko'effitsiyentlarini vektor elementlariga ko'paytirish jarayoni amalga oshiriladi.

5. GEOMETRIK MODELLASHTIRISH

5.1. Geometrik modellar

Geometrik modellashtirish – geometrik hususiyatlarga ega elementlar va hodisalarni tavsiflash uchun ishlatiladi, chunki ularni aks ettirishning eng tabiiy usuli grafik tasvirdan iborat.

Geometrik modellar ko'pincha iyerarxik tuzilishiga ega, chunki ular odatda pastdan-yuqoriga prinsipi bo'yicha hosil bo'ladi. Ularning ba'zi bir komponentlari yuqori darajadagi obyektlar uchun ishlatilishi mumkin, o'z navbatda ular yanada yuqoriroq darajadagi obyektlarda ishlatilishi mumkin. Umumiy holda geometrik modellar ikki va uch o'lchovlilarga ajratiladi. Egri chiziq va sirtlar majmui ko'rinishida tasvirlangan real obyektlarni tavsirini loyihalashda, loyihalovchi ko'pincha turli geometrik shartlar ishlatadi, masalan to'g'ri chiziqni berilgan nuqtadan o'tishi, egri chiziqqa urunma bo'lishi va xakozalar.

Ikki o'lchovli geometrik modelga misol sifatida bir necha to'g'ri chiziqdan iborat egri chiziqni tasvirlanishi keltirish mumkin. Ikki o'lchovli geometrik modellashtirishda interpolyatsiya, approksimatsiya va silliqlashtirish masalalari uchraydi. Yuqorida izohlangan tuzish turlarida nuqtalarni silliq chiziq bilan birlashtirishda ishlatiladi. Dastlabki geometrik tasvirni yetarlicha aniqlik bilan tasvirlovchi geometrik tasvir approksimatsiyalanuvchi deyiladi, uni aniqlash jarayoni esa - approksimatsiya deb ataladi. Agar approksimatsiyalovchi aylab o'tish berilgan tugun nuqtalar orqili o'tsa, u interpolyatsiya qiluvchi deyiladi.

Shunga o'xshash amallar uch o'lchovli geometrik modellashtirishda ham bajariladi, Ya'ni diskret ko'rinishda berilgan regulyar va noregulyar nuqtalar yoki chiziqlar bilan berilgan sirtlarni interpolyatsiya va approksimatsiyasi. Bunda sirtlarni tavsiflash uchun kaskad-parametrik usul qo'llanadi. Bu usul kerak bo'lganda sirtdagi chiziqlarni qaytadan tasvirlash, bu karkasni zichlash imkonini beradi va boshqalar. Bu amal sirtlarni diskretlash geometrik modellashtirishda ko'p uchraydi va sirtlarni harxil turdagi bo'laklarga ajratishdan iborat. Masalan, ikki

o'lovli jismlarni kuchlanganlik parametrlarini hisoblashda, jism egallagan sohasini bo'laklarga ajratish masalasida ishlatiladi.

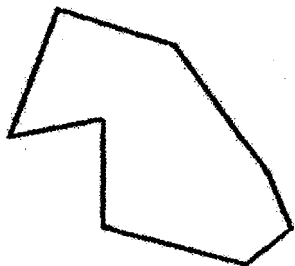
Kompyuterda obyektning tasvirini ishlab chiqish uch o'lovli geometrik modellashtirishning muhim qismidir. Bu tasvirlar har xil proyeksiya-tasvirlovchi tizimlarda perspektiv, aksonometrik yoki ortogonal proyeksiyalar usullarda sintez qilinishi mumkin.

Obyektlarni o'zgartirish, ularni displey ekrandagi ko'rinishini tahlil qilish, hamda tasvirlangan obyektga pozitsion va metrik xarakteristikalarini ham qilish geometrik modellashtirish masalalariga tegishli. Kompyuter grafikasida quyilgan maqsadlarga yetish uchun matritsalar matematik apparati ishlatiladi.

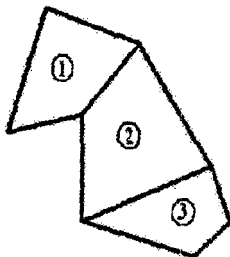
5.2. Murakkab soxalarning diskret modelini yaratish

Sodda soha deganda sohaning diskret modelini tuzish jarayonini avtomatlashtirish mumkin bo'lgan sohaga aytiladi. Berilgan murakkab sohani bir biri bilan ulangan sodda sohalarga ajratiladi. So'ngra har bir sodda sohaning diskret modeli aniqlanadi. Sohalarni ulashda birinchi navbatda ularning ichidan birini asos sifatida olinib, so'ngra ikkinchi, uchinchi va keyingi sohalarni ulanadi. Shuni aytib o'tish kerakki, sohalarni bir-biriga ulashda, ularning ulash chegarasidagi mavjud mos tugun nuqtalar ustma-ust tushishi sohalarni bir-biriga ulashdagi yetarli shart bo'lib hisoblanadi.

Quyida bizga berilgan (5.1.-rasm) murakkab sohani to'rtburchakli sodda sohalardan hosil qilishni ko'rib chiqamiz (5.2.-rasm):

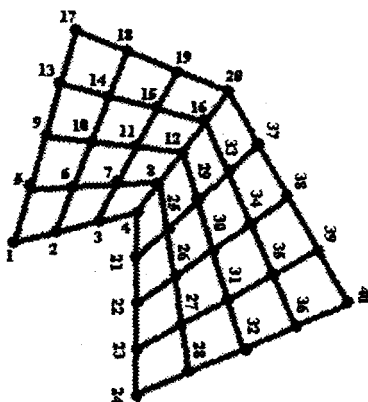


5.1. - rasm



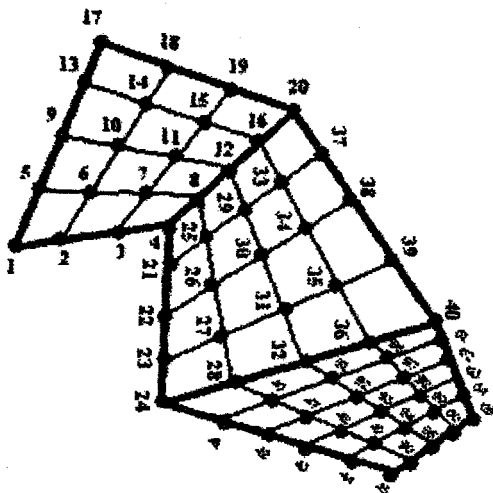
5.2. - rasm

Natijada hosil bo'lgan (bir-biri bilan ulangan birinchi va ikkinchi sohalar uchun) sohaning diskret modeli quyidagicha ko'rinishga ega (5.3.-rasm):



5.3.-rasm

Shu tarzda uchinchi sodda soha ulanadi. Natijada hosil bo'lgan berilgan sohaning diskret modeli quyidagicha ko'rinishga ega (5.4.-rasm):



5.4.- rasm

6. TIZIMLARNI MODELASHTIRISH

6.1. Tizimlarni modellashtirishning asosiy tushunchalari

Tizim tushunchasi turli sohalarda har xil o'ziga xos ta'riflanadi:

- *tizim* – umumiy (tizimli) xususiyatlarga ega o'zaro bog'lik bo'lgan elementlar to'plami bo'lib, bu xususiyatlar elementlarga ta'rifli emas. (Internet- ensiklopediya).

- *tizish* – quyilgan biror bir maqsadga erishish uchun yaratilgan o'zaro bog'langan elementlar to'plami (kompyuter tizimlari).

- *tizim* – bu o'zaro ta'sir qiluvchi komponentalar majmuidir (Bertalanfi, tizimli analitik).

- *tizim* – elementlari bir biri va atrof muhit bilan ma'lum jihatdan bog'langan majmuidir. (L. fon Bertalanfi, tizimli analitik).

Bu yerda tizimning har bir elementi sonli qiymatlardan (xususiyatlar, tavsiflar) iborat majmui sifatida tasvirlanadi va bu xususiyatlarning o'zgarishi ba'zi matematik yoki fizik qonunlarini ta'siri natijasidir deb olinadi. Bu ta'rifdan qo'rish mumkinki, elementlari orasidagi munosabatlar tizimning mavjudligi uchun shart emas.

Modellar ustida bajariladigan asosiy amallar quyidagilardir.

1. Tizimni chiziqshatirish.

Faraz qilaylik $M=M(X,Y,A)$ munosabat berilgan bo'lsin, bunda X - kirishlar, Y – chiqishlar to'plamlari, A - tizimning holati. Sxema ko'rinishida bu munosabatni quyidagicha tasvirlash mumkin:

$$X \rightarrow A \rightarrow Y.$$

Agar X, Y, A - chiziqli fazo (to'plami) va tizimning holati chiziqli operatorlar orqali tasvirlangan bo'lsa, u holda tizim (model) chiziqli deyiladi. Boshqa tizimlar (modellar) – *nochiziq* deb olinadi. Nochiziq tizimlarni tadqiqot qilish murakkab masala hisoblanadi, shuning uchun ularni ko'pchilik hollarda, qandaydir yo'l bilan chiziqli ko'rinishga keltiriladi.

2. Identifikatsiyalash (muvofiqlashtirish).

Faraz qilaylik $M=M(X,Y,A)$, $A=\{a_i\}$, $a_i=(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik})$ – obyekt (tizim) holati vektori. Agar a_i vektori bir necha noma'lum

parametrlarga bog‘liq bo‘lsa, u holda (model, m del parametrlarni) muvofiq lashtirish masalasi ularni ba‘zi bir qo‘shimcha shartlar asosida aniqlashdan iborat.

Tizimlarni identifikalashtirish— bu kuzatuvlar natijasida olinadigan dinamik tizimlarning matematik modellarini ishlab chiqish uchun foydalaniladigan usullar majmuidir. Shu nuqtayi nazardan, matematik model qandaydir tizim yoki jarayonning vaqt birligidagi xatti-xarakatining matematik tavsifini anglatadi. Masalan, jismoniy jarayonlarda — mexanik tizimning yer tortish kuchining ta’sirida xarakati, iqtisod jarayonida — birja kotirovkalarining tashqi ta’sirlarga bo‘lgan aks ta’siri yoki reaksiyasi va boshqalar

3. *Agregirlash (o‘lchovni pasaytirish amali)*. Bu amal modelni pastroq o‘lchovli (X, Y, A) modelga olib keltirishdan iborat, masalan, matematik modeldagi tenglamaning fazo birligini pasaytirish.

4. *Dekompozitsiyalash (ajratish)* — masala tuzilmasidan foydalanib, murakkab masalani yechimini, o‘zaro bog‘liq bo‘lsada, lekin nisbatan soddaroq bir qator masalalar yechishi bilan almashtirish imkonini beradigan ilmiy usuldur. Dekompozitsiyalash, jarayoni sifatida, ixtiyoriy tadqiq qilinayotgan murakkab tizimni bir-biri bilan o‘zaro bog‘liq tizim-ostilar sifatida qarash imkonini beradi. O‘z navbatida, tizim-ostilar ham bo‘laklarga bo‘linishi mumkin. Tizimlar sifatida nafaqat moddiy obyektlar, balki jarayonlar, hodisalar va tushunchalar ishlatilgan bo‘lishi mumkin.

5. *Yig‘ish*. Bu amal qo‘yilgan maqsadni amalga oshiradigan tizim, modelni berilgan yoki aniqlanadigan model-ostilardan (tuzilmaviy bog‘langan va turg‘un) qaytadan tuzish (yig‘ish)dan iborat.

6. *Maketlashtirish*. Bu amal funksional qismi soddalashtirilgan (lekin model-osti kirish va chiqishlari saqlangan holda) soddalashtirilgan maketlar yoki model-ostilar asosida modelni sinash, tarkibiy ulanishlar, murakkablik va turg‘unligini sozlashdan iborat.

7. *Ekspertiza, ekspert baholash.* Tadqiqot qilinayotgan yoki modellashtirilayotgan tizim-ostilar murakkab tuzilmaviy, to'liq formallashtirilmagan bo'lgan holda ekspertlar tajriba, bilim, sezgi va tafakkuridan foydalanish amali yoki jarayoni.

8. *Hisoblash eksperimenti.* Tizimni holati, u yoki bu kirish signallarga reaksiyasi (ta'siri) ni oldindan bashorat qilish, taqsimlash maqsadida kompyuterdagi model asosida bajariladigan eksperimentdir. Bu yerda eksperimental qurilma sifatida kompyuter (va model!) ishlatiladi.

6.2. Monte-Karlo usulini modellashtirish

Model stoxastik deyiladi, agar tizimning holat parametrlari tasodifiy o'zgaruvchilardan iborat, ya'ni ularning miqdori faqat qandaydir tasodifiy xususiyatlari bilan aniqlanadi.

Biz kompyuter vositasida modellashtirishda murakkab (ko'p qismlik) tizim va jarayonlardan biri stoxastik modellashtirish usuli bo'lgan Monte-Karlo usuli bilan $\pi = 3,1415922653\dots$ qiymatini hisoblashni ko'rib chiqamiz. Bu masalada mexanik pribor sifatida ruletka ishlatiladi. Tasodifiy sonlarni generatsiya qilish uchun mexanik qurilmalardan biri ruletka hisoblanadi. Birlik radiusli doira yuzasini hisoblash uchun eksperiment o'tkazamiz.

Monte-Karlo usuli. π sonini hisoblash masalasining qo'yilishi va yechish jarayonini tadqiq qilaylik. Monte-Karlo usuli yordamida π sonini hisoblash uchun markazi (1,1) nuqtada joylashgan birlik radiusli doirani olinadi. Uning yuzasi $S=\pi$ – ga teng. Doirani yuzasi 4 ga teng bo'lgan kvadrat ichiga joylashtiramiz. So'ngra kvadrat ichida N ta tasodifiy nuqta olamiz. Shunda doira ichiga tushgan nuqtalar sonini N_{dr} orqali belgilaymiz. Geometriyadan ma'lumki $S_{doira}/S_{kvadrat}=N_{dr}/N$ (1) ga teng.

(1)-chi munosabat π sonining bahosini beradi. N soni qanchalik katta qiymatga ega bo'lsa, baxoning aniqligi shunchalik yuqori bo'ladi. Ta'kidlash lozimki, bu maydon yuzasini hisoblash usuli adolatli bo'lishi uchun butun kvadratning maydoni bo'yicha tasodifiy nuqtalar albatta tekis sochilgan bo'lishi kerak.

Masalan, C++ dasturlash tilida 0 dan 1 gacha bo'lgan intervaldagi tekis taqsimlangan tasodifiy miqdorini modellashtirish uchun tasodifiy sonlar hisoblagichi – *RANDOM* funksiyasi ishlatiladi.

Bu maxsus kompyuter dasturi asosida 0 dan 1 gacha bo'lgan tekis taqsimlangan tasodifiy miqdorlar ketma-ketligi hosil qiladi.

Shunday qilib, kompyuter eksperimenti mohiyati (x,y) nuqtaning koordinatalarini olish uchun *RANDOM* funksiyasiga N marta murojaat qilishdan iborat.

Bunda (x,y) nuqta birlik radiusli doiraning ichiga tushganligi aniqlanadi. Doira ichiga tushgan holda N_{kr} miqdor qiymati 1 ga ortadi.

7. REAL VAQT MASSHTABIDA MODELLASHTIRISH

7.1. Real vaqt masshtabidagi jarayonlar

Real vaqt masshtabida modellashtirishda real jarayonning turli xil xususiyatlari to'raligicha yoki qisman tekshiriladi. Bunday tadqiqotlar jarayonni to'raligicha yoki tadqiqotchini qiziqtirayotgan xususiyatlarini taxlil qilish uchun maxsus rejimlarda tashkil etiladi. Real vaqt masshtabida modellashtirish real jarayonga adekvat bo'ladi, shu bilan birga real jarayonning barcha xususiyatlarini hisobga olishi cheklangan. Jarayonni modellashtirishda tadqiqotlar real jarayonda o'tkazaladi va eksperiment natijalarining qayta ishlanishi o'xshashlik nazariyasi asosida bajariladi. Ilmiy eksperiment faol tajriba o'tkazishda va ma'mumotlarni qayta ishlashda avtomatlashgan vositalardan foydalanish bilan xarakterlanadi. Murakkab sinovlarda bir necha eksperimentlar natijasida jarayonga tegishli bo'lgan qonuniyatlar va xususiyatlari aniqlanadi, bunda real jarayonning kritik holatlariga tegishli parametrlari kiritiladi va barqarorlik chegarasi aniqlanadi. Hisoblash eksperimenti jarayon haqidagi bilimlarni umumlashtirish bilan bog'liq.

7.2. Epidemiya modeli

Insonyatning uzoq tarixi davomida ko'p odamlar turli xil epidemiyalar tufayli vafot etganlar. Epidemiyalar bilan kurashish, ya'ni u yoki bu tibbiy tadbirlar (karantin, emlashlar va h.k) ni o'z vaqtida amalga oshirish imkoniyatiga ega bo'lish uchun, bu tadbirlarning samaradorligini solishtira bilish lozim. Ularni u yoki bu tarzda epidemiyaning ko'rinishi, avvalambor bemorlar soni qanday qilib o'zgarishini oldindan bashorat qilish mumkin bo'lgandagina solishtirish mumkin. Bu yerdan bashorat qilish maqsadlariga xizmat qiluvchi modellarni qurishga zarurat tug'iladi.

Avvalambor, epidemiyaning "tabiiy" holda (tibbiyotni aralashmagan holda) rivojlanishini o'rganib chiqamiz. Ma'lumki, epidemiya modeli o'z ichiga har xil darajadagi omillarning ta'sirini qamrab olishi mumkin. Bunda bakteriya

katakchalarining faoliyatini boshqaruvchi qonunlarni, alohida olingan kishilarning infeksiyalarga nisbatan sezuvchanlik darajasini, infeksiya tashuvchilarning sog'lom kishilar bilan uchrashib qolish ehtimoli va boshqa omillarni hisobga olish mumkin edi. Bizning maqsadimiz faqatgina tasvirlovchi modelni qurish bo'lganligi uchun, biz ko'pgina omillardan voz kechamiz.

N ta sog'lom kishi mavjud bo'lib, $t=0$ vaqt momentida bu guruhga bitta kasal odam (infeksiya manbayi) kelib qo'shilsin. Faraz qilaylik, guruhdan bemorlar chiqarib tashlanmaydi (tuzalish ham, o'lish ham, izolyatsiya ham yo'q). Shuningdek, odam kassalikni o'ziga yuqtirishi bilanoq, infeksiya manbayiga aylanadi deb faraz qilamiz.

t vaqt momentidagi kasallar sonini $x(t)$ bilan, sog'lom bo'lganlar sonini esa $y(t)$ bilan belgilaymiz (har qanday vaqt momentida $x(t)+y(t)=N+1$ ekanligi ko'rinib turibdi). $t=0$ da $x(0)=1$ shart bajariladi.

$t+dt$ vaqt oralig'ini o'rganib chiqamiz, bu yerda dt – kichik vaqt oralig'i. Shu vaqt oralig'ida nechta yangi kasal paydo bo'lishini aniqlash darkor. Ularning soni dt katalikka, sog'lom va bemor kishilarning o'zaro uchrashuvlar soniga, Ya'ni $x \cdot y$ kattaliklarning ko'paytmasiga proporsional bo'ladi deb faraz qilish mumkin:

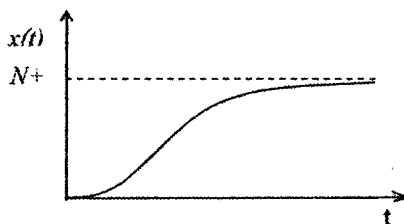
$$dx = \alpha x \cdot y \cdot dt,$$

bu yerda α – proporsionallik koeffitsiyenti (infeksiyani uzatish koeffitsiyenti).

$$y = N+1-x \quad \rightarrow \quad \frac{dx}{dt} = \alpha x [N+1-x].$$

$$\text{Bu tenglamaning yechimi: } x(t) = \frac{N+1}{Ne^{-\alpha(N+1)t} + 1}.$$

Bashorat qilish: guruhdagi bemorlar sonining vaqtga bog'liqlik shakli 7.1.-rasmda kelirilgan.



7.1-rasm.

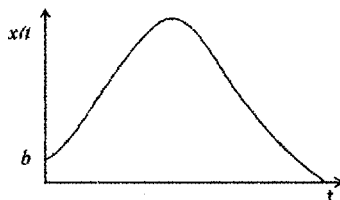
Masala. Agar $\alpha = 0,001$, $N+1=1101$ kishi bo'lsa, u holda 6 sutkadan keyingi bemorlar soni qancha bo'lishini va 6 kun ichida qancha odam kasal bo'lishini baholang?

Javob olish uchun tenglamaning yechimidan foydalanish lozim. Modelni yanada murakkablashtirish mumkin, buning uchun t vaqt momentida 1 ta emas, bir nechta (b) odam kasallangan deb faraz qilinadi. Bundan tashqari, kichik vaqt oralig'idan so'ng bemor tuzalib, immunitetga ega bo'ladi deb faraz qilamiz. U holda $z(t)$ – bu t vaqt momentigacha kasal bo'lib, so'ngra tuzalgan bemorlar soni.

$$x + y + z = N + b,$$

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \alpha xy - \gamma x \\ \frac{dy}{dt} = -\alpha xy \end{cases}$$

Bu yerda γx – tuzalganlar soni. U holda bemorlar sonini bashorat qilish 7.2.-rasmida keltirilgan shaklga ega bo'ladi. Yegri chiziqning aniq ko'rinishi N , b , α , γ larga bog'liq bo'ladi.



7.2.-rasm.

Modelda kasallik tufayli vafot etish, kasallikning tashuvchi (kemiruvchi) orqali uzatilishi va h.k. larni hisobga olish mumkin.

8. AVTOMATIK LOYIHALASH

8.1. Loyihalashga tizimli yondashuv

Loyihalash – bu mavjud bo‘lmagan obyektning zarur belgilangan shartlarda ishlab chiqish uchun kerak bo‘ladigan ta’rif etishni yaratish jarayonidir. Loyihalash shu loyihalanuvchi obyektga jamiyatning o‘tkir ehtiyoji bo‘lgan holda boshlanadi. Loyihalovchining xarakatlari qandaydir usul yoki nuqtaiy nazarga asoslanadi.

Hozirgi vaqtda loyihalashda tobora kompyuter texnikasi va texnologiyalari qo‘llanadi, biz “inson-kompyuter” tizimlari usullari va xarakterlarini aytishimiz mumkin. Insonning ongli oqilona xarakati asosida usul yotadi. Usulning mavjud bo‘lishi uchun quyidigilar talab qilinadi: qoidalar, xarakter uslubi ta’rifi sifatida; xarakter uchun asos sifatida qo‘llanish usuli; qoidalarga qat’iy bo‘ysinish; ush bu usulga tegishli bo‘lgan vaziyatlarini ta’riflash. Xususiylik va umumiylik nuqtaiy nazaridan loyiha fayliyatini tahlil qilib, uning asosini xarakter-yo‘llar (tamoyillar)-usullar tashkil etadi deb aytish mumkin. Loyihachilar tomonidan ijodiy xarakterlarda qo‘llanadigan vositalarga qarab usullar evristik va algoritmik usullarga ajratiladi. Evristik usullarda assotsiativ qobiliyatlar, intuitiv fikrlash va fikrlashni boshqirish usullari xal qiluvchi axamiyatga ega. Evristik usullar umumiy qoidalar va tavsiyalarni ishlatishga asoslangan. Ular, masala yechimini topa oladigan tasodifiy yoki mantiqiy birlashmalar orqali har xil tushincha va ta’kidlashlarni izlash yoki abstrakt munosabatlarni yaratishga yordam beradi. Algoritmik usullar ko‘rsatmalar ketma-ketligi ko‘rinishiga keltirilgan masalani yecha oladigan algoritmgga asoslangan. Mantiqiy va matematik algoritmlarni e’tirof etishimiz mumkin.

Loyihalash usullari: qo‘lda boshqarish – kompyuterdan foydalanmasdan; avtomatlashtirilgan – “inson-kompyuter” o‘zaro xarakati asosida, bunda loyihalovchining evristik xarakatlari muayyan algoritmlar orqali amalga oshirilgan, kompyuterning hisoblash imkoniyatlari bilan to‘ldiriladi; avtomatik – loyihalash oraliq bosqichlarida inson aralashuvisiz.

8.2. Avtomatik modellashtirish

Avtomatlashtirilgan loyihalash tizimi – bu tashkiliy-texnik tizim bo‘lib, loyiha tashkiloti bilan bog‘langan va avtomatlashtirilgan loyihalarni bajaruvchi vositalarning majmuidir. Shunday qilib, avtomatlashtirilgan loyihalash ham tizimlarni kompyuter dasturi, va keng ma‘noda tashkiliy-texnik tizim deb tushinish kerak. Avtomatlashtirilgan loyihalash, axborot elementlarining majmuini hisoblash tarmoqlar va telekommunikatsiyaviy texnologiyalardan to ilg‘or hisoblash matematika usullarigacha o‘z ichiga olgan, aslida sintezga asoslangan fan bo‘lib, axborot texnologiyalar orasida alohida o‘rin egallaydi.

Avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlarini tasniflash (sinflash) turli belgilar bo‘yicha amalga oshiriladi, masalan, qo‘llash, maqsad, yechiladigan masalalarning kompleksligi va tayanch tizim osti sifati.

Qo‘llash bo‘yicha eng dolzarb va keng rivojlangan dasturlar:

- Muxandislik avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlari.
- Radioelektronika avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlari.
- Arxitektura va qurilish avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlari.

Avtomobil yo‘llari avtomatlashtirilgan loyihalash tizimini arxitektura-qurilish avtomatlashtirilgan loyihalash tizimi deb tasniflash mumkin. Shu bilan birga avtomobil yo‘llari avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlarini bu sinfdagi mustaqil bo‘limi sifatida hisobga olish kerak. Yo‘llarni loyihalash o‘ziga xosligi bu chiziqli-cho‘zilgan obyektlardir. Yo‘llarning konturlari, bir tomondan, maydonning relyefi, turpok-geologik va gidrolog xolatlariga bog‘liq. Boshqa tomondan, loyihalashtiriladigan yo‘lning geometrik xususiyatlari xarakter intensivligi va transport xarakati tarkibi bilan bog‘langan.

Quriladigan yo‘l asosi trassa bo‘lib, uning shakli transport vositalari harakatining fizik qonunlari hisobga olgan holda loyihalashtiriladi. Bu trassaning konturlari ko‘pincha bo‘lajak yo‘lning texnik va texnik-ekspluatatsiyasi sifatleri aniqlaydi. Avtomobil yo‘llari bilan bir qatorda chiziqli – cho‘zilgan loyihalashtiriladigan qurilish obyektlari sinf ostilariga aerodrom,

temir yo‘l, truboprovod, kanallar, elektr o‘tkazish trassalarini ham qo‘shish mumkin.

Maqsadli jihatlari bo‘yicha avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlari loyihalashning turli javxalari amalga oshiradi. Obyektlarning kuchlanganligi, turg‘unligi, chidamligi va boshqa jihatlari bo‘yicha loyihalash CAE (Computer Aided Engineering – kompyuter injeniring) tizim ostida bajariladi. Yo‘llar loyihalashida CAE masalalariga yotqazilgan yo‘lning mustahkamligi, sovuqqa chidamligini, siljish va egilishi, yo‘ldagi sun‘iy tuynuklarini gidrogeologik hisoblash, transport oqimini modellashtirish va boshqalarni o‘z ichiga oladi.

Ishlab chiqarishni texnologik tayyorlashga oid hisoblashni CAM (Computer Aided Manufacturing - kompyuter boshqarish) tizim ostida amalga oshiriladi. Yo‘l qurilishda CAM tizim ostiga qayitnoma varaqlari tayyorlash, ishlab chiqarishning texnologik kartalari tayyorlash, ishlar jadvalini tayyorlash, transport xarakatini tashkil qilish sxemasini ishlab chiqish, ishlarni chiziqlikalendar grafikini tuzish va boshqalar kiradi.

Yechiladigan masalalar murakkabligiga ko‘ra yuqorida qo‘rib chiqilgan tizim osti CAD/CAE/CAMdan alohida tizim ostilarga ajraladi.

Ma‘lumotlarni boshqarish tizim osti PDM (Product Data Management) hozirgi davrga kelib integrallashgan tizimlarining muhim tarkibiy qismiga aylandi. Uning yordamida loyihalar ustida jamoa ish olib borish, ma‘lumotlarning yaxlitligini ta‘minlash va boshqarish tizimi sifatini samarali amalga oshirishga imkon beradi.

Kompyuter texnologiyalarning obyektlar faoliyatini loyihalashdan to ularni yagona axborot tizimiga foydali suratda ta‘minlash qobiliyati PLM (Product Lifecycle Management) – konsepsiyasini yaratilishiga sabab bo‘ldi. Bu konsepsiya yo‘l qurish soxasining kelajigi uchun juda istiqbolli hisoblanadi. Bu konsepsiyaning eng aniq moxiyatini quyidagi ta‘rifda keltirilgan: PLM - bu ish bajarishga strategik yondashuv bo‘lib, axborot mahsulotini yaratish, amalga oshirish va foydalanish jarayonida birgalikdagi yechimlar majmuinidan foydalanadi. Bu ta‘rifning mantig‘i bo‘yicha, PLM – bu CAD kabi tizim emas, va

CAO/CAM/CAE kabi sinflar tizimi ham emas, balki bu – kompyuterlashtirishdan foydalangan holda integratsiyalangan, ma'lumotlar (mahsulot) xaqidagi yagona tasavvurga asoslangan ishlab chiqarish strategiyasidir. Bu ma'lumotlar kengaytirilgan korxonaning barcha a'zolari: asosiy ishlab chiqaruvchi, yetkazib beruvchilar, pudratchi, mijozlar va iste'molchilar tomonidan foydalanishi mumkin (va kerak).

8.3. ANSYS tizimida modellashtirish

ANSYS- bu mehanika va issiqlik tarqalishga oid masalalarni yechishda keng foydalaniladigan avtomatlashtirilgan tizimdir.

Bu tizimda qo'yiladigan masalalarni yechish 3 bosqichda amalga oshiriladi:

preprotessor → protessor → postprotessor.

Preprotessor boshqichida quyidagi jarayonlar amalga oshiriladi:

- berilgan konstruksiyaning diskret (geometrik) modeli tuziladi;

- konstruksiyaga mos element tanlanadi;

- diskret modelda ko'rsatilgan soha chekli elementlarga ajratiladi;

- masalaning xususiyati tanlanadi (simmetriklik va boshqalar);

- chegaraviy shartlar qo'yiladi (siljishga yoki tashqi kuchga nisbatan).

Protessor bosqichida quyidagilar amalga oshiriladi:

- barcha chekli elementlar uchun muvozanat tenglamalari tuziladi;

- barcha muvozanat tenglamalari umumlashtirilib, diskret modelga mos soha uchun umumiy tenglamalar sistemasi hosil qilinadi;

- hosil bo'lgan tenglamalar sistemasini yechiladi;

- natijada har bir tugun nuqtaning Ox va Oy o'qlariga nisbatan siljishi topiladi.

Postprotessor bosqichida olingan natijalar vizualizatsiya qilinadi. Bunda kuch ta'sirida konstruksiyaning deformatsiya-

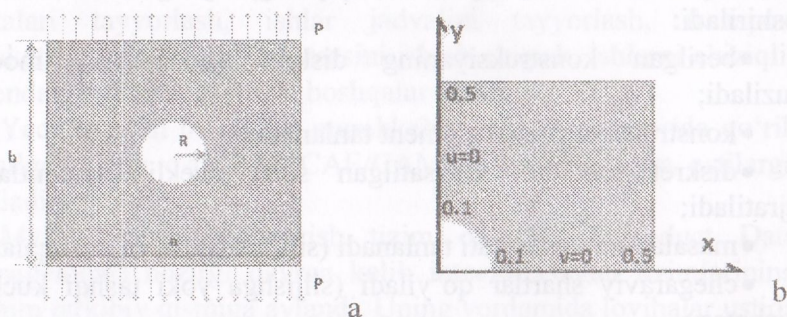
lanishini, hosil bo'lgan kuchlanishlarning jism bo'yicha taqsimlanishini grafik va fayl ko'rinishida namoyish qilinadi.

ANSYS tizimida mexanika masalalarini yechilish jarayonini quyidagi masalani yechishda batafsil ko'rib chiqamiz.

O'lchamlari $a=1m$ va $b=1m$ bo'lgan to'g'ri to'rtburchak shaklidagi po'latdan ishlangan ikki o'lchovli konstruksiyaning markazida $R=0.05m$ radiusli doiraviy teshik mavjud bo'lsin. Konstruksiya yuqori va quyi asoslaridan bir xil $P=10^3$ MPa qiymatga ega kuch bilan qarama-qarshi tomonlarga tortilmoqda (8.1.a-rasm). Tashqi kuch ta'siri natijasida konstruksiyada hosil bo'ladigan kuchlanishlar hisoblansin. Po'lat uchun mehanik parametrlari:

$$E = 2 * 10^6 \text{ MPa} \text{ (} E \text{ - elastiklik moduli)}$$

$\mu = 0.25$ (μ - Puasson koeffitsienti) deb olingan.



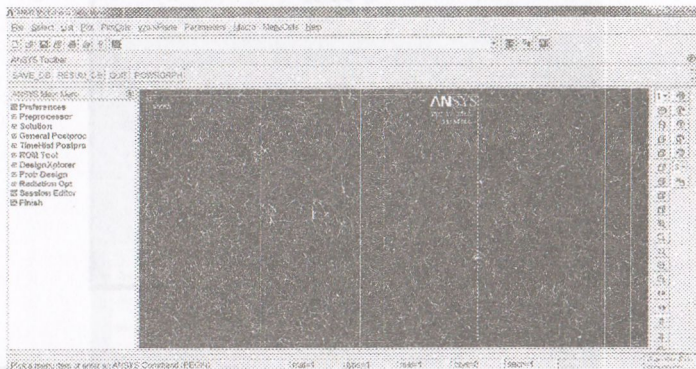
8.1-rasm

Bu masalani ANSYS tizimida yechish uchun uning OX va OY o'qlariga nisbatan simmetrik xususiyatidan foydalaniladi. Masalani 1-chorakdagi qism uchun yechiladi va yechim umumlashtiriladi. 8.1.b-rasmda kerakli qismning koordinatalar sistemasidagi tasviri keltirilgan. Rasmdagi $u=0$ (Ox o'qi bo'yicha silgish) va $v=0$ (Oy o'qi bo'yicha silgish) nuqtalarning siljimasligini anglatadi.

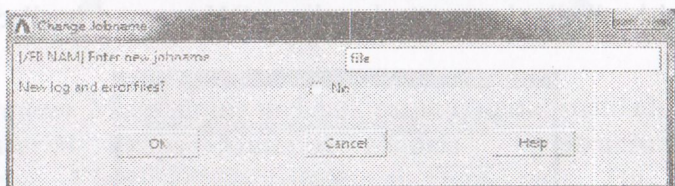
ANSYS tizimida ishlash uchun **Mechanical APDL (ANSYS) 14.0** muhitidan foydalaniladi. U ishga tushiriladi va bizda 8.2-rasmdagi kabi ishchi oyna ochiladi.

FILE→**Change Directory** orqali projektни saqlash uchun ke akli joy ko'rsatiladi.

FILE→**Change Jobname** orqali projekt asosiy fayllarining n omini o'zgartiriladi. O'zgartilmagan holatda avtomatik tarzda *file* nomi beriladi (8.3-rasm).

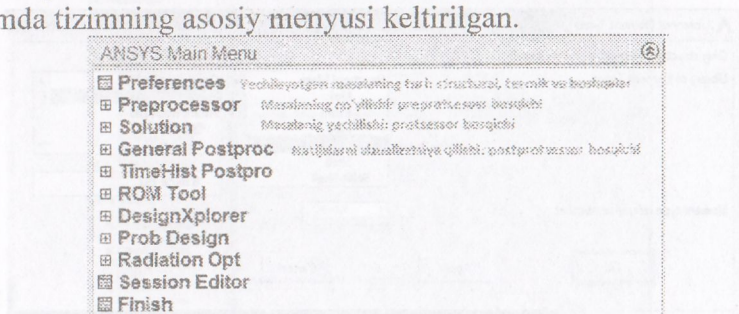


8.2-rasm. ANSYS Multiphysics Utility menyuni oynasi



8.3-rasm

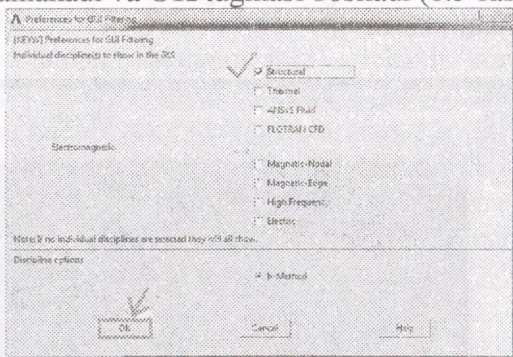
Projektни **BirTeshikliTortishMasalasi** deb nomlaymiz. 8.4-rasmda tizimning asosiy menyusi keltirilgan.



8.4-rasm

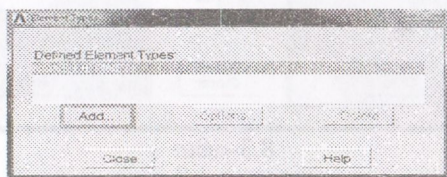
Masalani ANSYS tizimida yechilishini qadamba qadam bajaramiz.

1-qadam. Asosiy menyuning **Preferences** bo'li midan **Structural** tanlanadi va **OK** tugmasi bosiladi (8.5-rasm).

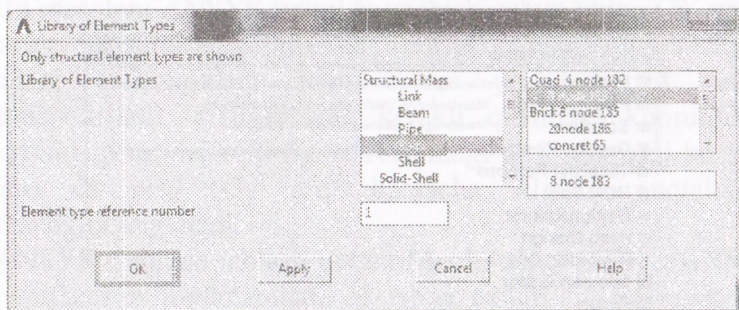


8.5-rasm

2-qadam. **Preprocessor** → **Element Type** → **Add/Edit/Delete** dan kerakli elementni proyektga qo'shamiz (8.6-rasm). **Add...** tugmasi bosiladi, element tanlanadi va **OK** tugmasi bosiladi (8.7-rasm).



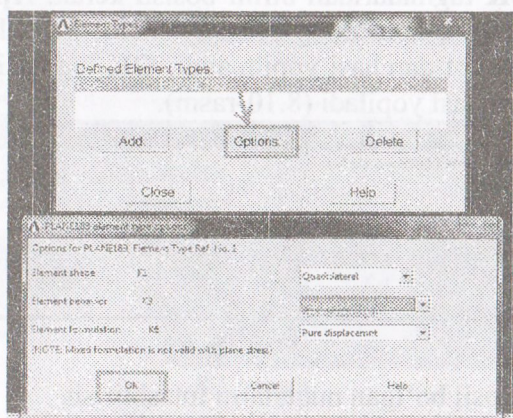
8.6-rasm



8.7-rasm

8.1. E z *Solid* (uch o'Ichovli masala) uchun 8 node 183 chekli elem entni tanlaymiz.

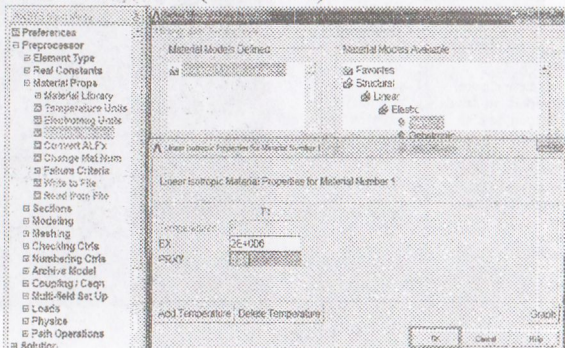
8.2. *1-qadam.* Konstruksiyani cho'zish masalasi (8.1.a-rasm) uchun *Options...* bo'limidan *Plane strain*; siqish masalasi uchun esa *Plane stress* tanlanadi (8.8-rasm). Oynadan chiqish uchun esa *Close* tugmasi bosiladi.



8.8-rasm

4-qadam. Materialning mehanik parametrlari o'rnatiladi.

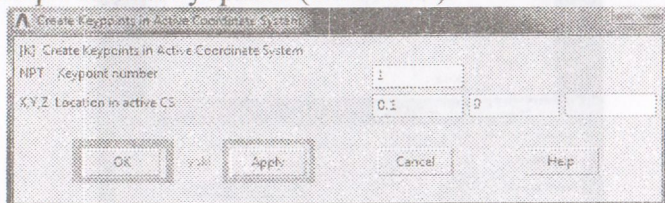
Material Props → **Material Models** → **Structural** → **Linear** → **Elastic** → **Isotropic** ni tanlaymiz. Bu yerda, materialning mehanik parametrlari uchun $E = 2 \cdot 10^6 \text{ MPa}$ va $\mu = 0.25$ qiymatlar kiritiladi (8.9-rasm).



8.9-rasm

5-qadam. Endi modelning konfiguratsiyasini (geometriya ini) hosil qilinadi. Buning uchun nuqtalar, to‘g‘ri va egri chiziqlar bilan foydalanamiz. Avvalo, koordinatalar sistemasida kerakli nuqtalar belgilanadi.

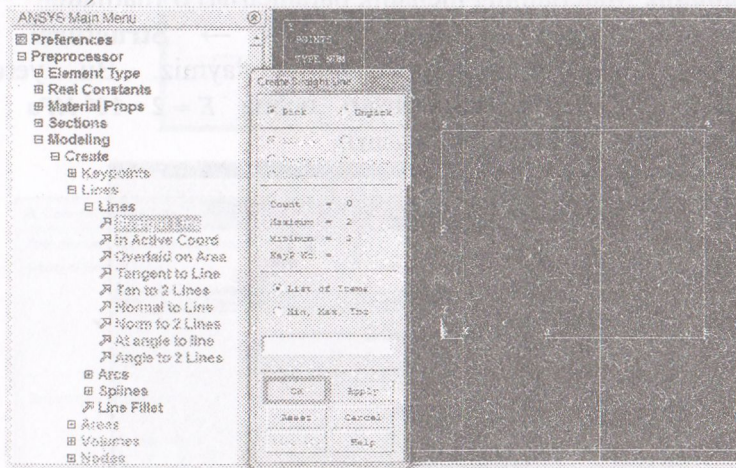
Modeling→**Create**→**KeyPoints**→**In Active CS** orqali nuqtalarning tartib nomerlari va koordinatalari kiritiladi. So‘ngra **Apply** yoki **OK** tugmalaridan birini bosish kerak. **Apply** va **OK** tugmalaridan foydalanishning farqi shuki, **Apply** tugmasi bosilganda muloqot darchasi yopilmaydi; **OK** tugmasi bosilganda esa muloqot darchasi yopiladi (8.10-rasm).



8.10-rasm

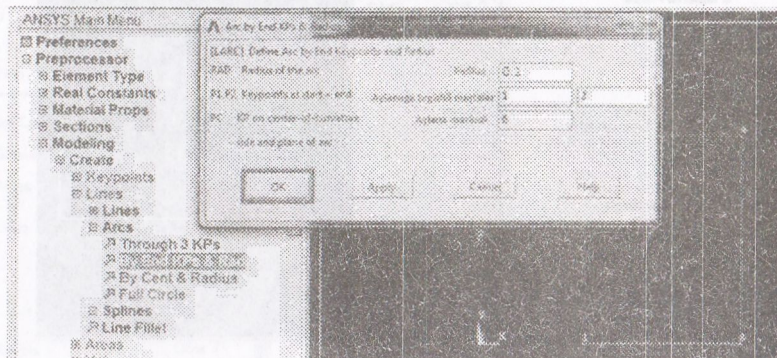
6-qadam. Hosil bo‘lgan nuqtalarni tutashtirish.

Modeling→**Create**→**Lines** →**Lines**→**Straight Line** orqali nuqtalar to‘g‘ri chiziq bilan tutashtiriladi va **OK** tugmasi bosiladi (8.11-rasm).



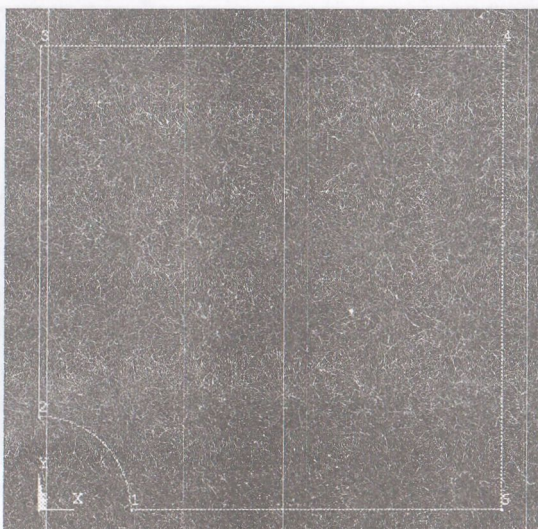
8.11-rasm

Aylana yoyini chizish uchun **Modeling**→**Create**→**Lines**→**A cs**→**By End KPs & Rad** orqali birinchi, aylanaqa tegishli 2 ta nuqta belgilanadi va **OK** tugmasi bosiladi; ikkinchi aylana markazi belgilanadi **OK** tugmasi bosiladi; uchinchi aylana radiusi kiriladi **OK** tugmasi bosiladi. Biz radiusning qiymatini 0.1m belgilashga teng deb olamiz (8.12-rasm).



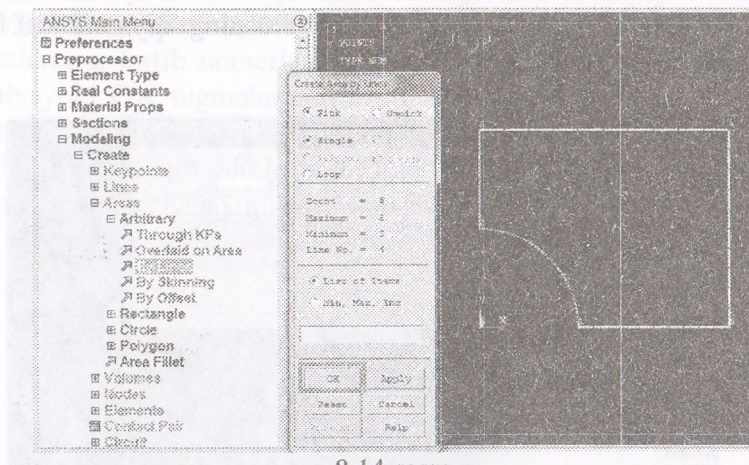
8.12-rasm

Natijada bizda 8.13-rasmdagi chizma hosil bo'ladi.



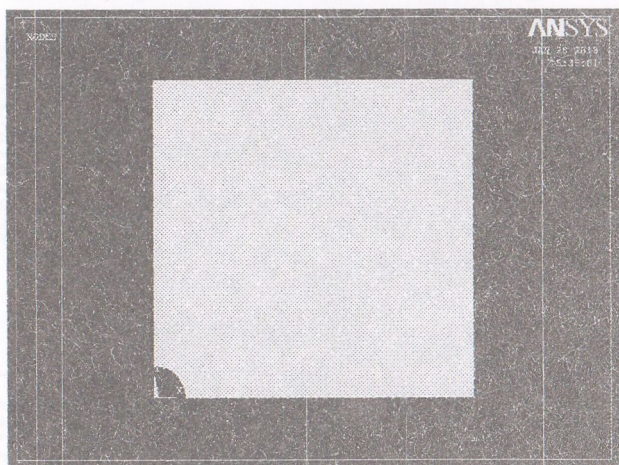
8.13-rasm

7-qadam. Hosil bo'lgan chiziqlar orqali soha hosil qilish.
Modeling→**Create**→**Areas** →**Arbitrary**→**By Lines** orqali chiziqlar tanlanadi va **OK** tugmasi bosiladi (8.14-rasm).



8.14-rasm

Natijada bizda 8.15-rasmdagi chizma hosil bo'ladi.

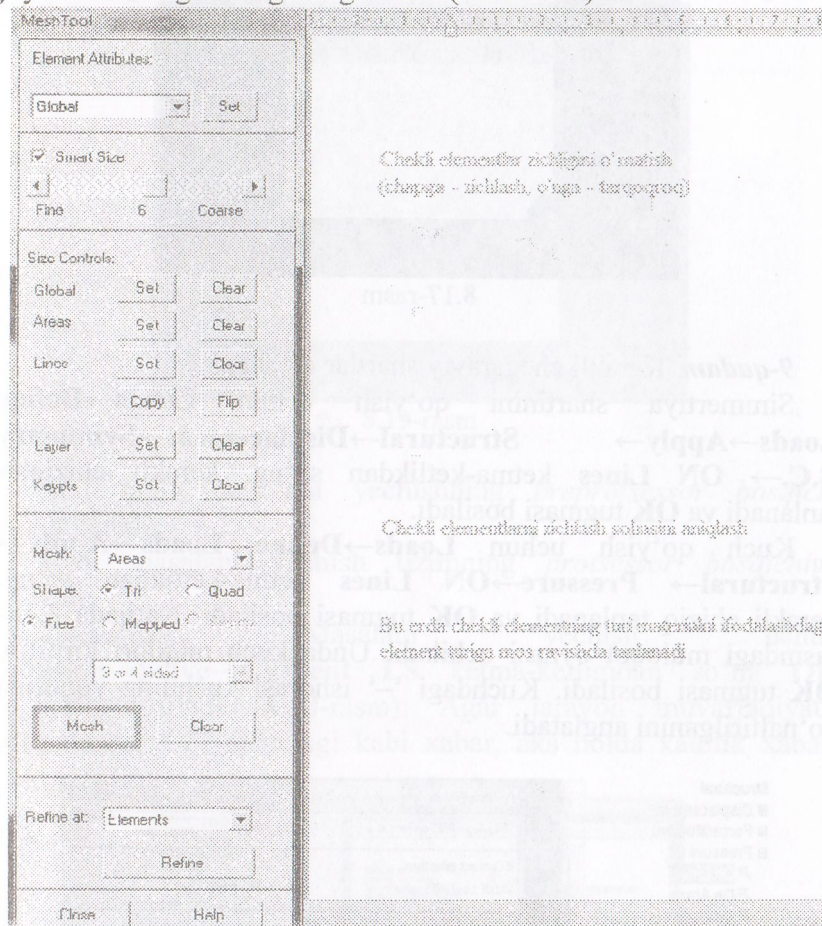


8.15-rasm

Shu bilan masalaning geometrik chizmasi hosil qilindi.

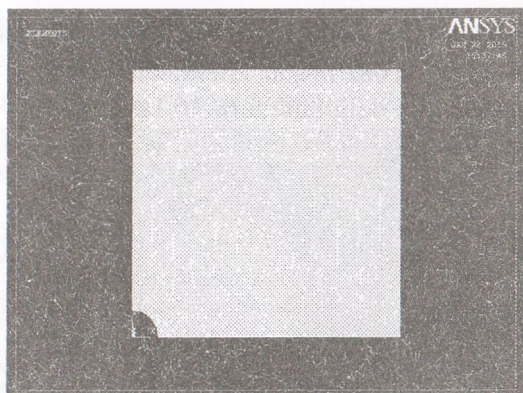
8-qadam. Hosil bo'lgan sohani chekli elementlarga ajratish.

Meshing→**Mesh Tool** orqali chekli elementning turi va ular joylashishining zichligi belgilanadi (8.16-rasm).



8.16-rasm

Bizda **Smart Size** ni 3 ga qo'yib, sohani maydalash (**Areas**) tanlangan. Bunda chekli element turi uchburchak (**Tri**) tanlangan, **Mesh** tugmasi bosiladi hamda sohani tanlab, **OK** tugmasi bosiladi. Natijada, soha 8.17-rasmdagi kabi uchburchakli chekli elementlar bilan qoplanadi (**1-Holat**).



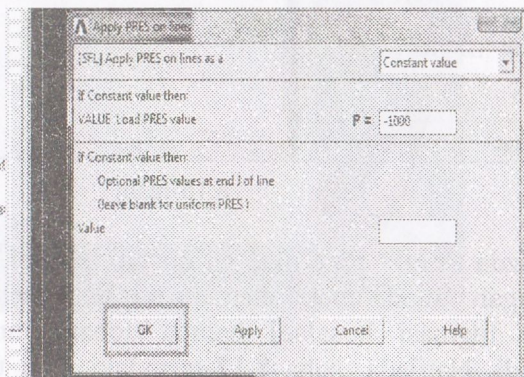
8.17-rasm

9-qadam. Kerakli chegaraviy shartlar o'rnatish.

Simmertiya shartini qo'yish uchun **Loads**→**Define Loads**→**Apply**→ **Structural**→**Displacement**→**Symmetry B.C.**→ **ON Lines** ketma-ketlikdan so'ng, kerakli chiziqlar tanlanadi va **OK** tugmasi bosiladi.

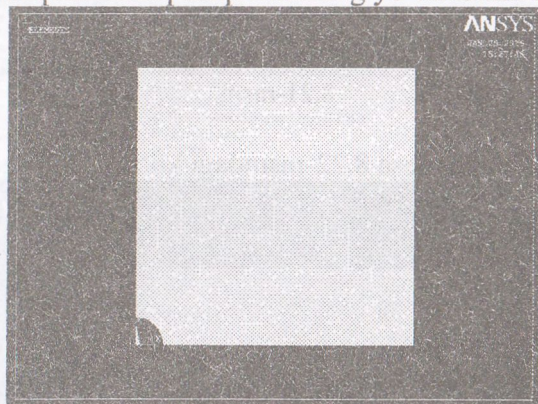
Kuch qo'yish uchun **Loads**→**Define Loads**→**Apply**→ **Structural**→ **Pressure**→**ON Lines** ketma-ketlikdan so'ng, kerakli chiziq tanlanadi va **OK** tugmasi bosiladi. Natijada 8.18-rasmdagi muloqot oynasi ochiladi. Unda kuch miqdori kiritilib, **OK** tugmasi bosiladi. Kuchdagi '-' ishorasi kuchning yuqoriga yo'naltirilganini anglatadi.

- Structural
- ▣ Displacement
- ▣ Force/Moment
- ▣ Pressure
 - ▣ On Areas
 - ▣ On Nodes
 - ▣ On Node Component
 - ▣ On Elements
 - ▣ On Element Compon
 - ▣ From Fluid Ansys
 - ▣ On Beams
- ▣ Temperature
- ▣ Inertia
- ▣ Pretnsn Secn
- ▣ Gen Plane Strain
- ▣ Other
- Field Volume Intr



8.18-rasm

Natijada, 8.19-rasmdagi kabi chizmaga ega bo‘lamiz. Bu rasmdagi X va Y o‘qlari, ustidagi S belgisi simmetriyani; yuqoriga yo‘naltirilgan qizil chiziq tasqi kuchning yo‘nalishini ifodalaydi.

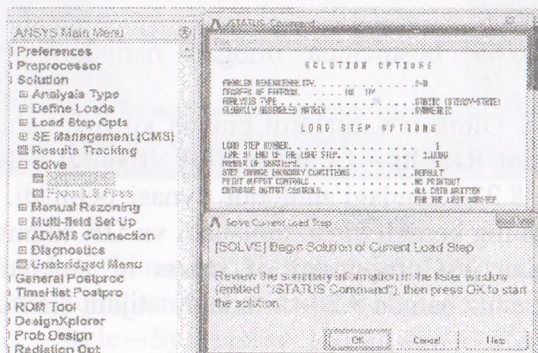


8.19-rasm

Shu bilan masalani yechishning *preprocessor* bosqichi yakunlanadi.

Endi masalani yechish tizimning *processor* bosqichiga o‘tiladi.

10-qadam. Masalani yechish uchun **Solution**→**Solve**→**Current LS** ketma-ketligidan so‘ng **OK** tugmasi bosiladi (8.20-rasm). Agar jarayon muvaffaqiyatli yakunlansa, 8.21-rasmdagi kabi xabar, aks holda xatolik xabari chiqariladi.

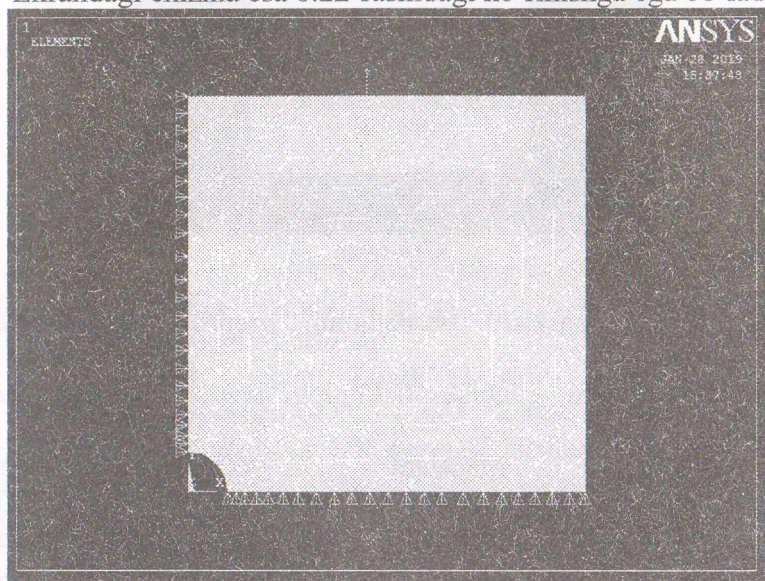


8.20-rasm



8.21-rasm

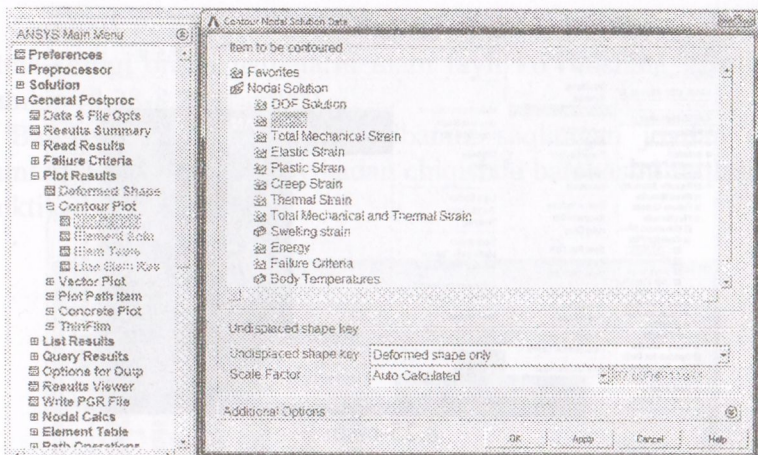
Ekstrandagi chizma esa 8.22-rasmdagi ko‘rinishga ega bo‘ladi.



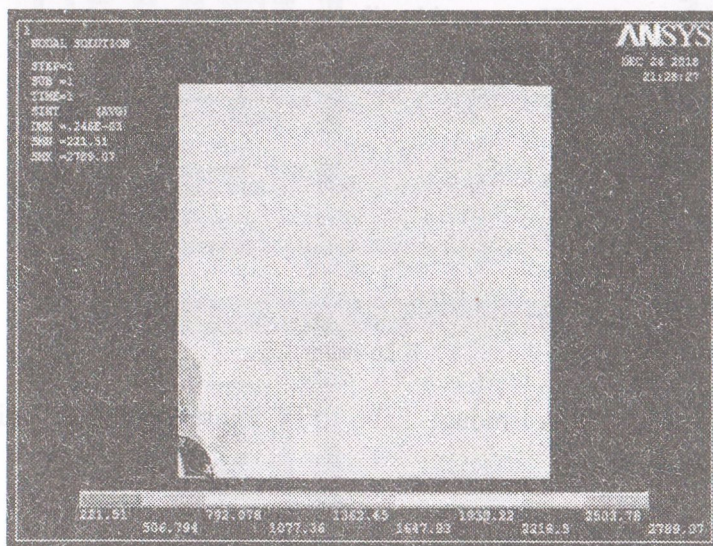
8.22-rasm

Postprocessor bosqichida olingan natijalar vizual tarzda tasvirlanadi.

11-qadam. Olingan natijalarni eranda ko‘rish uchun **General Postproc**→**Plot Results**→**Contour Plot** →**Nodal Solu** buyruqlar bajariladi va 8.23-rasmdagi muloqot oynasi ochiladi. Bu yerdan olingan natijaning kerakli qismi tanlanadi va **OK** tugmasi bosiladi. Biz **Stress** dan **Y-Component of stress** ni tanlaymiz va **OK** tugmasini bosamiz hamda 8.24-rasmdagi natijani olamiz.



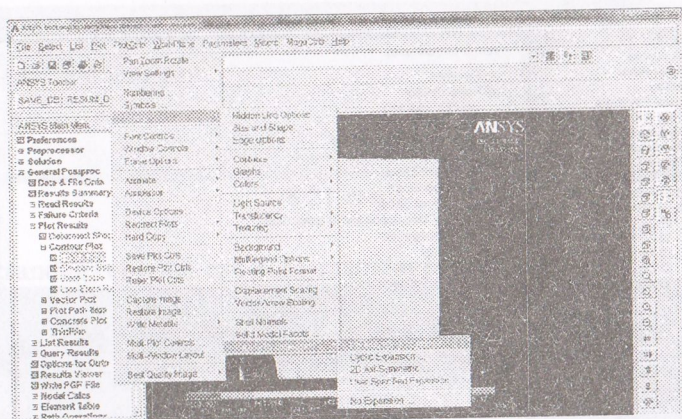
8.23-rasm



8.24-rasm

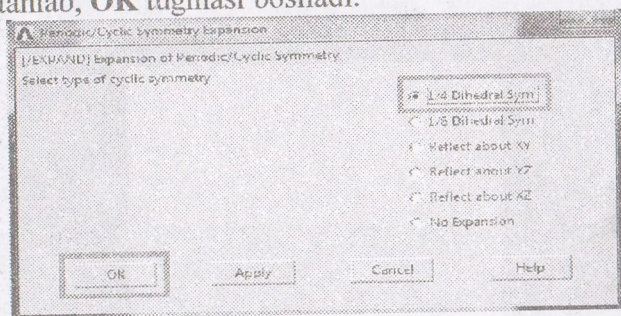
Konstruksiyani simmetriyalar bo'yicha birlashtirish uchun quyidagi ketma-ketlik amalga oshiriladi:

PlotCtrls→**Style**→**Symmetry Expansion**→**Peroidic/Cyclic Symmetry** (8.25-rasm).



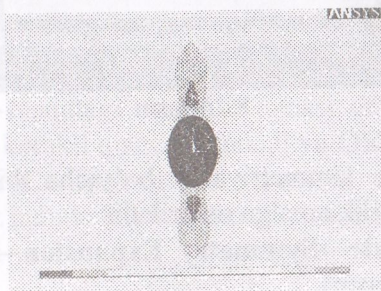
8.25-rasm

Natijada 8.26-rasmdagi muloqot oynasi ochiladi. Undan 1-punkttni tanlab, **OK** tugmasi bosiladi.



8.26-rasm

Natijada 8.27-rasmdagi kabi to'la konstruksiya ko'rinishga bo'ladi.



8.27-rasm

General Postproc→**List Results**→**Nodal Solution** buyruqlar ketma-ketligi orqali natijalarni matn fayli ko'rinishida ham olish mumkin (8.28-8.29 rasmlar).

Barcha kerakli fayllarni loyihamiz saqlangan joydan olish mumkin. Buning uchun loyihadan chiqishda barchasini saqlash (2-punkt) ni tanlash shart.

```

A: WORK\CONVE.ans
File
Post-Processor
PRINT 5 NODAL SOLUTION PER MESSAGE
***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****
PostGraphics is Currently Enabled

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LBW COND= 0
NODE LISTING IS FOR NODTYPE= 1

THE FOLLOWING N,X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE   ST      SY      SZ          STY      STZ      SZX
-----
 1    -0.421    -0.247      0.000          0.000    0.000    0.000
 2     202.90    80.90    302.41      0.1683    0.0000    0.0000
 3     0.000E+00    0.000    0.000          0.000    0.000    0.000
 4     -0.4931    0.717    111.23      0.1329    0.0000    0.0000
 5     -0.4416    0.824    204.79      0.1315    0.0000    0.0000
 6     -0.4618    0.277    -0.452      -0.1388    0.0000    0.0000
 7     -0.4980    0.262    30.762      -0.5471    0.0000    0.0000
 8     -0.4431    0.444    101.46      -0.3309    0.0000    0.0000
 9     -0.4662    0.417    181.88      -0.3703    0.0000    0.0000
10     20.798    712.14    212.34      -0.3389    0.0000    0.0000
11     -0.5286    782.87    284.35      -0.5039    0.0000    0.0000
12     41.434    686.46    326.15      -0.5882E-01    0.0000    0.0000
13     79.474    686.46    444.24      -0.1376E-01    0.0000    0.0000
14     162.30    332.17    529.20      -0.2054E-01    0.0000    0.0000
15     131.79    661.39    514.84      -0.0825E-01    0.0000    0.0000
16     249.43    661.40    263.29      -0.1367E-01    0.0000    0.0000
17     211.21    661.39    131.24      -0.0825E-01    0.0000    0.0000
18     275.24    322.13    112.87      -0.1367E-01    0.0000    0.0000
19     250.30    1606.13    214.26      -0.42671    0.0000    0.0000
20     212.41    1618.44    212.88      -0.78787    0.0000    0.0000
21     198.79    1210.33    277.52      -1.0469    0.0000    0.0000
22     182.14    929.49    383.25      -1.5084    0.0000    0.0000
23     181.16    599.50    428.86      -0.72833    0.0000    0.0000
24     82.838    699.71    412.56      -0.55968    0.0000    0.0000
25     64.792    599.45    363.43      -0.38471    0.0000    0.0000
26     30.802    696.24    284.26      -0.23441    0.0000    0.0000
27     11.718    666.67    284.26      -0.0867E-01    0.0000    0.0000
28     4.2492    599.71    251.66      -0.0366E-00    0.0000    0.0000
29     1.3284    599.71    252.22      -0.0096E-01    0.0000    0.0000
30     -1.9811    599.50    346.22      -0.12817    0.0000    0.0000
31     -1.6113    661.40    284.26      -0.15868    0.0000    0.0000
32     -0.42800    661.39    249.23      -0.22788    0.0000    0.0000
33     -0.1849E-01    599.36    349.21    -0.0001E-00    0.0000    0.0000
34     -0.1829E-01    661.24    344.64      -0.0002E-01    0.0000    0.0000
35     -0.2097E-02    596.79    249.70    -0.2221E-01    0.0000    0.0000

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****
PostGraphics is Currently Enabled

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LBW COND= 0
NODE LISTING IS FOR NODTYPE= 4

THE FOLLOWING N,X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES
    
```

8.28-rasm

```

A: WORK\CONVE.ans
File
Post-Processor
PostGraphics is Currently Enabled

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LBW COND= 0
NODE LISTING IS FOR NODTYPE= 1

THE FOLLOWING N,X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE   ST      SY      SZ          STY      STZ      SZX
-----
 01     0.1464E+01    926.70    298.86      -0.4183E-01    0.0000    0.0000
 02     0.1507E+01    999.85    298.89      -0.4173E-01    0.0000    0.0000
 03     0.1502E+01    979.79    298.49      0.1475E-01    0.0000    0.0000
 04     0.1497E+01    988.01    298.36      0.1474E-01    0.0000    0.0000
 05     0.1492E+01    993.11    297.08      0.1511E+00    0.0000    0.0000
 06     0.1527E+01    926.52    299.33      0.1493E-01    0.0000    0.0000
 07     0.1527E+01    981.83    297.26      0.1463E-01    0.0000    0.0000
 08     0.1531E+01    926.52    297.41      0.1491E-01    0.0000    0.0000
 09     0.1531E+01    926.52    297.51      0.1491E-01    0.0000    0.0000
10     0.1531E+01    926.52    297.57      0.1492E-01    0.0000    0.0000
11     0.1531E+01    926.52    297.57      0.1491E-01    0.0000    0.0000
12     0.1531E+01    926.52    297.61      0.1492E-01    0.0000    0.0000
13     0.1531E+01    926.52    297.63      0.1492E-01    0.0000    0.0000
14     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
15     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
16     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
17     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
18     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
19     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
20     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
21     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
22     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
23     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
24     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
25     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
26     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
27     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
28     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
29     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
30     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
31     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
32     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
33     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
34     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
35     0.1531E+01    926.52    297.67      0.1492E-01    0.0000    0.0000
    
```

29-rasm

9. IQTISOD MASALALARINI MODELLASHTIRISH

9.1. Iqtisodiy o'sishining makromodeli

O'suvchi iqtisodda vaqt o'tishi bilan ishlovchilar soni ko'payib boradi. Eng oddiy holda ish bilan ta'minlanganlarning o'sish sur'ati ishlayotganlar soni bilan proporsional.

$$\frac{dR}{dt} = \alpha R(t) \quad (1)$$

Shuning uchun $R(t) = R_0 e^{\alpha t}$ vaqtning ma'lum bir funksiyasi, $R_0 = R(0)$ - boshlang'ich vaqtdagi ishlovchilar soni, α - ma'lum miqdor.

Ishchilar mehnati tufayli $y(t)$ milliy daromad keltirsak. Bu daromad qisman ehtiyojlarni qondirishga va jamg'arishga ketadi, Ya'ni

$$y(t) = W + A \quad (2)$$

Bu yerda W - ehtiyojlarni qondirishga sarf buladigan, A - jamg'arilgan daromad qismlaridir.

Jamg'arilgan A qism esa o'z navbatida qatordan chiqib qolgan sanoat quvvatini tiklash va yangi quvvatlar yaratish uchun sarf etilib, yana iqtisodga qaytadi.

$M(t)$ - quvvat deyilganda mahsulotni mumkin qadar maksimal ishlab chiqarish tushiniladi. Mahsulotni real ishlab chiqarish ishlovchilar soniga bog'liq bo'ladi.

$$y(t) = M(t) f(x(t)). \quad (3)$$

(3) da - $x(t) = R(t) / M(t)$ - bir birlik quvvatda ishlovchilar soni.

$f(x)$ funksiya tug'risida quyidagiga faraz qilinadi:

1) $f(0) = 0$, $f'(x) > 0$, ya'ni ishlovchilar soni oshishi bilan ishlab chiqarilayotgan mahsulot ham oshib boradi va $f''(x) < 0$ iqtisodni mahsulot bilan to'lganligini (ta'minlanganligini) bildiradi.

2) $f(x)$ funksiya x -ning $[0; X_M]$ oroligida aniqlangan, $X_M = R_M / M$, $R_M(t) - M(t)$ qo'vvatni ta'minlovchi xo'jalikdagi ishchilar soni. Agar xamma ish joylari ishchilar bilan ta'minlangan bo'lsa, u holda mahsulotni ishlab chiqarish miqdori $Y(t)$ ta'rifga ko'ra $Y(t) = M(t)$, ya'ni $f(X_M) = 1$ bo'ladi.

ishlab chiqarishdan topilgan daromadni ehtiyojni qondirishga va jamg'arishga ajratishning samarali usullarini aniqlash iqtisodiyot masalalarining asosiy masalalaridan biridir. Optimallikni kriteriyasi sifatida jon boshiga (bir ishchiga) sarf bo'ladigan ehtiyojni $C(t) = W(t) / R(t)$ ni qabul qilish mumkin.

Vaqt birligi ichida jamg'arilgan $A(t)$ daromad yangi quvvatlarni yaratishga sarf bo'ladi:

$$A(t) = a I(t), \quad (4)$$

bu yerda:

$a > 0$ yangi quvvat birligini yaratish uchun zarur bo'ladigan fondni tashkil etuvchi berilgan o'zgarmas miqdor,

$I(t)$ – yangi quvvat birligi soni.

Mavjud quvvatni ishdan chiqish tezligi quvvatning o'ziga proporsional, ya'ni $\beta M(t)$ deb hisoblanadi, u holda quvvat quyidagiga o'zgaradi:

$$\frac{dM}{dt} = I(t) - \beta M(t), \quad (5)$$

Bu yerda $\beta > 0$ - ishdan chiqish koeffitsiyenti.

(2), (3) va (5) tenglamalarda 4 ta noma'lum $y(t)$, $W(t)$, $M(t)$, $I(t)$ lar qatnashayapti. Modelni to'ldirish uchun yangi quvvat miqdori mavjud quvvat miqdoriga proporsional $I(t) = \gamma M(t)$ deb faraz qilamiz, bunda γ - berilgan o'zgarmas miqdor bo'lib, $\gamma > \beta$.

U holda (5) quyidagi yechimga ega bo'ladi:

$$M(t) = M_0 e^{(\gamma - \beta)t}, \quad (6)$$

va shu orqali boshqa miqdorlar ham aniqlanadi.

Oddiy

$$\gamma - \beta = \alpha \quad (7)$$

holni qaraymiz. Bu esa quvvat $R(t)$ va $y(t)$ lar bilan bir xil sur'at bilan o'sar ekan, chunki

$$f(x(t)) = f(x) = \frac{R_0}{M_0} = const.$$

Jon boshiga sarf bo'ladigan ehtiyojni quyidagiga ifodalash mumkin:

$$C(t) = \frac{W(t)}{R(t)} = \frac{y(t) - A(t)}{R(t)}$$

(3 - 4) va (6 - 7) larni hisobga olsak

$$C(t) = c = \frac{f(t) - \alpha(\alpha + \beta)}{x} = const.$$

Uning maksimumi quyidagi shartdan topiladi:

$$\frac{dC}{dX} = \frac{d}{dX} \left(\frac{f(x) - \alpha(\alpha + \beta)}{x} \right) = 0.$$

Ya'ni, quyidagi tenglamadan:

$$X_m f'(X_m) - f(X_m) + \alpha(\alpha + \beta) = 0 \quad (8)$$

$0 < X_m \leq X_m$ va $X_m = R_0 / M_0$ shartlarni qanoatlantiruvchi yagona yechimni aniqlash mumkin.

Jon boshiga sarf bo'ladigan maksimum ehtiyoj C_m ni ta'minlaydigan jamg'arish normasi quyidagicha:

$$n_m = \frac{A_m}{y_m}$$

$y_m = M_m f(X_m)$ va $A_m = \alpha \gamma M_m$ va (3), (6) - lardan aniqlanadi:

$$n_m = 1 - X_m \frac{f'(X_m)}{f(X_m)} \quad (9)$$

Bu norma iqtisod o'sishini oltin qoidasining normasi Solou nomi bilan yuritiladi. Agar (7) shart bajarilmasa, iqtisod o'sishi rejimi murakkab protsessdan iborat bo'ladi.

9.2. Ikki davlat orasidagi qurollanish poygasi modeli

Ush bu modelni hosil qilishda vaqt o'tishi bilan har bir davlatdagi qurollar miqdori uchta faktorga bog'liq holda o'zgaradi deb faraz qilindi:

- 1) raqib davlatdagi qurollar miqdori;
- 2) mavjud qurollarning eskirishi;
- 3) raqiblar o'rtasidagi o'zaro ishonchsizlik darajasi.

Qurollanishning o'sishi va kamayishi ko'rsatilgan faktorlarga proporsional bo'ladi, Ya'ni:

$$\begin{cases} \frac{dM_1}{dt} = \alpha_1(t)M_2 - \beta_1(t)M_1 + \gamma_1(t) \\ \frac{dM_2}{dt} = \alpha_2(t)M_1 - \beta_2(t)M_2 + \gamma_2(t) \end{cases} \quad (1)$$

(1) munosabatda da quyidagi belgilashlar qo'llanilgan:

$M_1, M_2 > 0$ qurollar miqdorlari;

$\alpha_1(t) > 0, \alpha_2(t) > 0$ – qurollarni eskirish tezligini xarakterlovchi ko'effitsiyentlar;

$\gamma_1 \geq 0, \gamma_2 \geq 0$ funksiyalar qurol miqdoriga bog'liq emas deb hisoblaniladi va boshqa sabablar bilan aniqlanib, raqiblar o'rtasidagi ishonchsizlik darajasini ifodalaydi.

Bu model qurollanish poygasi dinamikasiga ta'sir etuvchi ko'pgina muhim faktlarni hisobga olmasada, lekin bir qator kerakli ma'lumotlarni tahlil qilish imkonini beradi.

Agar α_i, β_i ($i = 1, 2$) funksiyalar vaqtga bog'liq bo'lmasa, (1) model quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\begin{cases} \frac{dM_1}{dt} = \alpha_1 M_2 - \beta_1 M_1 + \gamma_1 \\ \frac{dM_2}{dt} = \alpha_2 M_1 - \beta_2 M_2 + \gamma_2 \end{cases} \quad (2)$$

(1) tenglama $\frac{dM_1}{dt} = 0, \frac{dM_2}{dt} = 0$ muvozanat holatlariga ega.

M_1^0, M_2^0 – muvozanat qiymatlari quyidagi shartdan aniqlanadi:

$$\begin{cases} \alpha_1 M_2 - \beta_1 M_1 + \gamma_1 = 0 \\ \alpha_2 M_1 - \beta_2 M_2 + \gamma_2 = 0 \end{cases}$$

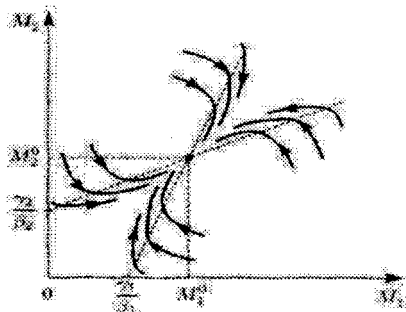
bundan,

$$M_1^0 = \frac{\alpha_1 \gamma_2 + \beta_2 \gamma_1}{\beta_1 \beta_2 - \alpha_1 \alpha_2}, \quad M_2^0 = \frac{\alpha_2 \gamma_1 + \beta_1 \gamma_2}{\beta_1 \beta_2 - \alpha_1 \alpha_2} \quad (3)$$

(3) dan ko'rinib turibdiki, $M_1^0 > 0, M_2^0 > 0$ larda muvozanat holat mavjud bo'lishi uchun $\beta_1 \beta_2 > \alpha_1 \alpha_2$ (4) shart bajarilishi kerak.

Agar $\alpha_1, \beta_1, \beta_2$ lar o'zgarmas bo'lsa, α_2 esa o'ssa, bu shuni bildiradiki, birinchi davlat qurollanish sohasiga qarashlarini, strategiyasini o'zgartirmaydi, ikkinchi davlat esa qurollar eskirishi bilan qurollanishga zo'r beradi. U holda α_2 yetarlicha katta qiymatga erishsa, muvozanat xolati buziladi va (4) tengsizlik

bajarilmaydi. Agar γ_1 va γ_2 nolga teng bo'lsa, muvozanat holati ikkala davlatda ham qurollar yo'qligiga mos keladi. $M_1(t)$ va $M_2(t)$ funksiyalar t ushishi bilan (4) shart bajarilgan vaqtlarda muvozanat qiymatlariga intiladi (9.1-rasm).



9.1.-rasm.

Shunday qilib, muvozanat turg'un, Ya'ni muvozanat holatidagi og'ishlar vaqt o'tishi bilan kichik miqdorlarga aylanib boradi.

9.3. Reklama kompaniyasini tashkillashtirish modeli

Faraz qilaylik, firma yangi tovari yoki xizmatini reklama qilishni rejalashtirmoqda. Ish boshlanishida yangilikdan iste'molchilarning ozgina qismi xabardorligi sababli reklamaga sarf etiladigan xarajatlar reklama kompaniyasi oladigan foydasiga nisbatan ko'proq bo'lishi mumkin. Keyinchalik, vaqt o'tishi bilan iste'molchilar sonini oshishi tufayli sezilarli foydaga umid qilish mumkin. Shunday vaqt momenti keladiki, bu vaqtda firma yangi tovari yoki xizmat turi bilan iste'molchilar bozori to'yingan bo'ladi va endi tovarni yoki xizmatni reklama qilish ma'noga ega bo'lmay qoladi. Bundan keyin mavzuni bayon qilishda tovar yoki xizmat turi iboralari o'rniga qulaylik uchun faqat tovar so'zidan foydalanamiz.

Reklama kompaniyasining matematik modelini tuzishda quyidagi belgilashlardan foydalaniladi:

t —reklama kompaniyasi boshlanganidan kuzatuvgacha bo'lgan vaqt;

$\lambda(t)$ – firma tovaridan xabardor mijoz yoki iste'molchilarning t vaqtidagi soni;

N_0 – firma tovariga pul to'lashi mumkin bo'lgan xaridorlarning umumiy soni.

Matematik modelni qurish quyidagi asosiy farazlarga asoslanadi. Tovar haqida xabardor bo'lgan va ularni sotib olishga qurbi yetgan iste'molchilar sonining vaqt bo'yicha o'zgarish tezligi dN/dt tovar haqida xabari bo'lmagan xaridorlar soni $\alpha_1(t)(N_0 - N(t))$ ga proporsional. Bu yerda $\alpha_1(t) > 0$ - reklama kompaniyasi ishini jadalligi (ushbu vaqt momentida reklamaga sarf etilgan xarajatlar) ni anglatadi. Shuningdek, tovar haqida xabardor bo'lgan xaridorlar tovar haqida xabardor bo'lmagan xaridorlarga u yoki bu tarzda tovar haqida axborot tarqatib, firmani qo'shimcha reklama agenti sifatida ishtirok etadi deb faraz qilinadi. Ularning ulushi $\alpha_2(t)N(t)(N_0 - N(t))$ miqdorga teng bo'lib, agentlar soni oshishi bilan bu miqdor ham oshib boradi. $\alpha_2(t) > 0$ miqdor xaridorlar o'rtasidagi o'zaro muomalalar (axborot almashish) darajasini belgilaydi (bu miqdorni qiymati, masalan, so'rovnomaga o'tkazish yo'li bilan ham aniqlanishi mumkin).

Yuqoridagi farazlarga asosan reklama kompaniyasining matematik modeli quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\frac{dN}{dt} = [\alpha_1(t) + \alpha_2(t)N(t)](N_0 - N). \quad (1)$$

Agar $\alpha_1(t) \gg \alpha_2(t)N(t)$ bo'lsa, (1) modeldan Maltus tipidagi modelga ega bo'lish mumkin, aksincha tengsizlikda populyatsiyaning quyidagi modelini hosil qilish mumkin:

$$\frac{dN}{d\tau} = N(N_0 - N), \quad d\tau = \alpha_2(t)dt.$$

Ushbu modelni va populyatsiya modelini tuzishda qandaydir miqdorning vaqt bo'yicha o'sish tezligi ushbu miqdorning joriy vaqtdagi $N(t)$ qiymatini muvozanat holati (populyatsiyada) dagidan yoki xaridorlarning maksimal qiymatidan joriy vaqtdagi $N(t)$ qiymatini ayirmasi - $N_0 - N(t)$ ko'paytmasiga proporsional degan farazga tayanilgan edi. Shu sababli ularning analogiyasidan

foydalanish mumkin. Agar $\alpha_1(t) + \alpha_2(t)N(t)$ miqdor vaqtiing qandaydir momentida nolga tenglashsa yoki manfiy qiymatga ega bo'lsa (buning uchun $\alpha_1(t)$, $\alpha_2(t)$ koeffitsiyentlarning birortasi yoki ikkalasi ham manfiy ishoraga ega bo'lishi lozim) ushbu jarayonlar o'rtasidagi analogiya tugaydi. Shunga o'xshash salbiy holatlar turli reklama kompaniyalarida tez-tez uchrab turadi. Bunday hollarda reklamani xarakterini o'zgartirish yoki bo'lmasa reklamadan butunlay voz kechish lozim bo'ladi. Tovarni ommaviylikini oshirish tadbiri $\alpha_1(t)$, $\alpha_2(t)$, $N(t)$ miqdorlarni qiymatlariga bog'liq holda to'g'ridan-to'g'ri ($\alpha_1(t)$ parametr) yoki ikqilamchi tarzda ($\alpha_2(t)$ parametr) reklama natijasini yaxshilashga yo'naltirilishi mumkin.

(1)-chi matematik model chekli vaqt momentlarida nolga aylanadigan yechimlarga ega emas. Populyatsiya sonini vaqt bo'yicha o'zgarishidan ma'lumki, $t \rightarrow -\infty$ da $N(t) \rightarrow 0$. Reklama kompaniyasiga nisbatan bu narsa shuni anglatadiki, reklama boshlanishidan oldinroq xaridorlarning bir qismi yangi tovardan xabardor bo'lishgan.

Agar $N \ll N_0$, $\alpha_2(t)N \ll \alpha_1(t)$ deb hisoblab, (1) matematik modelni $N(t=0) = N(0) = 0$ ($t=0$ - reklamani boshlanish vaqti) nuqta atrofida qaraydigan bo'lsak, (1) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\frac{dN}{dt} = \alpha_1(t)N_0,$$

va u $t=0$ dagi boshlang'ich shartni qanoatlantiruvchi

$$N(t) = N_0 \int_0^t \alpha_1(t) dt \quad (2)$$

yechimga ega.

Endi, bitta tovardan tushadigan foydani p orkali belgilaymiz. Soddaqlik uchun har bir xaridor faqatgina bitta tovar sotib olsin deb hisoblaymiz. Ma'lumki, $\alpha_1(t)$ koeffitsiyent ma'nosi bo'yicha reklama uchun vaqt birligi ichida qilinadigan harakatlar soniga teng (masalan, bir turdagi afishalarni yelimlash). s orqali

elemantar reklama harakatining narxini belgilanadi. U holda jami foyda,

$$P = pN(t) = pN_0 \int_0^t \alpha_1(t) dt, \quad (3)$$

saraf qilingan xarajatlar esa quyidagiga teng bo'ladi:

$$S = s \int_0^t \alpha_1(t) dt.$$

Ko'rinib turibdiki, X_0 bo'lgandagina foyda xarajatlarga nisbatan yuqori bo'ladi. Juda samarali bo'lmagan yoki qimmat reklamadan firma birinchi qadamidayoq kamomadga uchraydi. Ammo, bu holat reklamani to'xtatish uchun asos bo'la olmaydi. Haqiqatdan ham, (3) ifoda va X_0 shart faqatgina $N(t)$ ning kichik qiymatlarida hamda P va S vaqt bo'yicha bir xil qonuniyat asosida o'sib borsagina o'rinli bo'ladi. $N(t)$ ning o'sishi bilan (1) munosabatda tashlab yuborilgan hadlar sezilarli qiymatlarga ega bo'ladi, xususan ikqilamchi reklamaning ta'siri kuchayadi. Shuning uchun $N(t)$ funktsiya (3) munosabatdagiga nisbatan vaqt bo'yicha tez o'suvchi funktsiya bo'lib qolishi mumkin. $N(t)$ miqdorning o'zgarishidagi bu chiziqsiz effekt xarajatlarning o'zgarimas tempda o'sishida reklama kompaniyasining boshlang'ich bosqichidagi moliyaviy muvaffaqiyatsizligini kompensatsiya qilish imkonini beradi.

Ushbu tasdiqni (1) tenglamaning xususiy holi, ya'ni $\alpha_1(t)$, $\alpha_2(t)$ koeffitsiyentlar o'zgarimas bo'lganda izohlaymiz. Quyidagi

$$\bar{N} = \alpha_1 / \alpha_2 + N$$

belgilash orkali (1) tenglama

$$\frac{d\bar{N}}{dt} = \alpha_2 \bar{N} (\bar{N}_0 - \bar{N}), \quad \bar{N}_0 = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} + N_0 \quad (4)$$

ko'rinishga keladi. Ushbu tenglamani yechimi quyidagidan iborat:

$$\bar{N}(t) = \left[1 + (\bar{N}_0 \alpha_2 / \alpha_1 - 1) \cdot \exp(-\alpha_2 t \bar{N}_0) \right]^{-1}, \quad (5)$$

bunda $\bar{N}_0 = \alpha_1 / \alpha_2$.

Shunday qilib, $N(0) = 0$, Ya'ni boshlang'ich hart bajarilmoqda. (4) dan ko'rinib turibdiki, $\bar{N}(t)$ funksiyaning hosilasi, xususan $N(t)$ funksiya $t > 0$ bo'lganda boshlang'ich qiymatlaridan katta bo'lishi mumkin ($\bar{N}_0 > 2\alpha_1/\alpha_2$ yoki $N_0 > \alpha_1/\alpha_2$ shartlarda). $\bar{N} = \bar{N}_0/2$, $N = (\alpha_1/\alpha_2 + N_0)/2$ qiymatlarda $\bar{N}(t)$ funksiyaning hosilasi maksimumga erishadi:

$$\left(\frac{d\bar{N}}{dt}\right)_m = \left(\frac{dN}{dt}\right)_m = \alpha_2 \frac{\bar{N}_0^2}{4} = \alpha_2 \frac{(\alpha_1/\alpha_2 + N_0)^2}{4}.$$

Bu vaqtga kelib vaqt birligi ichida olinadigan joriy foyda quyidagiga teng:

$$P_m = p \frac{dN}{dt} = p\alpha_2 \frac{(\alpha_1/\alpha_2 + N_0)^2}{4}.$$

P_m - joriy foydadan boshlang'ich joriy foyda $P_0 = p(dN/dt)_{t=0} = \alpha_1 N_0$ ni ayirib, quyidagiga ega bo'lish mumkin:

$$P_m - P_0 = p \frac{(\alpha_1/\sqrt{\alpha_2} - \sqrt{\alpha_2} N_0)^2}{4}.$$

Bundan ko'rinib turibdiki, boshlang'ich joriy foyda va maksimal joriy foydaning farqi yetarli darajada sezilarli bo'lishi mumkin.

(4) tenglamadan yana shuni ta'kidlash mumkinki, qandaydir vaqtdan boshlab reklamani davom ettirish foydasiz bo'lib koladi. Hakikatdan ham, $\bar{N}(t)$ ning N_0 ga yaqin qiymatlarida (4) tenglamani

$$\frac{d\bar{N}}{dt} = \alpha_2 N_0 (\bar{N}_0 - \bar{N}) \quad (6)$$

ko'rinishda yozish mumkin. Bu tenglamaning yechimi $t \rightarrow \infty$ da sekin eksponensial qonun bo'yicha \bar{N}_0 chekli qiymatga ($N(t)$ funksiya esa N_0 ga) intiladi. Vaqt birligi ichida uncha ko'p bo'lmagan sondagi yangi xaridorlar paydo bo'ladi va tovarni sotishdan tushayotgan foyda ixtiyoriy shartlarda ham davom etayotgan xarajatlarni qoplaymay qoladi.

9.4. Korxonalar o'zaro qarzlari bartaraf etishi modeli

Ixtiyoriy iqtisodiy tizim bir-biri bilan tovar va xizmatlar almashinuvchi o'n minglab korxonalar (firma, korporatsiya va boshqalar) larni o'z ichiga oladi. Hatto'ki, nisbatan uncha ko'p bo'lmagan bevosita hamkorlarga ega bo'lgan kichik bir korxonalar ikkilamchi tarzda (ikkilamchi hamkorlari aloqalari orqali) katta miqdordagi korxonalar bilan bog'langan. Ushbu korxonaning iqtisodiy o'sishi hamkorlarning iqtisodiy holatiga to'g'ridan-to'g'ri bog'liq. Aynan bu tasdiq yuzlab va minglab hamkorlar bilan aloqa qiluvchi katta korporatsiya va korxonalar uchun juda o'rinli.

Iqtisodiy sistemani barcha qismlarining bir-biriga o'zaro bog'liqligi sotilgan tovarlar yoki ko'rsatilgan xizmatlar uchun to'lovlarni amalga oshirishda korxonalar o'rtasida bo'ladigan hisob-kitobda yaqqol ko'rinadi. Haqiqatdan ham, korxonalar sotilgan tovar uchun mijozlardan olinadigan to'lovni korxonani faoliyatini samarali yuritish maqsadida boshqa firmalardan yangi mahsulotlar va mashinalar sotib olishga, oylik maoshi to'lashga (ya'ni, ishchi kuchi sotib olishga), reklamaga va boshqa harakatlarga sarflaydi. Shu sababli ushbu korxonalar hamkorlarining kattagina qismi qo'shimcha tarzda iqtisodiy aylanma (oborot)ga jalb etiladi. O'z navbatida korxonadan tovar sotib olgan mijoz ushbu tovardan qayta sotish yoki o'zini mahsulotini ishlab chiqarish va boshqa maqsadlar uchun foydalanib, iqtisodiy faoliyatda ishtirok etuvchi agentlar sonini oshiradi.

Agar tovarlar o'z vaqtida mijozlarga yetkazib berilsa va o'z navbatida mijozlar ushbu tovarlarga to'lovni vaqtida amalga oshirsalar moliyaviy tomondan iqtisodiy sistemaga hech narsa xavf solmaydi. Shu sababli korxonalar o'z faoliyatini davom ettirish uchun bank hisob raqamlaridagi moliyaviy resurslarini kattagina qismini foydalanishlariga, boz ustiga asosiy fondlarini (yer, ko'chmas mulk, qurilma, texnologiya) sotishlariga hech narsa to'sqinlik qila olmaydi. Amalda tovarni yetkazib berish va uni to'lovi (yoki barcha tovarlar uchun yoxud bundan keyin yetkazib beriladigan tovarlar uchun oldindan to'lovlar) o'rtasida doimo vaqt bo'yicha kechikish mavjud. Bu kechikishning minimal qiymati sof

texnik sabablar bilan aniqlanadi, chunki tovarni tashish va qadoqlash, bankdan pul ko'chirish uchun doimo vaqt talab qilinadi.

Ammo, shunday holatlar ham mavjudki, qandaydir iqtisodiy, moliyaviy, ichki va tashqi siyosat, ijtimoiy va boshqa sabablarga ko'ra to'lovlarni (mahsulotlarni yetkazib berishni) kechikish vaqtini moliyaviy oborot vaqti bilan taqqoslash mumkin bo'lib qoladi. Amalga oshirilmagan to'lovlar yoki yetkazib berilmagan tovarlarning hajmi esa korxonaning erkin oborotdagi vositalari bilan taqqoslash mumkin bo'lgan darajadagi miqdorga ega bo'ladi. Bu holda butun iqtisodiy tizimni jiddiy inqirozga olib keluvchi *to'lay olmaslik inqiroziga (krizis neplatejey)* kelib chiqadi.

Hakikatdan ham, yetkazib berilgan mahsulotga pul olmagan (yoki mahsulotga pul to'lagan, ammo uni olmagan) korxonada mahsulotni sotganlar (birinchi sotuvchilar) ga mahsulot uchun to'lashi lozim bo'lgan to'lovni amalga oshira olmaydi (chunki korxonaning qarzlari hajmi erkin oborotdagi vositalari bilan taqqoslash mumkin bo'lgan darajada, ulardan foydalanish xolatini yaxshi tomonga o'zgartira olmaydi). O'z navbatida mahsulotni yetkazib beruvchilar o'z mijozlari bilan, bu mijozlar esa o'zlarini mijozlari bilan va x.k. hisob-kitob qila olmaydilar. Natijada butun iqtisodiy tizimda (*neplatejey*) *to'lay olmaslikning* uzun zanjiri paydo bo'ladi. Bu zanjir N ta tarkibiy qismdan iborat bo'lib, ularning umumiy soni $N!$ (N - korxonalarning umumiy soni) ga yetishi mumkin. Zanjirdagi qarzar mikdorlarining absolyut qiymatlari yig'indisi korxonaning nafaqat erkin oborotdagi vositalaridan oshib ketadi, balki ularning asosiy fondlari narxlarini bilan solishtirish mumkin bo'lgan darajaga yetadi (ixtiyoriy korxonada bir vaqtning o'zida o'z hamkorlarining qarzdori va kreditori bo'lishi mumkin, shu sababli bu yerda gap aynan qarzar mikdorlarining absolyut qiymatlari yig'indisi haqida ketmoqda). Bu holatda tizim boshi berk ko'chaga kirib qoladi – korxonada ishlab chiqarishni to'xtatishi kerak yoki jami qarzar miqdorini oshirib, bir-biridan qarzar olib, faoliyatini davom ettirishi mumkin.

Umuman olganda, vaziyatdan chiqish uchun quyidagicha yondoshish mumkin: qandaydir vakolatli muassasa (masalan,

markaziy bank) barcha korxonalariga qarzlari miqdorida bir vaqtning o'zida kredit berish. U holda bu korxonalar bir-biri bilan hisob-kitob qilib, kreditlarni qaytaradilar. Ammo, bunday kredit siyosati salbiy oqibatlarga olib keluvchi, kuchli inflyatsiyani paydo bo'lishiga turtki bo'lishi mumkin (mahsulotlarni ishlab chiqarish ko'paytirilmadi, oborotdagi pul esa birdaniga ko'payib ketdi).

Ixtiyoriy to'layolmaslik inqrozida hisob-kitoblar jarayoni o'zini nomukamalligi bilan bog'liq bo'lgan sof «texnik» komponentalar doimo hal qiluvchi rolni bajaradi. Keyinchalik iqtisodiy, siyosiy va boshqa sabablar bilan paydo bo'lmagan inqrozlarni, ya'ni aynan hisob-kitoblar jarayonini nomukamalligi bilan bog'liq bo'lgan inqrozlarni o'rganamiz.

Masalaning mohiyatini avval uchta korxonadan tashkil topgan tizim uchun sonli misolda tushuntiramiz. Ushbu korxonalardan har biri shartli bitta moliyaviy birlikka teng bo'lgan erkin oborot vositasiga va 10 birlikka teng asosiy fondlarga ega. Birinchi korxonaga ikkinchisiga 100 birlik, ikkinchisi uchinchisiga 100 birlik va uchinchisi birinchisiga 100 birlik qarz bo'lsin. Korxonalarining qarzlari absolyut yig'indilari 600 birlikka teng bo'lib, ularning asosiy fondlari (30 birlik) ga nisbatan ancha katta, erkin oborot vositalari (3 birlik) ga nisbatan solishtirmasa ham bo'ladi. Shu bilan bir vaqtda ushbu tizimning moliyaviy ahvoli juda yaxshi, chunki korxonalar har birining alohida jami qarzlari (ya'ni, korxonaga berishi lozim bo'lgan va olishi lozim bo'lgan vositalar) yig'indisi nolga teng. Bu holatda o'zaro hisob-kitob qilish jarayoni bir vaqtning o'zida barcha qarzlarni bekor qilishdan iborat: hech kim hech kimdan qarz emas va qarz g'avg'osidan holis holda hamkorlar o'z ishini davom ettirishi e'lon qilinadi. Bu holda markazlashgan kreditga hojat qolmaydi.

Katta moliyaviy majburiyatlar zimmasida bo'lgan ko'p sondagi korxonalar uchun bu yondoshishni amalga oshirib bo'lmaydi. Buning uchun masalani formallashtirish va chuqur tahlil qilish lozim bo'ladi.

Iqtisodiy tizim o'zaro bir-biriga qarz berishi va bir-biridan qarz olishi mumkin bo'lgan N ta moliyaviy baquvvat korxonalardan iborat bo'lsin. x_{nm} M orqali n -chi korxonaning m -chi

korxonadagi qarzini (agar $x_{nm} < 0$ bo'lsa birinchi korxonaga ikkinchisidan qarzdor bo'ladi va $x_{nm} > 0$ bo'lsa aksincha bo'ladi) belgilaymiz. Bu belgilashga asosan

$$x_{nm} = -x_{mn}, \quad x_{nn} = 0$$

ekanligi ko'rinib turibdi. Demak, jami qarzlarning to'plamini diagonali nollardan iborat (chunki, $x_{nn} = 0$, ya'ni korxonaga o'zidan qarzdor bo'la olmaydi) bo'lgan $N \times N$ o'lchamli qiya-simmetrik matritsa ko'rinishida ifodalash mumkin.

Barcha o'zaro qarzlarning yig'indisini individual qarzlarning orqali quyidagi munosabat yordamida hisoblash mumkin:

$$X = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N |x_{nm}|. \quad (1)$$

Agar (1) munosabat bilan aniqlanadigan miqdorni korxonalarining barcha erkin vositalari yig'indisi X_0 bilan taqqoslash mumkin bo'lsa, u holda bu miqdor tizim moliyaviy holatining miqdoriy karakteristikasi sifatida xizmat qilishi mumkin, ya'ni

$$X > X_0 = \sum_{n=1}^N x_n. \quad (2)$$

(2) tengsizlik bilan ifodalanadigan holat to'lay olmaslik inqirozini anglatadi, bu yerda $x_n \geq 0$ bilan n -chi korxonaning individual erkin vositasi belgilangan.

Har bir korxonaning kredit va qarzlari (saldo) balansi korxonalarining yana bitta muhim bo'lgan karakteristikasidir, u quyidagicha aniqlanadi:

$$S_n = \sum_{m=1}^N x_{nm}. \quad (3)$$

(3) tenglikka asosan quyidagi hollardan biri bo'lishi mumkin:

$-S_n > 0$, $S_n < 0$ va $S_n = 0$. $S_n > 0$ da korxonaga $S_n < 0$ balansga ega bo'lgan qarzdor korxonalar uchun qarz beruvchi – kreditor vazifasini o'taydi;

$-S_n = 0$ korxonani kreditor ham debitor ham emasligini, Ya'ni korxonaga hech kimdan hech qanaqa qarzi yo'qligini anglatadi;

$-|S_n| < x_n$ bo'lgan hol korxonaning individual moliyaviy holati normal holatda ekanligini, korxonani qarzlari (yoki uning boshqa korxonalarga bergan kreditlari)ning real yig'indisi uning erkin vositalaridan kichiq ekanligidan dalolat beradi.

Xuddi shunga o'xshash, iqtisodiy tizimning absolyut saldo (qoldiq)lari yig'indisi

$$S = \sum_{n=1}^N |S_n|, \quad (4)$$

bu tizimning moliyaviy ahvolini anglatuvchi makroko'rsatkich sifatida xizmat qiladi. Agar $S < X_0$ bo'lsa, ushbu iqtisodiy tizimda erkin vositalar qarzlardan hajmidan katta bo'lib, bu tizim normal faoliyat yuritishi mumkin (yuqorida keltirilgan misoldagi uchta korxonadan iborat tizim kabi).

X va S mikdorlar o'rtasida doimo ma'lum munosabat mavjud. Ixtiyoriy qarzlarni matritsasi uchun

$$X \geq S, \quad (5)$$

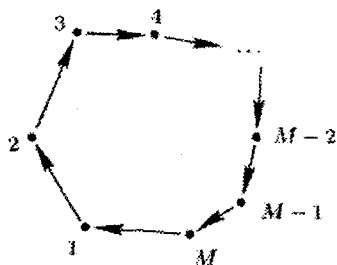
o'rinli, ya'ni qarzlarni yig'indisi hech qachon saldolari yig'indisidan kichiq bo'lishi mumkin emas.

O'zaro qarzlarni bartaraf qilish masalasi x_{nm} lar matritsasini bilgan holda $X' < X$ shartni kanoatlantiruvchi «yangi» x'_{nm} lardan tashkil togan qarzlarni matritsasini topishdan iborat. (5) tengsizlikdan ko'rinib turibdiki, $X' = S$ bu masalaning ideal yechimidir. U holda normal moliyaviy holat ($S \leq X_0$) dagi tizim uchun $X' = S \leq X_0$ munosabat bajariladi va o'zaro qarzlarni uzilgandan keyin bu tizim normal faoliyatini yuritishi mumkin.

O'zaro qarzlarni uzish (bartaraf etish) jarayonining matematik modelini qurishda quyidagi ketma-ket harakatlardan foydalaniladi. Birinchi navbatda ma'lum bir bosqichda individual qarzlarni to'plamini va korxonalar o'rtasidagi aloqalarni chuqur tahlil qilishdan voz kechish lozim.

Yuqorida keltirilgan misolda uchta korxonaga qo'llanilgan qarzlarni to'lay olmaslik zanjirini kuzatish jarayoni N ta korxonaga uchun nafaqat bajarish kiyin, balki bu amaliyot kamchiliklardan holi emas. M ta korxonaning har biri ikkinchisiga, ikkinchisi

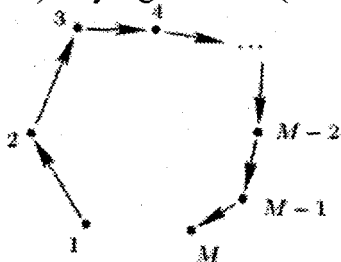
uchinchisiga va hakazo M -chisi birinchisiga bir xil miqdordagi qarzdor bo'lgan zanjirni qaraymiz (9.1-rasm). Ko'rinib turibdiki, bu yopiq zanjir va har bir korxonona qarzlaridan qutilishlari mumkin, ya'ni korxononalarini qarzlari bekor qilinadi. Agar M -chi korxonona birinchisiga qarzdor bo'lmasa, hosil bo'lgan zanjir ochiq bo'lib (9.2-rasm), endi yuqoridagi usulni bu zanjirga qo'llab bo'lmaydi.



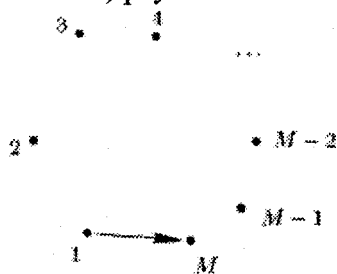
9.1 - rasm

Bu holda qarzdorlikdan qutilishni yo'li ikkinchi, uchinchi va xokazo $(M-1)$ chi korxononalarini qarzlari bekor qilinib, birinchi korxonona o'z qarzini M -chi korxonona to'lashni birinchi korxonona zimmasiga yuklashdan iborat (9.3-rasm).

Qarzni bir korxononadan ikkinchi korxonona yunaltirish mohiyati va mazmuni bo'yicha veksel bilan muomala qilishga mos keladi. Bu holda qarz bergan xo'jayin o'zgarib, natijada qarzdor korxonona (birinchi) da yangi kreditor (M -chi korxonona) paydo bo'ladi.



9.2 - rasm



9.3 - rasm

Qarzdorlikning yopiq zanjiri (9.1-rasm) da $x_{nm} = -x_{mn}$ ekanligini hisobga olsak, quyidagini hosil qilish mumkin:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N x_{nm} = 0.$$

Bu tenglikdan $S_n = \sum_{m=1}^N x_{nm}$ ekanligini nazarda tutib, har bir korxonaning kreditlari va qarzlari (saldo) balansi uchun quyidagiga ega bo'lish mumkin:

$$\sum_{n=1}^N S_n = 0, \quad (6)$$

yoki

$$\sum_{S_n > 0} S_n = - \sum_{S_n < 0} S_n = \frac{S}{2}. \quad (7)$$

(6) munosabatdan ko'rinib turibdiki, korxonaning musbat saldolari yig'indisi uning manfiy saldolari yig'indisiga teng. Ko'rib chiqilgan o'zaro qarzlardan qutilish tizimi «simmetrik konservativlik» (7) xususiyatiga ega, shuningdek bu tizim uchun «saqlanish konunlari» (massaning, energiyaning va boshqalarning saqlanish konunlari) - (6) o'rinli bo'ladi.

(7) munosabatga asosanib, o'zaro qarzlardan ideal qutilishning matematik modelini qurishda quyidagi shartlardan foydalanish mumkin:

1) barcha x_{nm} qarzlari ma'lum va bu qarzlarni korxonalar tan olishadi;

2) o'zaro qarzlarni uzishda korxonalarni S_n saldosi o'zgarmasdan qoladi: $S'_n = S_n$, ya'ni bu holda korxonalarining individual moliyaviy holati o'zgarmaydi;

3) x_{nm} qarzlarni bir qismi bekor qilinadi, bir qismi boshqa korxonalariga yo'naltirilishi mumkin, ya'ni korxonalar yangi debitorlarga va kreditorlarga ega bo'lishi hamda eski qarzlarning bir qismidan qutilishi mumkin.

O'zaro qarzlardan qutilish jarayonining mohiyati x_{nm} qarzlarni o'rniga korxonalarni S_n saldosi o'rganishdan iborat. $S_n < 0$ bo'lgan korxonalar qarzidor, saldosi $S_n > 0$ korxonalar kreditor deb e'lon qilinadi. Keyin esa saldosi $S_n < 0$ bo'lgan korxonalarining qarzlari kreditorlar o'rtasida qanaqadir yo'llar bilan taqsimlanadi,

ya'ni «yangi» x'_{mm} qarzlarni tizimi topiladi. Bunda (6) saqlanish konuni va 2) shart hamda $X' = S$ tenglik bajariladi. Shu sababli o'zaro qarzlardan qutilish masalasining bu yechimi *optimal yechim deb ataladi*.

Yuqorida keltirilgan optimal yechim juda ko'plab variantda bo'lishi mumkin. Chunki kreditorlar o'rtasida qarzlarni har xil yo'llar bilan taqsimlash mumkin. Bunga ikkita sodda misol keltiramiz.

Birinчисida yangi qarzlarni eskilari orqali quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$x'_{mm} = \frac{S_n |S_m| - S_m |S_n|}{S} \quad (8)$$

(8) munosabatga asosan qarzi S_n ($S_n < 0$) bo'lgan ixtiyoriy korxonaning qarzi kreditor korxonalar o'rtasida ularning saldolari ($S_m > 0$) ga proporsional ravishda taqsimlanadi. Musbat saldosini katta bo'lgan korxonalar zimmasiga har bir qarzdor korxonalar qarzlarning kattagina qismi yuklanadi. Bu qarzlarning umumiy miqdori S_m ga teng bo'ladi.

Agar $S_n < 0$, $S_m < 0$ yoki $S_n > 0$, $S_m > 0$ bo'lsa (8) formulaga asosan yangi qarzlarni $x'_{mm} = 0$ (ya'ni, korxonalar o'zaro qarzlardan qutilganlaridan so'ng qarzdorlar qarzdorlarga, kreditorlar kreditorlarga qarzi emas). Bu shuni anglatadiki, korxonalar o'zaro qarzlardan qutilganlaridan so'ng hosil bo'lgan moliyaviy aloqalar soni har bir korxonaga boshqa korxonaga uchun debitor yoki qarzdor bo'lgan, ya'ni qarzlarni matritsasi nol bo'lmagan (bosh diagonal elementlaridan boshqa) elementlardan iborat holdagi moliyaviy aloqalar sonidan ancha kam.

Korxonalarni ular saldolarining absolyut qiymatlari bo'yicha tartiblab, bir xil masshtabdagi qarzdorlar va kreditorlar o'rtasida qarzlarni to'lash maqsadida bevosita aloqalar o'rnatilsa, moliyaviy aloqalar sonini ancha kamaytirish mumkin.

Shuni ta'kidlash joizki, korxonalarni o'zaro qarzlardan qutilishining yuqorida keltirilgan va boshqa jarayonlari faqatgina 1) - 3) shartlar bajarilgandagina, ya'ni korxonalar o'rtasidagi ma'lum bir kelishuvlardagina ma'noga ega. Bu kelishuvga amal

qilr aslik sabablari turlicha bo'lishi mumkin. Masalan, qarzlarni qar daydir xalkaro yoki boshqa tashkilotlar sanksiyasigacha (ya'ni, ko xona hisob raqamini muzlatib qo'yguncha) qarzlarni to'lamaslik qarzdor korxonaga uchun moliyaviy tomondan al amiyatli bo'lishi mumkin.

9.5. Bozor iqtisodiyoti muvozanatining makromodeli

Bozor iqtisodiyoti jarayonida ixtiyoriy ishtirok etuvchi o'zining individual manfaatdorligi bo'yicha harakat qiladi (ya'ni foyda olish, mehnat sharoitini yaxshilash, iqtisodiy xavfni kamaytirish, vositalarni tejash va boshqalar). Har bir subyekt iqtisodiy nochor ahvolda, ya'ni ishlab chiqarishga, narxlarga, oylik maoshiga va boshqa makroko'rsatkichlarga bevosita ta'sir qila olmaydigan darajada bo'lsa, bunday tizimning eng sodda varianti – rakobatdan iqtisod qilishdir. Shu bilan birgalikda iqtisodiy tizimda mavjud oldi-sotdi munosabatlari ish beruvchilar va yollanma ishchilar, moliyachilar hamda sarmoya kirituvchilar va boshqalarning muvofiqlashgan harakati iqtisodiy agentlarning harakati natijasida bo'lishi mumkin. Agar bunday jamoaviy o'zaro xarakat natijasida tizimda mahsulot va xizmatlarni umumiy ishlab chiqarish ularga bo'lgan umumiy ehtiyojlarga muvofiqlashsa, u holda iqtisodiyotni bunday holati muvozanatli, bu holdagi turg'un narxlar *turg'un bozor narxlari* deyiladi. Talab va taklif o'rtasidagi balans aynan shu turg'un bozor narxlarida o'rinli bo'lib, xususan, talabni to'lash qodirligini (platejesposobnost sprosa) anglatadi.

Iqtisodiy fanlarni muhim masalalaridan biri – iqtisodiyotni muvozanat shartlarini, shu jumladan, turg'un bozor narxlarini aniqlashdan iborat. Iqtisodiy muvozanatning eng sodda matematik modellari quyidagi farazlarga asoslanib quriladi:

1) yirik ishlab chiqaruvchi korporatsiya (ya'ni, monopoliya) larni shuningdek, butun tizim uchun o'zlarini shartlarini himoya (diktovka) qiladigan ishchilar birlashmasining mavjud emasligi anglatuvchi (sovershennaya) bozor rakobati;

2) tizim ishlab chiqarish imkoniyatining o'zgarmasligi: asbob-uskunalar, ishlab chiqarish inshootlari va texnologiyalari vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi;

3) vaqt o'tishi bilan hamkorlar iqtisodiy manfaatdorligini o'zgarmasligi: tadbirkorlarni o'z foydalarini, ishchilar o'z oylik

maoshlarini oshirishga intilmasliklari hamda investorlarni qimmatli kog'ozlardan va boshqalardan tushayotgan fo'zlarni qanoatlantirishi.

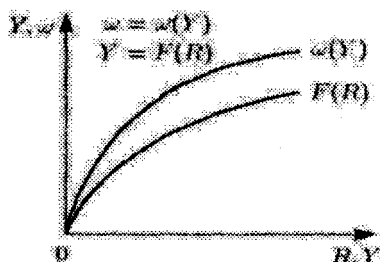
Yuqorida ko'rsatilgan farazlarga javob beruvchi modellar ideal bozor iqtisodiyotining vaqt bo'yicha «qotib qolgan» (sovub qolgan) hollarini ifodalaydi. Ammo, bu modellar bozor «xaos»idan shakllanuvchi iqtisodiy muvozanatni mavjudlik imkoniyati haqidagi savolga javob beradi va bundan tashqari iqtisodiy tizimning asosiy makroko'rsatkichlarini o'zaro bog'laydi.

Ushbu modellardan bittasi – Keyns modelidir. Ushbu modelda ishga yollovchilar va yollanuvchilar, iste'molchilar va jamg'aruvchilar, ishlab chiqaruvchilar va ishchi kuchi bozorida harakat qiluvchi investorlar, mahsulotlar va pul, ya'ni bu tovar (mehnat, mahsulot, pul) larni o'zaro taqsimlovchilar va almashuvchilar agentlar sifatida qaraladi.

Milliy daromad Y tizimning birinchi makroko'rsatkichi bo'lib, vaqt birligi ichida ishlab chiqariladigan yagona mahsulotdir. Ushbu mahsulot iqtisodiyotning ishlab chiqarish sektorida ishlab chiqariladi, uning miqdori F funksiya orqali ifodalanadi. F funksiya resurs (vosita) larni miqdori va sifatiga, asosiy fondlar tarkibiga va band bo'lgan ishchilar soni R (ikkinchi makroko'rsatkich) bilan bog'lik. Ikkinchi farazga asosan iqtisodiy muvozanat holatida ishlab chiqarish funksiyasi R va Y faqatgina bandlik orqali aniqlanadi, Ya'ni

$$Y = F(R). \quad (1)$$

$F'(R) > 0$, $R > 0$ nisbatan quyidagilar o'rinli deb hisoblaniladi: $F(0) = 0$, $F'(R) > 0$, $R > 0$ va $F''(R) < 0$, $R > 0$ da (5.4 – rasm).



9.4. – rasm.

Funksiyasi to'yinganlik xususiyatiga ega: R oshishi bilan tovar ishlab chiqarish sekinlashadi. Bunday yondashish amalda o'zini o'zlaydi: ishlab chiqarishda band bo'lganlar soni haddan tashqari oshib ketsa, ularga mos keluvchi ish frontini topish ancha mushkullashadi.

Shuningdek, ishchilar soni me'yoriga nisbatan ko'pchilikni tashkil etsa, ular bir-biriga xalaqit bera boshlaydi va individual foydali ish koeffitsiyenti tushib ketadi.

(1) munosabat mehnat bozori R va Y mahsulotlar o'rtasidagi o'zaro aloqani ifodalaydi. Qo'shimcha munosabatlar esa klassik siyosiy iqtisodning asosiy postulatlaridan bittasi orqali aniqlanadi:

4) ishchining s mehnat haqi ish o'rnini bitta birlikka kamaytirilganda yo'qotilgan mahsulotni narxiga teng.

Shuni ta'kidlash lozimki, 4-chi postulatda ish o'rnini bittaga kamaytirishdan hosil bo'ladigan zararlar (resurslarga, asbob-uskunalar va boshqalarga sarflanadigan xarajatlar) hisobga olinmagan. Shunday qilib, postulatdan quyidagiga ega bo'lish mumkin:

$$\Delta Y^{(1)} \cdot p = s,$$

bu yerda

$\Delta Y^{(1)}$ – ish o'rnini bitta birlikka kamaytirilganda yo'qotilgan mahsulotlar sonini,

p – yo'qotilgan mahsulot narxi.

Agar ish bilan bandlik ΔR miqdorga o'zgarsa, oxirgi tenglikdan quyidagini hosil qilish mumkin:

$$\Delta Y \cdot p = s \cdot \Delta R,$$

bu yerda $\Delta Y = \Delta Y^{(1)} \cdot \Delta R$ ishchilar soni ΔR miqdorga o'zgarganda yo'qotiladigan yoki qo'shimcha paydo bo'ladigan narx. ΔR va ΔY miqdorlarni R va Y miqdorlarga taqqoslaganda kichik deb hisoblab, oxirgi tenglikni differensial ko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{\partial Y}{\partial R} = \frac{s}{p}.$$

(1) tenglikni e'tiborga olsak, oxirgi tenglikdan quyidagini hosil qilish mumkin:

$$F'(R) = \frac{s}{p}. \quad (2)$$

$F(R)$ funksiya berilgan (bunga asosan $F'(R)$ ni ham aniqlash mumkin) ligini hisobga olsak, s va p makroko'rsatkichlarning ma'lum qiymatlarida (2) dan bandlik darajasi R ni va (1) dan mahsulotlar miqdori Y ni aniqlash mumkin. Bu yerda aniqlangan bandlik darajasi iqtisodiy tizimda mavjud narxlar va boshqa xarakteristikalariga mos keluvchi ushbu kundagi oylik maoshlariga rozi bo'lib, ishlayotgan ishlovchilar sonini ifodalashini ta'kidlash joiz. Bandlik darajasi muvozanatini ta'minlovchi, mavjud sharoitlarda ishlashni xohlovchilarni hamma vaqtlarda ham topish mumkin, Ya'ni quyidagicha faraz qilinadi:

(1) va (2) tenglamalarda to'rtta miqdorlar qatnashmoqda.

Modelda ishchining s mexnat haqi berilgan deb hisoblanadi. miqdor ish beruvchilar va yollanuvchilar o'rtasidagi kompromiss natijasida aniqlanadi (real ish haqi narxlar darajasiga ham bog'lik).

Yopiq matematik model qurish uchun mahsulot bozorlari va moliyaviy bozorlarni ham o'rganish lozim bo'ladi. Ishlab chiqarilgan mahsulotni bir qismi ehtiyojni qondirishga va ma'lum bir qismi jamg'arilib boriladi:

$$Y = S + \omega,$$

bu yerda:

ω – mahsulotning iste'mol qilinadigan (iqtisodiyotga qaytmaydigan) qismi,

S esa iqtisodiy tizimga qaytuvchi, jamg'arib boriladigan (yoki fondni tashkil qiluvchi mahsulotlar) qismini ifodalaydi.

S va ω miqdorlar o'rtasidagi munosabat quyidagi mulohazalardan aniqlanadi. ω miqdorga nisbatan quyidagilar faraz qilinadi:

ishlab chiqarilgan mahsulotning iste'mol qilinadigan qismi ishlab chiqarilgan mahsulot miqdori Y ning o'ziga bog'lik, Ya'ni $\omega = \omega(Y)$.

Bu yerda $\omega(Y)$ funksiyasi $F(R)$ funksiyasiga o'xshab to'yinganlik xususiyatiga ega: ishlab chiqarilgan mahsulot miqdori kancha katta bo'lsa, iste'mol qilishga sarflanadigan qo'shimcha

ishlab chiqariladigan mahsulot miqdori ΔY ning ulushi shuncha kichik bo'ladi (9.4– rasm) va katta qismi jamg'arilib boriladi. $d\omega/dY = c(Y)$ miqdor iste'mol qilishga moyillik deyiladi. $0 < c < 1$, aks holda kichik miqdorda ishlab chiqarilgan mahsulotlarda ishlab chiqarilgan miqdoriga nisbatan ko'prok iste'mol talab kilinar edi. $d = 1 - c$ miqdor jamg'arish (yig'ish) ga moyillikni anglatadi.

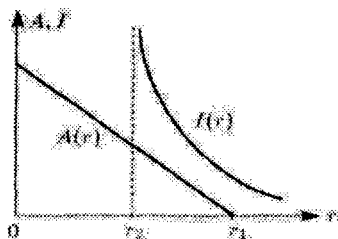
$$S = Y - \omega(Y) \quad (3)$$

fondni tashkil qiluvchi mahsulot kelgusida foyda olish maqsadida investitsiya sifatida investorlar tomonidan iqtisodiyotga kiritiladi. Matematik modelda kiritilayotgan investitsiya kelgusida iste'mol uchun tashlab ko'yilgan mahsulotga ekvivalent deb hisoblaniladi va shu sababli tizimning yana bitta moliyaviy makroko'rsatkichi – bank foizining normasi r bilan aniqlanadi. Hakikatdan ham A razmerda investiya kilib, bir yildan keyin $D = A \cdot r$ daromad olib, ushbu vositalarni bankka r foizga qo'yishga solishtiriladigan bo'lsa, investor hech narsa yutqazmaydi (bu misolda yutmaydi ham). Ikkala holda ham keyingi yilda katta miqdordagi iste'mollik imkoniyati sababli bugungi iste'mol keyinga qoldirilmokda. Investitsiyaga talab $A(r)$ funksiya bilan beriladi. Agar $0 < r < r_1$ bo'lsa $A'(r) < 0$ va $r \geq r_1$ bo'lsa $A'(r) = 0$ bo'ladi – investitsiyaning katta foizli normasida investitsiyaga talab bo'lmaydi

Muvozanat sharoitida fondni tashkil qiluvchi mahsulotga bo'lgan talab $S(Y)$ investitsiyaga bo'lgan talab $A(r)$ bilan balanslashadi:

$$S(Y) = A(r).$$

$$\text{Agar (3) ni e'tiborga olsak, } Y - \omega(Y) = A(r). \quad (4)$$



9.5-rasm

Modelni yopik ko‘rinishda ifodalash uchun moliyaviy lozor o‘rganiladi. Iqtisodiy agentlar uchun pul fondni tashkil qiluvchi mahsulotlar sotib olishga, iste‘mol uchun, shuningdek, jam‘arishning bir vositasi sifatida kerak. Faraz qilinadiki, pulni davlat chiqaradi va ularning miqdori (*taklif*) Z iqtisodiy tizimning berilgan boshqariluvchi parametri deyiladi. Pulga bo‘lgan talabga nisbatan quyidagicha faraz kilinadi:

pulga bo‘lgan talab operatsion va chayqovchilik talablari yig‘indisidan iborat.

Operatsion talab Y tovarni sotib olish uchun (ham fondni tashkil qiluvchi sifatida hamda iste‘mol uchun) qo‘lda bo‘lishi lozim bo‘lgan pul miqdori bilan aniqlanadi. Agar mahsulot narxi p ga teng, muomala vaqti τ ga teng bulsa, u holda operatsion talab τpY miqdorga teng.

10. EKOLOGIYA MASALALARINI MODELLASHTIRISH

10.1. Ekologik va biologik modellar

Biologik tizimlar va jarayonlarni modellashtirish uchun differensial tenglamalarning bir nechta tadbirlarini keltirib o'tamiz.

Ch. Darvin har bir bioturning geometrik progressiya bilan ko'payishiga e'tibor bergan edi. Ya'ni, har bir organizmlar jo'ftligi yetuklik davrigacha tirik qoladiganlariga qaraganda ancha ko'proq nasl qoldiradi. Har bir tur sonining ushbu potensial o'sish hodisasi ko'payish progressiyasi nomini oldi. Evolyutsiyaning o'zini esa haddan ortiq ko'payishga qo'yilgan chegara sifatida qabul qilish mumkin.

Ko'payish progressiyasi va unga qo'yilgan chegaralanishlarni chuqurroq anglashga imkon beruvchi ikki turdagi modellarni o'rganib chiqamiz. Bunday murakkab bo'lmagan matematik modellar evolyutsiya, ekologiya, genetika, biofizika, demografiya va tibbiyotda tadbir etiladi.

Oddiy hollarda ko'payish progressiyasini o'rganib chiqish uchun populyatsiyaning genetik strukturasi hisobga olmagan holda, butun e'tiborni populyatsiya soni N ning t vaqt bo'yicha o'zgarishiga qaratish lozim.

Ma'lum bir turdagi populyatsiyaning harakterlovchi asosiy ko'rsatkich- populyatsiyaning tabiiy o'sish tezligidir (r). Bu bitta urg'ochidan birlik vaqt ichida paydo bo'ladigan avlodlarning o'rtacha sonidir.

$r = b - d$, bu yerda b – bir urg'ochiga birlik vaqt ichida to'g'ri keladigan o'rtacha tug'ilishlar soni; d – bitta urg'ochiga nisbatan birlik vaqt ichiga to'g'ri keladigan o'rtacha o'limlar soni.

Misol. Populyatsiya 800 ta urg'ochidan iborat. Bir yilda o'rtacha 150 ta urg'ochi tug'ilib, 50 ta urg'ochi vafot etadi. Populyatsiyaning tabiiy ko'payish tezligi (r) ni aniqlang. Javob: $r = 150/800 - 50/800 = 0,125$ 1/yil.

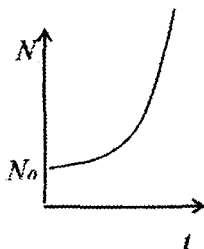
Populyatsiya sonining vaqt o'tishi bilan o'zgarishini $v = \frac{dN}{dt}$ tezlik orqali ifodalash mumkin. Tezlikning o'zi ham populyatsiya

soni singari vaqt o'tishi bilan o'zgarishi mumkin. Ta'ni populyatsiyaning ayni paytdagi soni qanchalik katta bo'lsa, populyatsiyaning o'sish tezligi ham shunchalik yuqori bo'ladi.

N ga hech qanday chegaralanishlar qo'yilmaganda, progressiv ko'payishni harakterlovchi asosiy tenglama:

$$v = \frac{dN}{dt} = (b-d)N = rN. \quad (1)$$

ko'rinishda bo'ladi. Bu tenglamaning yechimi: $N = N_0 e^{rt}$ bo'lib, bu yerda N_0 – populyatsiyaning boshlang'ich soni; e – natural logarifmning asosi. Yechimning grafik ko'rinishi 10.1.-rasmda keltirilgan. Bu modelda populyatsiya sonining diskret harakteri e'tiborga olinmasa ham bo'ladigan yetarli darajada katta joriy N_0 qiymatga nisbatan o'rirlidir.



10.1- rasm

Masala. Birinchi populyatsiyaga nisbatan r – tabiiy o'sish tezligi 0,11/yil, ikkinchi populyatsiyaga nisbatan esa 0,05 1/yilga teng. Ikkinchi populyatsiyaning boshlang'ich soni birinchining boshlang'ich soniga nisbatan 2,72 marta ko'p. Qanday vaqt oralig'idan so'ng ikkala populyatsiyaning soni tenglashib qolishini aniqlang.

Yechish sxemasi. $r_1 = 0,1$ 1/yil; $r_2 = 0,05$ 1/yil; $N_{02} = 2,72 \cdot N_{01}$

$$\frac{N_{t1}}{N_{t2}} = 1; \quad (2)$$

$$\frac{N_{02} e^{r_2 t}}{N_{01} e^{r_1 t}} = 1 \quad (3)$$

Javob: $t = 20$ yil.

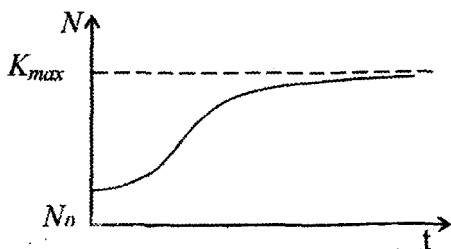
Populyatsiya soniga hech qanday chegaralanishlar qo'yilmagan deb faraz qilgan holda, har xil turlarga nisbatan N baholashlarga bir qator misollar keltirish mumkin.

Turlarning progressiv ko'payishga bo'lgan bunday potensial layoqatlari "hayot bosimini" va buning natijasida raqobatni, urg'ochilar, populyatsiyalar va turlar o'rtasida yashash uchun kurashni keltirib chiqaradi.

Tabiiy abiotik va biotik omillar natijasida populyatsiya sonining o'sish tezligiga nisbatan chegaralanishlar paydo bo'ladi. Modellashtirish uchun eng sodda variant – bu populyatsiyaning yashash areali chegaralanganligi tufayli ma'lum bir mumkin bo'lgan maksimal bosqich K_{max} da N ni muvozanatlashtirishdir.

Modelda mazkur farazni ko'payish progressiyasiga taalluqli asosiy tenglamaning chap qismiga $(1-N/K_{max})$ ko'paytuvchini qo'shish orqali akslantirish mumkin:

$$\frac{dN}{dt} = rN\left(1 - \frac{N}{K_{max}}\right) \quad (4)$$



10.2- rasm

K_{max} nisbatan kichik populyatsiya soni N da qo'shimcha ko'paytuvchi 1 ga yaqin bo'lib, N ning t ga bog'liqligiga deyarli ta'sir ko'rsatmaydi. Populyatsiya soni o'sib borishi va N ning K_{max} ga tobora yaqinlashib borishi bilanoq, tenglamaning o'ng qismi 0 ga yaqinlashadi (10.2-rasm). Demak, populyatsiyaning o'sish tezligi ham nolga yaqinlashadi: o'sish egri chizig'i $N_t = K_{max}$ platoga chiqadi.

Chayqovchilik talabi foiz normasi miqdori r bilan bog'lik. Agar foiz normalari yuqori bo'lsa, katta pulga ega bo'lgan puldorlar yaxshi daromaddan umid qilib, pullarining anchagina qismini bankda saqlaydilar. Bunda ular bankga nisbatan

banknotlarni yuqori darajada likvidatsiya qilish (bu pullarni mahsulotlarga almashtirish) imkoniyatini qurbon qiladilar. Kichkina foiz stavkasida chayqovchilik talabi oshadi: puldorlar o'z qo'llariga ko'prok miqdordagi pullarni ushlab turishni xohlaydilar. Shuning uchun chayqovchilik talabi $I(r)$ funksiya orqali beriladi. $r > r_2$ bo'lganda $I'(r) < 0$ bo'ladi, $r \rightarrow r_2$ da $I(r)$ funksiya juda tez o'sadi ($r \rightarrow r_2$ da $\lim I(r) = \infty$; pul egalari bank majburiyatlariga ega bo'la olmaydilar). $r_2 < r_1$ deb hisoblash tabiiy, aks holda yoki investitsiya nolga teng va iqtisodiy muvozanat haqida gapirishga hojat qolmaydi yoxud $I(r)$ funksiya aniqlanmagan va uni o'rganish ma'no kasb etmaydi.

Moliyaviy bozor muvozanat holatida bo'lganida pullarni balansi («saqlanish qonuni») iqtisodiy tizimda quyidagi tenglama bilan ifodalanadi

$$Z = \tau pY + I(r). \quad (5)$$

(1)-(5) tenglamalarni birlashtirib, yuqoridagi farazlar asosida hosil qilingan bozor muvozanatining matematik modeliga ega bo'lish mumkin:

$$Y = F(R), F'(R) = \frac{s}{p}, Y - \omega(Y) = A(r) Z = \tau pY + I(r) \quad (6)$$

(6) matematik modelda sistemaning parametri s (oylik maosh stavkasi) va τ texnik parametrlar beriladi. F, F', ω, A, I funksiyalar har biri o'z argumentlarining ma'lum funksiyalari bo'lib, ular yuqorida bayon etilgan xossalarga ega. Ushbu berilganlarga asosan modeldan to'rtta noma'lum miqdorlar: Y (ishlab chiqarilgan mahsulot miqdori), R (bandlik), p (mahsulot narxi) va r (daromad normasi) aniqlanadi.

(6) dan p, r, Y miqdorlarni yo'qotib, (6) tenglamani R ga nisbatan quyida keltirilgan bitta tenglama ko'rinishida ifodalash mumkin:

$$-\frac{\tau s F(R)}{F'(R)} + Z = I\left(A^{-1}\left[F(R) - \omega(F(R))\right]\right), \quad (7)$$

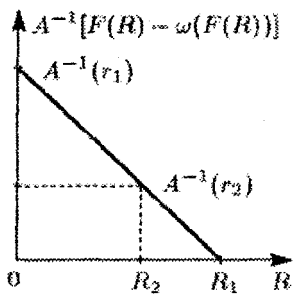
bu yerda A^{-1} funksiya A funksiyaga teskari funksiyadir. (7) dan R ni qiymatini aniqlab, (6) tenglamalardan boshqa noma'lum miqdorlarni ham aniqlash mumkin.

(7) tenglamani chap va o'ng tomonlariga kiruvchi funksiyalarni grafiklari tahliliga asoslanib, bu tenglama yagona yechimga ega ekanligini ko'rsatamiz.

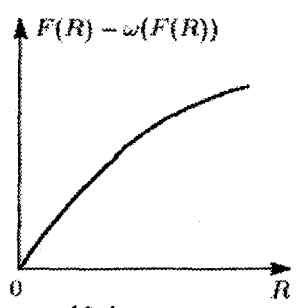
$F(R) - \omega(F(R))$ funksiya $R=0$ da nolga teng bo'lib, R ning monoton o'suvchi funksiyasidir (10.3.-rasm).

Uning monotonligi $d\omega(F(R))/d(F(R)) = c < 1$ shartdan, bu funksiya R ni o'sishi bilan o'suvchi ekanligi $dF(R)/dR > 0$ shartdan esa kelib chiqadi

Shuningdek, bu funksiya A^{-1} monoton funksiyaning argumentidir. A funksiyaning xossasidan (10.4-rasm) A^{-1} funksiyaning R argumentga sifat jihatdan qaysi ko'rinishda bog'likligini ko'rish mumkin.

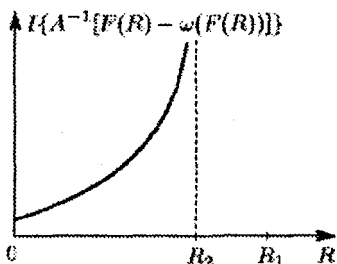


10.3. - rasm

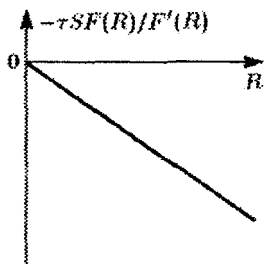


10.4. - rasm.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, $R > R_1$ ($R_1 - R$ ning qandaydir qiymati bo'lib, $0 < R_1 < \infty$) shart bajarilsa, $A^{-1} \equiv 0$. O'z navbatida A^{-1} funksiya tenglamada I funksiyaning argumenti sifatida ishtirok etayapti. I funksiyaning xossasi 10.3-rasmda keltirilgan. 10.4-rasmda bu funksiyaning grafigi keltirilgan bo'lib, u $R > R_2$ da aniqlanmagan.



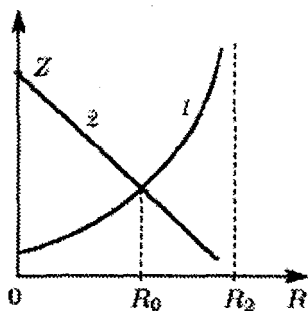
10.5.-rasm



10.6.-rasm

Yendi (3.7) tenglamaning chap tomonini ko'rib chiqamiz. $-\tau sF(R)/F'(R)$ funksiya $R=0$ da nolga teng ($F'(R) \neq 0$ deb faraz qilinadi) (10.4-rasmga karalsin). uning R bo'yicha birinchi tartibli hosilasi funksiyaning $F'(R) > 0$, $F''(R) < 0$ xossalriga asosan manfiy, ya'ni bu funksiya monoton kamayuvchidir (10.6.-rasm).

(7) chi tenglama uchun va chap kislari grafigini (ularning grafigi mos holda 1 va 2 egri chiziqlar) birlashtirib (10.7-rasm), shunga ishonch hosil qilish mumkinki, boshqaruvchi parametr Z ning yetarlicha katta qiymatlarida bu egri chiziqlar qandaydir R_0 ($0 < R_0 < \infty$) nuqtada kesishadi.



10.7- rasm

Grafiklarning monotonligiga asosan kesishish nuqtasi yagonadir. Xususan, (6) matematik model haqiqatdan ham iqtisodiyotning muvozanat holatini ifodalovchi yagona yechimga ega. (6) matematik model muvozanat holatiga yaqin bo'lgan turli

holatlarni qiyosiy tahlili uchun ham ishlatilishi mumkin (qanday kilib sistema muvozanat holatiga keladi yoki muvozanat holatidan chiqadi degan savollarga javob bermasdan).

10.2. O‘zaro ta’sirlashuvchi populyatsiyalar sonini o‘shishi

Oldingi xususiy misol - populyatsiya soni o‘shishining abiotik omillar bilan chegaralanishidir. Evolyutsiya va ekologiya uchun yanada qiziq va muhim vaziyatlar har xil turdagi populyatsiyalarning o‘zaro ta’sirlashuvi yoki tashqi sharoitlarning o‘zgarishi davomida paydo bo‘ladi. Bu kabi vaziyatlarda N populyatsiya soni bo‘yicha populyatsiyaviy to‘lqinlar yoki hayot to‘lqinlari (S.S.Chetverikov bo‘yicha) paydo bo‘ladi.

Populyatsiyaviy to‘lqinlarning klassifikatsiyasi:

1. populyatsiya sonining davriy tebranishlari (masalan, mavsumiy);

2. yirtqich va o‘lja populyatsiyalarining o‘zaro ta’sirlashuvi hisobiga populyatsiya sonining davriy bo‘lmagan yoki davriy tebranishlari;

3. populyatsiya sonining ortib ketishi (populyatsiya qulay sharoitlarga tushib qolganida);

4. populyatsiya sonining jadal sur‘atlar bilan qisqarishi (epifitotiyalar, talofatlar).

Har xil turdagi ikkita populyatsiya bir necha xil turda o‘zaro munosabatda bo‘lishi mumkin: $(-, -)$ – raqobat, bunda ikkala populyatsiyaning yashash sharoitlari salbiy tomonga o‘zgaradi; $(+, +)$ – simbioz; $(+, -)$ – yirtqich-o‘lja va h.k.

Yirtqich-o‘lja” turidagi o‘zaro munosabatni o‘rganib chiqamiz. Yirtqich va o‘ljani o‘lja uchun yetarli darajadagi ozuqa solingan chekli hajmdagi muhitga joylashtirilsa, u holda ularning soni qanday qilib o‘zgarishini kuzatamiz. x -o‘ljalar soni; u – yirtqichlar soni bo‘lsin. U holda modellashtirish uchun Lotka-Volterr tenglamalaridan foydalanish mumkin:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = rx\left(1 - \frac{x}{K_{\max}}\right) - cxy \\ \frac{dy}{dt} = gxy - fy \end{cases}$$

bu yerda

xu – o'lja va yirtqichning chekli arealda uchrashish chastotasini xarakterlaydi;

r – o'lja populyatsiyasining tabiiy o'sish tezligi (yirtqichlarning ta'sirini hisobga olmagan holda);

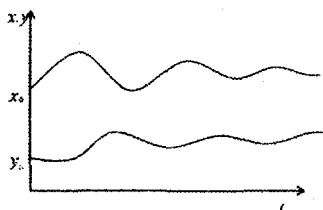
K_{\max} – chekli arealda o'ljalarning sonining ko'payish chegarasi (odatda yirtqichlar soni o'ljalarning soniga nisbatan ancha kam bo'ladi); s – ovning muvaffaqiyatlik koeffitsiyenti;

g – yirtqichlarga nisbatan tug'ilish koeffitsiyenti (ularning ko'payish tezligi nafaqat x ga, balki y ga ham bog'liq, aniqroq qilib aytganda u xy ga proporsional bo'ladi); f – yirtqichlarning tabiiy o'lish koeffitsiyenti.

Bu tenglamalarning yechimlari – yirtqich va o'ljalarning sonining to'liqinli tebranishlaridir. Ularning shakli va davriyligi (x_0, u_0) boshlang'ich shartlarga hamda s, f, r, g va K_{\max} o'zgarishlariga bog'liq bo'ladi.

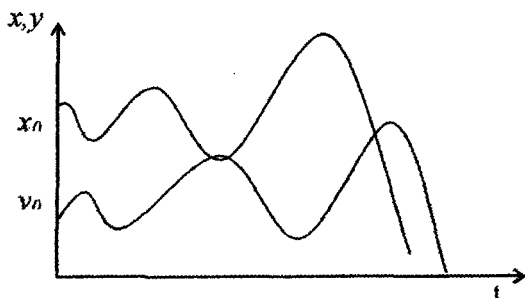
Bir nechta variantlar mavjud:

Muvozanatli bosqichga chiqish (10.8-rasm). Bunday vaziyat yirtqichlarga $N_y = const$ bo'lishi uchun $N_x = const$ dan ko'proq tug'iladigan o'ljalarning kerak bo'lishini xarakterlaydi.

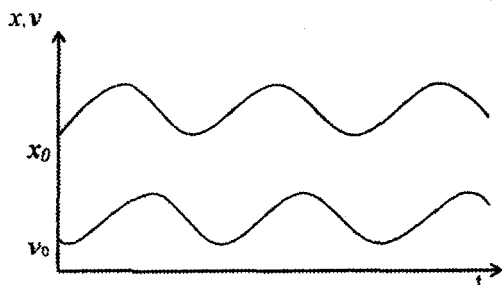


10.8.-rasm.

O'ljalarning jadal sur'atlar bilan yeyilishi, so'ngra yirtqichning ochlikdan o'lishi. To'liqlar amplitudalar bo'yicha, x_0 ga aylanganigacha qadar "yoyilib boradi" (10.9-rasm).



10.9.-rasm.

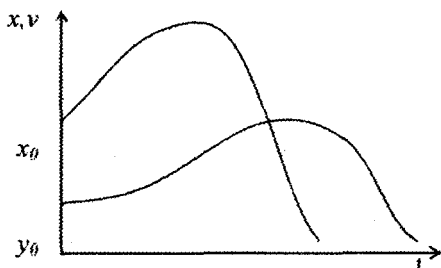


10.10.-rasm. O'zgarmas amplitudali muvozanatli to'liqlar

Bu matematik model tajribalar asosida tasdiqlangan bo'lib (Smit, 1976), u tabiatdagi sodda ekologik va evolyutsion vaziyatlarni o'rganishga fizik model bo'lib xizmat qildi. Kipriksimonlarning ikkita turi (yirtqich va o'lja populyatsiyasi) o'ljalar uchun yetarli darajadagi ozuqa solingan chekli hajmdagi suyuqlikka (kolbaga) joylashtirildi. Har xil vaziyatlar kuzatilishi mumkin edi:

1. Agarda kolbada yirtqichlar bo'lmasa, u holda o'ljalar sonining o'sishi suyuqlik hajmi bilan belgilanadigan K_{max} gacha sodir bo'lar edi.

2. Kolbaga yirtqich populyatsiyasi qo'shilganda, ular o'ljalarni faol ravishda yeb, shu bilan o'zlarining sonini ko'paytirar edilar. Bunda o'ljalarning soni ularning butunlay yo'qolib ketguniga qadar tobora kamayib borar, oxir oqibat yirtqich populyatsiyasi ochlikdan o'lar edi (10.11-rasm).



10.11- rasm.

3. Yirtqichlar uchun ov muvaffaqiyatining koeffitsiyenti (s), demak, yirtqichga nisbatan tug'ilishlar koeffitsiyenti (g) ni pasaytirish uchun mazkur tajribada suyuqlikka sellyuloza qo'shildi, sellyuloza eritmaning qovushqoqligini oshirar edi. Mazkur holatda barcha o'ljalar yeb bo'linguniga ($x=0$) qadar o'sib boruvchi amplitudali to'lqinlar paydo bo'lib, bunday vaziyatda yirtqichlar qirilib, nobud bo'lishni boshlar edi (10.11-rasm).

4. O'lja populyatsiyasining tabiiy o'sish tezligi (r) ni qisqartirish maqsadida o'lja ozuqasi 2 baravarga qisqartirildi. Bu holatda o'lja sonlarining ortish amplitudasi ancha kamaydi va natijada yirtqichlar sonining jadal sur'atlar bilan o'sishi va oqibatda o'lja sonlarining tezda kamayib ketishi kuzatilmadi. x va y lar bo'yicha barqaror to'lqinlar paydo bo'ldi (10.10-rasm).

11. JISM DEFORMATSIYALANISHI DASTURIY TA'MINOTI

Tolalik kompozit materiallarning chiziqli deformatsiyalanish masalalarini chekli elementlar usulida kompyuter vositasida modellashtirish texnologiyasi ishlab chiqish loyihalovchiga konstruksiyalar uchun kerak bo'lgan mexanik va geometrik parametrlarini aniqlash imkoniyatini beradi. Bu esa yangi xususiyatlarga ega kompozit materiallarni yaratish imkonini beradi. Masalani yechishda chekli elementlar usulini qo'llash, konstruksiya mustahkamligiga ta'sir qiluvchi materiallarning ba'zi xususiyatlarini, jumladan, materialning tuzilishi, undagi tola va asosning hajmiy nisbatlari, hamda tashqi kuchlarga konstruksiya geometriyasining ta'sirini tadqiq qilishga bag'ishlangan ilmiy izlanishlar va tajribaviy hisoblashlarning samarali usullarini rivojlantirish uchun shart-sharoitlar yaratadi.

Murakkab masalani yechishda dekompozitsiya usulidan foydalaniladi, ya'ni masala tuzilmasidan foydalanib, murakkab masalani yechimini, o'zaro bog'liq bo'lsada, lekin nisbatan soddaroq bir qator masalalar yechishi bilan almashtirish imkonini beradi. Shu sababli masala uchta bir biriga bog'liq masalalarga ajratamiladi:

- 1) murakkab soxani chekli-elementli modelini tuzish;
- 2) elastik jismning kuchlanganlik xolatini aniqlash;
- 3) natijalarni vizuallashtirish.

Shuni ta'kidlash kerak-ki ajratilgan masalalar ham o'ziga hos murakkablikka ega, shuning uchun ularni yechishda ham dekompozitsiya usulidan foydalaniladi.

11.1. Murakkab soxani chekli elementli modellashtirish

Muayan soxani chekli elementlarga ajratish jarayoni diskretlash deb ataladi. Jismning diskret (chekli-elementli) modeli deganda quydagi to'plam faraz qilinadi:

$$\Omega = \{N, M, MK, MN\},$$

bunda

N – diskret modeldagi tugun nuqtalar soni;

M – chekli elementlar soni;

MK – tugun nuqtalari koordinatalaridan tashkil qilingan massiv;

MN – chekli elementlarni tashkil qiladigan tugun nuqtalar nomerlaridan tuzilgan massiv.

Diskret modeldagi tugun nuqtalar koordinatalaridan iborat bo‘lgan massivning o‘lchami $MK[1..N, 1..v]$, bunda v – soxaning o‘lchami. Diskret modeldagi chekli elementlarni tashkil qiladigan tugun nuqtalar nomerlaridan tuzilgan massiv o‘lchami $MN[1..M, 1..t]$, bunda t – chekli elementdagi tugun nuqtalar soni.

Agar soxa murakkab bo‘lsa, u holda quyidagi amallar bajariladi. Avvalo murakkab soxa bir necha elementar soxa ostiga ajratiladi. Elementar soxa deganda diskretlash jarayonini avtomatlashtirish imkoni mavjud bo‘lgan soxaga aytiladi.

U holda quyidagi munosabat o‘rinli

$$\Omega = \bigcup_{e=1}^r \Omega^e,$$

bunda

r – elementar soxalar soni;

e – soxaning tartib nomeri;

Ω^e – e – chi soxaning diskret modeli bo‘lib quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\Omega^e = \{N_e, M_e, MK_e, MN_e\},$$

bunda

N_e – e – chi elementar soxadagi tugun nuqtalar soni;

M_e – chekli elementlar soni;

MK_e – tugun nuqtalari koordinatalaridan tashkil qilingan massiv;

MN_e – chekli elementlarni tashkil qiladigan tugun nuqtalar nomerlaridan tuzilgan massiv.

Yagona, ya’ni boshlang‘ich qaralayotgan soxaning diskret modelini qurish jarayoni quydagicha. Avvalo ikki elementar soxani ulanish sharti keltiriladi. Agar ikki soxa bir – biri bilan

umimiy yuzaga ega bo'lsa, shu bilan birga yuzalar tomonlari bilan umumiy bo'lsa va tomonlaridagi tugun nuqtalar ustma-ust tushsa, u holda ko'rilayotgan ikki soxani bir biriga ulash mumkin.

Faraz qilaylik ko'rilayotgan elementar soxalar bu shartni kanoatlantiradi. Unda quyidagi algoritm bo'yicha bu soxalar birlashtiriladi:

a) boshlang'ich ma'lumot sifatida birinchi - Ω_1 diskret model elementlari olinadi;

b) navbatdagi Ω_2 diskret modeldagi MK_2 - tugun nuqtalar koordinatalaridan iborat bo'lgan massiv elementlari MK_1 massiv koordinatalari bilan quyidagi shart bo'yicha solishtiriladi: $|X_i^1 - X_j^2| \leq \varepsilon$ & $|Y_i^1 - Y_j^2| \leq \varepsilon$ & $|Z_i^1 - Z_j^2| \leq \varepsilon$. Agar bu shart bajarilsa, u holda ikki solishtirilgan nuqta ustma-ust tushadi deyiladi va bunday nuqtalarning sonini k deb aniqlaylik. Umumiy MK -massiv elementlariga ikkinchi soxadagi ustma-ust tushmagan tugun nuqtalarga yagona tartib bo'yicha dastlabki nomer beriladi (ε - yetarlicha kichik musbat son);

c) mos ravishda MN_2 -dagi tugun nuqtalar nomerlari o'zgartiriladi va umumiy MN chekli elementlar bo'yicha hosil bo'ladigan massivga qo'shiladi;

d) $N = N_1 + N_2 - K$; $M = M_1 + M_2$;

e) dastlabki soxa sifatida boshlang'ich ikki soxa yig'indisidan iborat bo'lgan diskret model olinib, jarayon boshidan davom etib, oxirgi elementar soxa birlashguncha davom etadi.

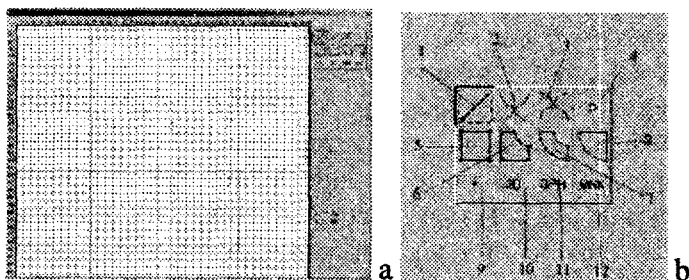
Shu algoritm asosida dastlabki berilgan uch o'lchovli murakkab soxaning diskret modeli yaratiladi.

Jismning diskret modelini yaratish, ya'ni uni chekli elementlarga ajratish qo'yilgan masalani yechishning birinchi qadami hisoblanadi va nazariy asosga ega emas. Shuning uchun iloji boricha ko'rilayotgan jismni har tomonlama o'rganib uni chekli elementlar yordamida ifodalash kerak. Har bir xususiy holda bu jarayonga individual yondashish kerak va chekli elementlar yordamida keraklicha maydalagan holda jismni to'ldirish kerak. Jismni chekli elementlarga ajratish uchun bosqichdan iborat:

birinchi bosqichda turli konfiguratsiyaga ega elementar sohalarni diskretlash modellari tuziladi, ikkinchi bosqichda shu elementar sohalarni yordamida boshlang'ich soha hosil qilinadi (bir biriga yondashgan sohalarni o'zaro ulanadi) va yakuniy bosqichda tadqiq kilinayotgan jismning diskret modelidagi tugun nuqtalar nomerlari tayinlanadi. Uch o'lchovli murakkab sohada ham diskretlash jarayonini avtomatlashtirish mumkin.

Chekli elementlar usulining chiziqli algebrayik tenglamasi sistemasi koeffitsiyentlarining ko'p qismi nollardan iborat bo'ladi va jismni hosil qiluvchi chekli elementlar va tugun nuqtalarni nomerlash jarayoniga katta ahamiyat berish kerak. Chunki bu jarayon tenglamalar sistemasini yechish vaqtini oshirib yuboradi. Shuning uchun tugun nuqtalar va chekli elementlarni shunday samarali nomerlash kerak-ki, pirovard natijada tenglamalar sistemasining tuzulishi lentalik ko'rinishiga ega bo'lishi kerak. Va nolga teng bo'lmagan koeffitsiyentlar lentasining uzunligi iloji boricha kichik bo'lishi kerak. Buning uchun jismning diskret modelini tuzish uchun "frontal" usulini qo'llaniladi. Bu usulni qo'llash natijasida boshlang'ich holdagi diskret modelidagi tugun nuqtalar va chekli elementlar qaytatdan nomerlanadi. Shuning natijasida jismning samarali diskret modeli tuziladi. Odatda, uch o'lchovli jismlarni diskretlash uchun tetraedrlar va to'rtburchakli prizmalar foydalaniladi. Lekin qulaylirog'i albatta to'rtburchakli prizmalardir, chunki ulardan diskret model hosil qilish ancha yengilroq va jarayonni vizuallashtirish ravon tasavvur qilinadi.

Sichqoncha ko'rsatkichi yordamida monitor ekranida konstruksiyaning proyeksiyasi chiziladi. Konstruksiyaning uch o'lchovli ko'rinishi proyeksiya yuzaga nisbatan "bosim o'tkazish" amali orqali bajariladi. Foydalanuvchi ishlashi uchun ekranda ishchi maydon tashkil qilinadi (11.1.a -rasm). Ishchi maydonning koordinata boshi sifatida yuqori chap qismidagi nuqta ishlatiladi. Yuqori o'ng burchagida uskunalar paneli tasvirlangan (11.1.b-rasm), o'ng pastki qismida - sichqoncha ko'rsatkichining ayni koordinatalari aks ettirilgan.



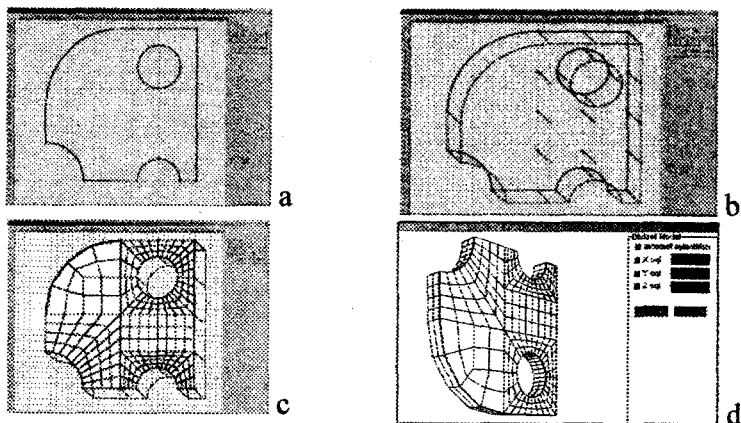
11.1.-rasm. Monitordagi ishchi soha va uskunalar

Konstruksiyaning chekli-elementli tasvirini generatsiya qilish uchun ishlatiladigan asosiy uskunalardan quyidagicha foydalaniladi:

1-4 – chegaraviy chiziqlar va suyanch cho‘qqilarni tayinlash (11.2.a-rasm);

5-8 –elementar sohalarning chekli-elementli tasvirini yaratish;

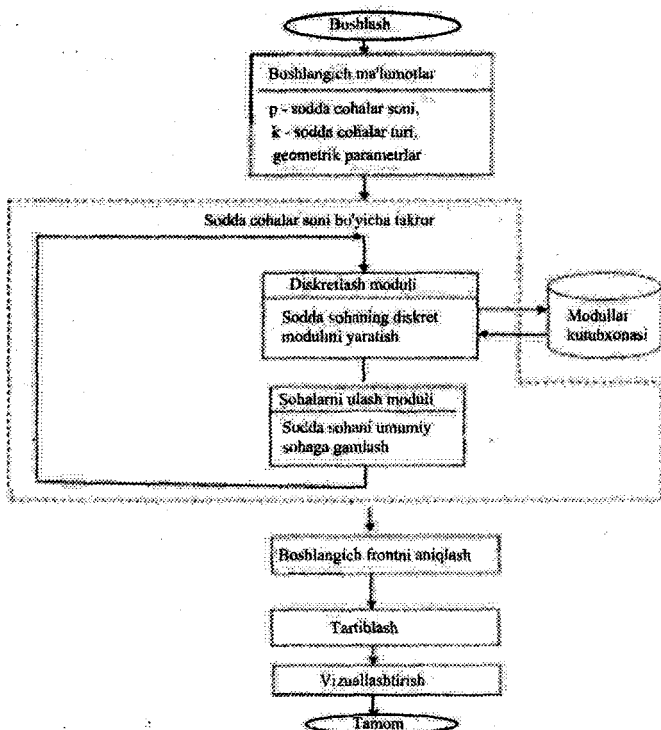
9 (+) – elementar sohalarni ketma-ket ulash uskunasi.



11.2.-rasm. Chekli-elementli to‘rni hosil qilish qadamlari

Konstruksiyaning uch o‘lchovli chekli-elementli to‘rini tashkil qilish uchun 10 (3D) uskuna ishlatiladi. Bunda sichqoncha ko‘rsatkichi bilan biror cho‘qqi nuqta tayin qilib, kerak bo‘lgan masofaga tortiladi. Shu bilan boshlang‘ich sirdan kerak bo‘lgan masofada uning parallel “izi” paydo bo‘ladi va konstruksiyaning

uch o'lovlik tasviri hosil qilinadi (11.2.b,c-rasm). Konstruksiyani vizual tasvirini yaratish uchun 11(GPH) -uskuna ishlatiladi. Unda yangi oyna ochiladi, uning chap qismida konstruksiya chekli-elementli tasvirining umumiy ko'rinishi, o'ng tomonida esa chekli elementli to'rni har tomonlama ko'rib chiqish uchun uskuna paydo bo'ladi (11.2.d-rasm). 12(MNK)—uskuna konstruksiyaning chekli-elementli to'riga tegishli sonli ma'lumotni olish uchun ishlatiladi. Yaratilgan dasturiy majmuida konstruksiyaning chekli elementli ko'rinishidagi tugun nuqtalar va chekli elementlar nomerlarini tartiblash bajariladi. Buning uchun frontal usulidan foydalaniladi. Bu usul uchun boshlang'ich frontni avtomatik ravishda aniqlash uchun maxsus dastur yaratilgan. Shu bilan birga konstruksiyaning vizual ko'rinishini kompyuter monitorida taxlil qilish imkoniyati paydo bo'ladi.



11.3. – rasm Dasturiy ta'minoti tuzilmasi

Dasturlar moduli APKEM da murakkab prizmatik ko'rinishdagi uch o'lchovlik konstruksiyaning chekli-elementli tasvirini yaratish jarayoni avtomatlashtirilgan va uning dasturiy ta' ninoti tuzilmasi 11.3.-rasmda keltirilgan.

11.2. Elastik jismning kuchlanganlik xolatini sonli modellashtirish

Dekart koordinatalar tizimida uch o'lchovli izotrop elastik jism tashqi kuchlar ta'sirida turg'un xolatda bo'lsin. Muvozanat tenglamlarini va yuzada berilgan chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi siljishlarni aniqlash kerak bo'lsin. Bu masalani yechish uchun unga teng kuchli bo'lgan variatsion masalaning qo'yilishini ko'ramiz. U jismning to'liq potensial energiyasini minimizatsiyalash (Lagranj prinsipi)ga asoslanadi va masalani yechish uchun taqribiy usullarni qo'llash imkonini beradi. Ulardan biri bo'lib chekli elementlar usuli hisoblanadi.

Masalaning variatsion ko'rinishi quyidagicha tasvirlanishi mumkin

$$\int_V \delta \{ \sigma^T \} \{ \varepsilon \} dV - \int_S \delta \{ U \}^T \{ P \} dS = 0$$

bu yerda:

V – jismning hajmi;

S – jismning yuzasi;

$\{ U \} = \{ u, v, w \}$ - siljish vektorining komponentlari;

$\{ \varepsilon \} = \{ \varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx} \}$ – deformatsiya vektorining komponentalari;

$\{ \sigma \} = \{ \sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx} \}$ – ko'chish vektorining komponentlari.

Guk qonuniga asosan kuchlanish va deformatsiya vektorlar komponentalari quyidagi munosabat bilan bog'langan:

$$\{ \sigma \} = [D] \{ \varepsilon \} ,$$

bu yerda $[D]$ - jismning elastiklik matritsasi.

Izotrop jismning qattqlik matritsasi atigi ikkita bog'lanmagan parametrga ega va uning ko'rinishi quyidagicha:

$$D^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & -\frac{\mu}{E} & -\frac{\mu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu}{E} & \frac{1}{E} & -\frac{\mu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu}{E} & -\frac{\mu}{E} & \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} \end{bmatrix}$$

Bunda:

μ – Puasson koeffitsiyenti;

E – elastiklik moduli; $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ – siljish moduli.

Yuqoridagi barcha xollarda $[D]^{-1}$ – matritsaning determinanti nolga teng bo‘lmaganligi uchun uning $[D]$ – matritsasi albatta mavjud va quyidagi ko‘rinishlarga ega:

$$\begin{bmatrix} \frac{E(\mu-1)}{2\mu^2 + \mu - 1} & -\frac{E\mu}{2\mu^2 + \mu - 1} & -\frac{E\mu}{2\mu^2 + \mu - 1} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{E\mu}{2\mu^2 + \mu - 1} & \frac{E(\mu-1)}{2\mu^2 + \mu - 1} & -\frac{E\mu}{2\mu^2 + \mu - 1} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{E\mu}{2\mu^2 + \mu - 1} & -\frac{E\mu}{2\mu^2 + \mu - 1} & \frac{E(\mu-1)}{2\mu^2 + \mu - 1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G \end{bmatrix}$$

Deformatsiya vektori $\{\varepsilon\}$ o‘z navbatida siljish vektori bilan quyidagi munosabat bilan bog‘langan:

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{U\} \quad (1)$$

Bu yerda $[B]$ - gradiyentlar matritsasi bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega:

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Qo'yilgan masala chekli elementlar usuli bilan yechiladi. Bu usulda jism egallab to'rgan soha kichik hajmga ega bo'lgan chekli elementlarga bo'laklanadi. u, v, w - siljishlarning approksimatsiya funksiyalari har bir chekli elementlar uchun keltiriladi. Asosiy no'malumlar sifatida tugun nuqtalar siljishi olinadi, chunki kichik soha ichidagi siljishlarning approksimatsiyasi uchun sodda funksiyalarni ishlatish imkoni bor.

Ko'rilayotgan jismning xususiyatlarini o'rganish chekli o'lchovlarga ega bo'lgan elementlarning xususiyatlarini o'rganishdan boshlanadi.

e -chi chekli elementning siljish vektori komponentalari quyidagi ko'rinishda tasvirlanadi:

$$\{U\} = \begin{Bmatrix} U \\ V \\ W \end{Bmatrix} = [I N_1, I N_2, \dots, I N_n] \{g\}^e \quad (3)$$

bu yerda:

N_i - chekli elementning forma (ko'rinish) funksiyasi;

n - chekli elementdagi tugun nuqtalar soni;

I - o'lchami 3×3 bo'lgan birlik matritsa;

$\{g\}^e = \{u_1, v_1, w_1, u_2, v_2, w_2, \dots, u_n, v_n, w_n\}$ - chekli element tugun nuqtalarining siljish vektori.

Har bir chekli element uchun deformatsiya vektori (1) va kuchlanish vektori o'zaro quyidagicha bog'lanadi:

$$\{\varepsilon\}^e = [B] \{g\}^e \quad (4)$$

va

$$\{\sigma\}^e = [D] \{\varepsilon\}^e \quad (5)$$

bu yerda $[B]$ - gradiyentlar matritsasi bo'lib, u quyidagi ko'rinishga ega:

$$[B] = [B_1, B_2, \dots, B_n] \quad \text{va}$$

$$B_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Xar bir chekli element uchun Lagranj variatsiya tenglamasini quyidagi ko'rinishda tasvirlash mumkin:

$$\left(\int_{V^e} [B]^T [D] [B] dV \right) \{g\}^e - \int_{S^e} [N]^T \{P\} dS = 0 \quad (7).$$

Qo'ldagi ifodalashlarni kiritamiz:

$$[K]^e = \int_{V^e} [B]^T [D] [B] dV \quad (8)$$

va

$$\{F\}^e = \int_{S^e} [N]^T \{P\} dS \quad (9)$$

U holda yuqoridagi (7) tenglamaning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$[K]^e \{g\} - \{F\}^e = 0 \quad (10)$$

bu yerda

$[K]^e$ – e-chi chekli elementning qattqlik matritsasi;

$\{F\}^e$ – tugun nuqtalarga keltirilgan kuchlar vektori.

Hal qiluvchi chiziqli algebrayik tenglamalar sistemasini qurish jarayonini ko'rib chiqiladi. Jismning chekli-elementli modelidagi har bir tugun nuqta bir necha chekli elementning tarkibida ishtirok etganligi sababli, shu tugun nuqtaning muvozanat holatini tasvirlovchi tenglamaning satri shu chekli elementlar mos koeffitsiyentlari yig'indisini o'z ichiga oladi. Misol uchun *i*-chi tugun nuqtaga mos keluvchi qattqlik matritsasi va unga mos keluvchi tugun nuqtalaridagi tashqi kuchlar vektori quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$\left(\sum_c [K_{i1}] \right)^e \{g_1\} + \left(\sum_c [K_{i2}] \right)^e \{g_2\} + \dots + \left(\sum_c [K_{im}] \right)^e \{g_m\} - \sum_e \{F_i\}^e = 0 \quad (11)$$

bu yerda $\sum_e \{F_i\}^e$ – *i*-chi tugun nuqtaga keltirilgan tashqi kuchlar komponentalarining yig'indisi.

Tabiiyki bu yig'indiga faqat *i*-chi tugun nuqtani o'z tarkibiga olgan chekli elementlar hissa qo'shadi.

Barcha diskret modeldagi tugun nuqtalar uchun (30) ko'rinishdagi tenglamalarni birlashtirganda boshlang'ich jism diskret modelining umumiy tenglamalar sistemasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$[K]\{G\} - \{F\} = 0 \quad (12)$$

bu yerda $[K]$ -qattqlik matritsasining global sistemasi;

$\{G\} = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ –jami chekli elementlarning tugun nuqtalari siljishlarining umumiy vektori;

$\{F\}$ – har bir tugun nuqtalarga keltirilgan kuchlar yig'indisining vektori;

m – jismni hosil qiluvchi chekli elementlarning umumiy soni.

11.3. Natijalar tasvirini yaratish texnologiyasi

Hisoblash natijalarining vizual tasviri OpenGL dasturiy interfeys kutubxonasi imkoniyatlaridan foydalanilgan holda *TASVIR* modulida bajariladi (11.4.-rasm).

Modulga kirishda chekli elementli to'ra parametrlarini *DISKRI* fayldan, *PARAMS* faylidan – tugun nuqtalardagi deformatsiya va kuchlanish parametrlarni va chekli elementli to'rining *CONF* konfiguratsiya faylini o'qib oladi. Vizualizatsiya moduli konfiguratsion faylni satr bo'yicha taxlil qilish uchun *INIT* modulidan foydalanadi.

Konfiguratsion fayl quydagi formatga ega:

[<parametr>=<qiymat>][#<izoh>].

Parametrlar nomlari lotin xarflari, maxsus belgilar, raqamlar, maxsus belgilar, izoh belgisida tashqari, xarflar registri hisobga olinmaydi. Parametrlar nomlari ichidagi probellar hisobga olinmaydi. Fayl satri bo'sh bo'lishi, (#) izoh yoki probel belgisi bilan boshlanishi mumkin.

Bundan tashqari, sarta faqat probellardan iborat bo'lishi mumkin emas, aks holda oxirgisidan keyin <parametr>=<qiymat> yozuvi kelish kerak. '=' belgidan avval va keyin probel simvollarini ko'yishga ruxsat bor.

Ma'lumotlarni o'qish jarayonida *INIT* moduli o'zgaruvchining turini tekshiradi, va agar moslik bo'lmasa, ma'lumotlarni yuklash to'xtatiladi va xato to'g'risida batafsil xabar beriladi. O'zgaruvchilarning 4 turi ishlatiladi: uzun butun (butun), qisqartirilgan butun, haqiqiy (suzuvchi nuqtalik) va satr. Barcha soniy qiymatlar dasturlash tili umumiy standartlariga mos keladi. Satrli qiymat qo'sh tirnoqlarga olingan bo'lishi kerak va izoh belgisi bo'lishi kerak emas.

INIT moduli interfeysining tavsifi quyidagicha:

$n3$ – butun son, to'rdaga chekli elementlar soni;

$n4$ – butun son, to‘rdagi tugun nuqtalar soni;

discret_model – satrli ma‘lumot bo‘lib, chekli elementli modeli
DISKR1.DAT fayliga yo‘lni aniqlaydi;

NDS – satrli ma‘lumot bo‘lib, chekli elementli modeli
parametrlari fayli PARAMS.TXT ga yo‘lni aniqlaydi;

isolines – butun son, izoliniyalar sonini aniqlaydi;

defview – qisqa butun son, qaysi kesmani aks ettirishni bildiradi:

1 –YOZ kesmani, 2 –XOZ kesmani, 3 –XOY kesmani, 4 – $x = y$ diogonal bo‘yicha kesmani; va boshqalar.

Tugun nuqtalar orasini bo‘yash chiziqli amalga oshiriladi: minimal qiymatlar – to‘q xavo rang, nol qiymatligi oq rang va maksimal qiymatlar to‘q kizil rang bilan bo‘yaladi. Tizimdan chiqish ‘ESC’ klavishani bosish orqali amalga oshiriladi.

Dasturiy ta‘minotning joriy versiyaning imkoniyatlaridan biri, olingan tasvirni faylda saqlashdir. Bu jarayon uch qismdan iborat:

1) foydalanuvchi o‘ziga kerak tasvirni ekranda yaratadi;

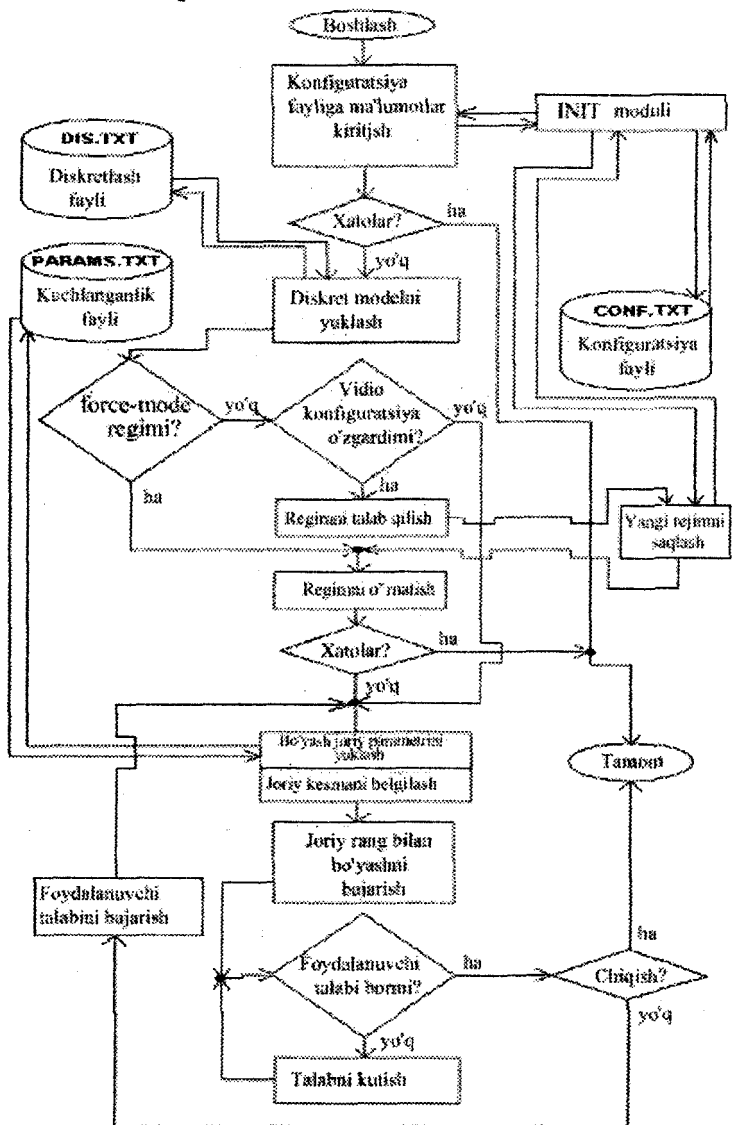
2) tasvirni fiksatsiya qilish uchun ‘P’ klavisha bosiladi va tasvir saqlanishini kutib turiladi;

3) ‘ESC’ klavishani bosib, dasturdan chiqish va *Convert.exe* bajariluvchi maxsus dasturni ishga tushirish kerak. So‘ngra direktoriya *PICTxxx.BMP* nomi bilan fayl paydo bo‘ladi, bu yerda xxx- saqlangan tasvirning tartib nomeri. Tasvirlarni Microsoft Office ning ixtiyoriy hujjatlarida ishlatish va ularni osongina taxrirlash mumkin.

11.4 Masalani yechish uchun ixtisoslashgan dasturiy ta‘minoti

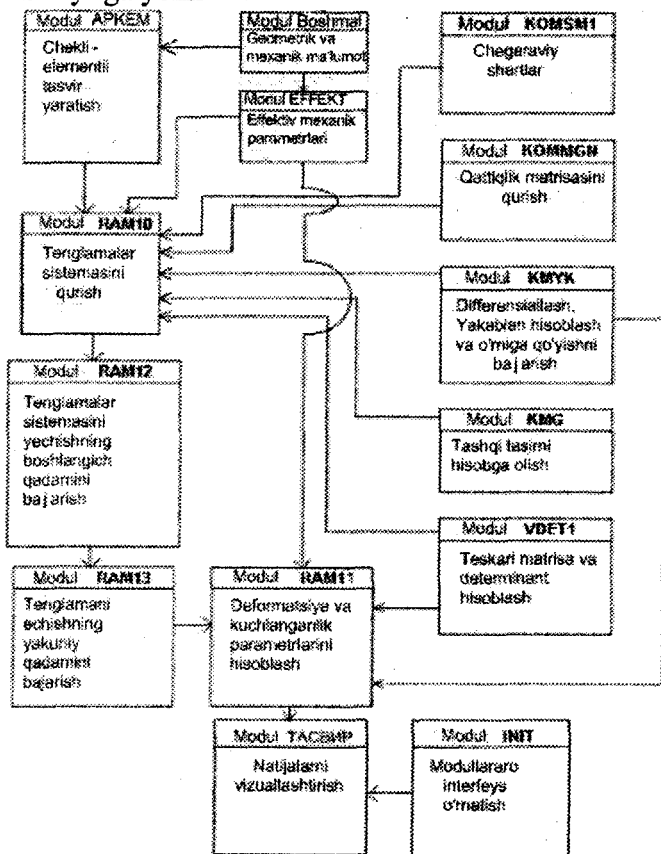
Kompyuterda amaliy masalalarni yechish texnologiyasi va hisoblash eksperimentlarini bajarish uchun *Delphi* muhitida ishlab chiqilgan *ARPEK* ixtisoslashgan dasturlar majmui keltirilgan. Majmua modulli tuzilishga ega bo‘lib, modullar orasidagi ma‘lumotlarni ayriboshlash konfiguratsiya va berilganlar fayllari orqali amalga oshiriladi. *ARPEK* dasturlar majmui hisoblash modullari ishlashi quyidagicha amalga oshiriladi (11.5.-rasm). Dasturlar moduli *APKEM*da sohaning chekli-elementli to‘ri yaratiladi. So‘ngra materialning effektiv mexanik parametrlari

EFFEKT modulida hisoblanadi. So‘ng chekli elementlar usulining hal qiluvchi tenglamalar tizimi koeffitsiyentlari *RAM10* modulidan foydalanib hosil qilinadi.



11.4. – rasm

Simmetrik va lentalik tuzilishga ega bo'lgan tenglamalar sistemasini yechish uchun moslashtirilgan kvadrat ildizlar usuli qo'llanadi. Jarayon ikki qadamdan iborat: avvalo – *RAM12* modulida kvadrat ildizlar usuli algoritmiga asosan boshlang'ich hisoblarni bajariladi. So'ngra – *RAM13* modulida usulning yakuniy hisoblarini bajaradi. Natijada tugun nuqtalarning ko'chish qiymatlari aniqlanadi. *RAM11* modulining ishlashi natijasida kuchlanganlik va deformatsiyalar qiymatlari hisoblanadi va *PARAMS* natijaviy faylga yoziladi. Jarayon yakunida tugun nuqtalardagi ko'chish va kuchlanishlarning elastik- qiymatlari *PARAMS* fayliga yoziladi.



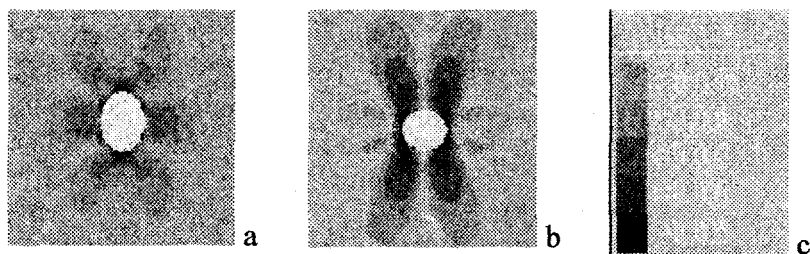
11.5.-rasm. ARPEK dasturlar majmuining tuzilishi

11.5. Tolalik kompozitlar deformatsiyalanishining sonli tahlili

Bir tomonga yo'naltirilgan tolalik materiallardan tuzilgan konstruksiyani qismlar fizikaviy chiziqsiz deformatsiyasi masalasini yechish kompyuter vositasida modellashtirish usuli asosida olingan natijalar tahlilini keltiramiz. Asimptotik usullar asosida olingan munosabatlar yordamida tolalik kompozitning effektiv parametrlari hisobga olinadi. D16 (boroalyumin) tolalik materiali asosi sifatida alyuminiy qorishmasidan foydalaniladi, uning mexanik parametrlari: elastiklik moduli - $E=7.1 \cdot 10^4$ MPa, Puasson koeffitsiyenti - $\mu=0.32$, mustahkamlanish koeffitsiyenti - $\bar{\lambda}=0.5$ va elastiklik chegarasi - $\sigma_s=2.13 \cdot 10^2$ MPa. Tola bor materialidan tayyorlangan va uning parametrlari: $E'=39.7 \cdot 10^4$ MPa, $\mu'=0.21$, cho'zishdagi mustahkamlik chegarasi $\sigma'_s=2.5 \cdot 10^3$ MPa.

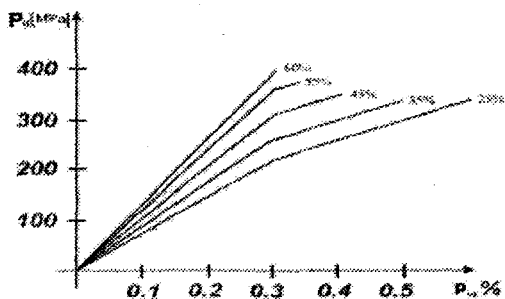
Bir tomonga yo'naltirilgan kompozitdagi tolaning hajmiy miqdori ta'sirini tadqiqot qilish uchun tola yo'nalishi OZ o'qi bo'yicha to'g'ri to'rtburchakli plastinaning cho'zilishi ($R_{zz}=850$ MPa) uch o'lchovlik elastik-plastik masalasi yechimi kompyuterda hisoblash eksperimenti natijalari asosida tahlil qilanadi. Plastinaning o'lchamlari: balandligi - 10 mm, kengligi - 5 mm va qalinligi - 1 mm. Uning markazida radiusi $R=1$ mm ga teng yakkalangan teshik mavjud. Tolaning kompozitdagi hajmiy miqdori $\nu=35\%$.

Izotropiya teksligi bo'yicha teshik atrofidagi deformatsiya intensivligi p_u qiymatlarining taqsimoti 11.6.a-rasmda keltirilgan. Transversal izotropiya bosh o'qi bo'yicha deformatsiya intensivligi q_u qiymatlarining taqsimoti 11.6.b-rasmda keltirilgan. Elastik deformatsiya oshirilgan qiymatlari teshikning yon tomonlarida hosil bo'ladi, lekin gorizontaal diametrning teshikning konturi bilan kesishish nuqtasi atrofida, ularning qiymatlari minimal (bo'yoq tusi izotropiya tekisligi bo'yicha deformatsiya qiymatlariga (11.6.c-rasm)ga nisbatan ikki marta ortiq).



11.6-rasm. Deformatsiya intensivligi taqsimoti

Tolalik kompozitdagi tolaning turli hajmiy miqdoridagi kuchlanganlik va deformatsiya intensivligi $P_u \div p_u$ qiymatlari orasidagi munosabati chizmalari 11.7-rasmda keltirilgan. Tolaning hajmiy miqdori oshirilishi bilan kompozitda mustahkamlik xususiyatlari oshadi, shu bilan birga bu jarayon asosning elastik-plastik xususiyatlarining kamayishiga olib keladi. O'tkazilgan hisoblash eksperimentlar natijalari tolaning kompozitdagi hajmiy miqdori ta'siri qonuniyatlarini tasdiqladi: tolaning hajmiy miqdori 30% dan to 60% gacha bo'lgan oraliqda asos materialning elastik-plastik jihati tola va asos birgalikda ishlash holatini ta'minlaydi.

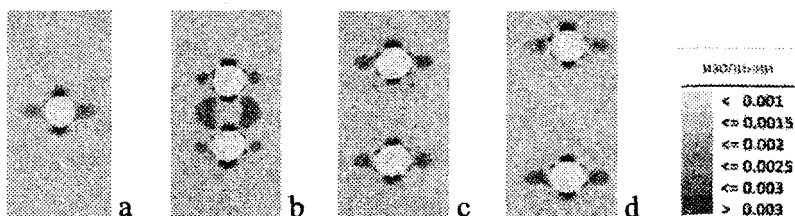


11.7-rasm. $P_u \div p_u$ munosabatlar chizmasi

So'ngra, sonli modellashtirish asosida, kuchlanganlik holati minimal o'zgargandagi konstruksiyaning shakli o'zgarishi hisobiga kuchlanganligi kamayishi jarayoni tahlil qilindi. Boroalyumin materialidan tayyorlangan plastinaning elastik-plastik deformatsiya holati tadqiqot qilindi. Sof konstruksion mulohazalari asosida plastina markazida doira ko'rinishidagi

teshik bilan ta'minlangan va tolalar yo'nalishi bo'yicha bir yo'sinda $P_{zz} = 950 \text{ MPa}$ cho'zilgan. To'g'ri burchaklik plastina quyidagi parametrlarga ega: balandligi - 10 mm, eni - 5 mm, teshik radiusi $R=0.5\text{mm}$. Bor materialidan tayyorlangan tolalar hajmiy tarkibi $\nu=35\%$ ni tashkil etadi. Mos mexanik parametrlar qiymatlari: $E=0.9964 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $E'=1.8532 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $G=0.4311 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $G'=0.3802 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $\mu=0.1558$, $\mu'=0.2762$, dyuralyumning elastik deformatsiyalanish chegarasi $p_u^* = 0.003$.

Tadqiqot qilinayotgan masalada yakkaLANGAN teshik atrofida deformatsiyaning yuqorilashgan qiymatlari kuzatilmoqda (11.8.a-rasm). Faraz qilaylik, mavjud teshik yoniga vertikal bo'yicha ikkinchisi qo'shilgan (11.8.b-d rasm). Vertikal bo'yicha joylashgan ikki teshik orasidagi masofaning ta'sirini tadqiqot qilish uchun hisoblash eksperimentlar o'tkazildi. Qo'shimchasi teshik, teshiklar atrofida kuchlanganlik hosil qiladi, lekin teshiklar orasidagi ta'sir umumiy kuchlanganlikni kamaytiradi. Bunda elastik-plastik holati parametrlar qiymatlari yakkaLANGAN teshik holatdagidan kichik. Teshiklar markazlari orasidagi masofa $h=2 \text{ mm}$ bo'lganda, ular chegarasidagi bir-biriga nisbatan eng uzoq joylashgan nuqталarda deformatsiyalar intensivligi p_u qiymati 7.7%ga, eng yaqin nuqталarda esa - 26.7% ga kamayadi (11.8.b-rasm).



11.8-rasm. Deformatsiya intensivligi p_u taqsimlanishi

E'tiborli tomoni shundaki, elastik masalada bu qiymatlar mos ravishda 6.7% va 32.7%ni tashkil etadi. Aniqlandiki, $h=2 \text{ mm}$ bo'lganda ikki vertikal joylashgan teshiklar yagona kuchlanganlik konsentratörini tashkil etadi va ularning bir-biri ta'siri

konstruksiya kuchlanganlik holatining yuksizlanishiga olib keladi (ya'ni, kuchlanish kamayadi). Teshiklar bir-biridan uzoqlashtirilganida, ya'ni $h = 3 \text{ mm}$ $h = 4 \text{ mm}$ bo'lganda (11.8.c,d-rasmlar), ularning bir-biriga ta'siri yo'qoladi. Yuksizlanish hodisani kuchlar oqimi tassavuridan foydalangan holda tushuntirish mumkin: tashqi kuchlar konstruksiya bo'ylab oqim hosil qiladi. Bosim chizig'i (kuch oqimi) ikkinchi teshik bilan og'ishtiriladi. O'tib ketayotgan kuch oqimi og'ishtirilgandan so'ng, teshikning ta'siri ortmaydi.

Sonli modellashtirish va hisoblash eksperimentlar natijalarini tadqiqot qilish tolalik kompozitlar ratsional tuzilishini loyihalashtirish, konstruksion teshiklarning o'rnatish joylarini aniqlash va konstruksiyalar kuchlanganligini kamaytirish imkonini berishini ta'kidlash mumkin.

NAZORAT UCHUN SAVOLLAR

1. Model tushunchalari.
2. Modellashtirish tushunchalari.
3. Matematik modelga misollar.
4. Matematik modelni ifodalash shakllari.
5. Modellashtirishning iyerarxiya prinsipi.
6. Matematik modellashtirishning variatsion prinsipi.
7. Matematik modellashtirishda analogiya usuli.
8. Matematik model ta'riflari.
9. Matematik modellarning universialligi.
10. Matematik modellashtirishning umumiy qonunlari
11. Matematik modellashtirish usullarini.
12. Matematik modellarga qo'yiladigan asosiy talablar.
13. Modellashtirish bo'yicha asosiy tushunchalar.
14. Matematik modelni qurish bosqichlari.
15. Yirtqich-o'lja modeli.
16. Volterra modeli.
17. Hisoblash eksperimenti tushunchasi.
18. Hisoblash eksperimentining bosqichlari.
19. Yer shari aholisining o'sishi matematik modelini qurish.
20. Energiyaning saqlanish qonunidan foydalanib model qurish.
21. Matematik modellarga qo'yiladigan asosiy talablar.
22. Massa (materiya)ning saqlanish qonuni foydalanib model qurish.
23. Maltus modeli.
24. Fyurxst-Perl modeli.
25. Impulsning saqlanish qonunidan foydalanib model qurish.
26. Ikki davlat o'rtasidagi qurollanish poygasi modeli.
27. Moddaning yemirilish jarayonining matematik modelini quring.
28. Murakkab jarayonlarni matematik modellashtirish.
29. Modellashtirish va modellarning turlari.
30. Model va modellashtirish tushunchalari.
31. Modellashtirishning iyerarxiya prinsipi.
32. Matematik modellashtirishning variatsiya prinsipi.

3. Matematik modellashtirishda analogiya usuli.
34. Eksperiment tushunchasi.
35. Hisoblash eksperimenti tushunchasi.
36. Hisoblash eksperimenti bosqichlari.
37. Energiyaning saqlanish qonunidan foydalanib model qurish.
38. Matematik modellarga qo'yiladigan asosiy talablar.
39. Massa (materiya) ning saqlanish qonuni foydalanib model qurish.
40. Impulsning saqlanish qonunidan foydalanib model qurish.
41. Ikki davlat o'rtasidagi qurollanish poygasi modeli.
42. Korxonalar o'zaro qarzlarni bartaraf etish modeli.
43. Matematik modellarga qo'yiladigan asosiy talablar.
44. Murakkab jarayonlarni matematik modellashtirish.
45. Reklama kompaniyasini tashkillashtirish.
46. Modellashtirish va modellarning turlari.
47. Modda va energiya muvozanatining modeli.
48. Epidemiya modeli.
49. Matematik modellarning universalligi.
50. Matematik modellashtirishning umumiy qonunlari.
51. Matematik modellashtirishning umumiy usullari.
52. Bozor iqtisodiyoti muvozanatining makromodeli.
53. Iyerarxiya prinsipidan foydalanib matematik modellar qurish.
54. Populyatsiya chiziqsiz modelining uch turdagi rejimi.
55. Analogiya usulidan foydalanib matematik modellar qurish.
56. Matematik modellashtirishda variatsion prinsipdan foydalanish.
57. Jamiyat rivojlanishining demografik modellari.
58. Biologik modellarga doir misollar.
59. Kompyuter vositasida modellashtirish.
60. Konseptual modellashtirish.
61. Iyerarxiya prinsipidan foydalanib modellar qurish.
62. Imitatsiyali modellashtirish.
63. Modda va energiya muvozanatining modeli.
64. Energiyaning saqlanish qonuni.

65. Modda massasining saqlanish qonuni.
66. Impulsning saqlanish qonuni.
67. Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlari modellari.
68. Ommaviy xizmat ko'rsatishda modellashtirish.
69. Xizmat ko'rsatish kanallari (qurilmalari).
70. Uzluksiz tizimlarni modellashtirish usullari.
71. Issiqlik tarqalish masalasi modellashtirish.
72. Tenglamalar sistemasini yechish usullari.
73. Geometrik modellar.
74. Geometrik modellashtirish.
75. Murakkab sohaning diskret modelini yaratish.
76. Sodda sohalarning diskret modelini yaratish.
77. Tizimlarni modellashtirish.
78. Tizimlarni modellashtirishning asosiy tushunchalari.
79. Monte-Karlo usulini modellashtirish.
80. Real vaqt masshtabidagi jarayonlar modellari.
81. Real vaqt masshtabida modellashtirish.
82. Loyihalashga tizimli yondashuv.
83. Avtomatik modellashtirish.
84. Iqtisod soxalarini modellashtirish.
85. Iqtisodiy o'sishining makromodeli.
86. Ikki davlat orasidagi qurollanish poygasi modeli.
87. Reklama kompaniyasini tashkillashtirish modeli.
88. Korxonalar o'zaro qarzlarni bartaraf etish modeli.
89. Bozor iqtisodiyoti muvozanatining makromodeli.
90. Ekologiya soxalarini modellashtirish.
91. Biologik soxalarini modellashtirish.
92. O'zaro ta'sirlashuvchi populyatsiyalar sonini modellashtirish.
93. Jism deformatsiyalanishi masalasining dasturiy ta'minoti.
94. Jismning chekli elementli ko'rinishini modellashtirish.
95. Elastik jismning kuchlanganlik xolatini sonli modellashtirish.
96. Natijalarni vizuallashtirishni avtomatlashtirish.
97. Amaliy masalalarni yechish ixtisoslashgan dasturiy ta'minoti.

GLOSSARIY

1. **Model** – lotincha “modulus” soʻzidan olingan boʻlib, oʻ chov va namuna maʼnosini bildiradi.

2. **Model** (umumiy tushincha) – bu real obyekt ustida tadqiqot va tajriba olib borish uchun qulay va arzon boʻlgan boshqa bir real yoki abstrakt obyektidir. Model real obyektning asosiy xususiyatlarini oʻzida mujassam etgan soddalashtirilgan koʻrinishidir.

3. **Model** (ilm va fanda) – real mavjud boʻlgan obyekt yoki tizimning faqat eng muhim xususiyatlari oʻz ichiga olgan soddalashtirilgan obyekt boʻlib, va oldindan ularni oʻrganish uchun tayinlangan. Model real obyekt va/yoki unda oʻtayotgan jarayonlarning soddalashgan koʻrinishidir.

4. **Model** (informatikada) – tizim boʻlib, uni tadqiq qilish natijasida boshqa bir tizim toʻgʻrisida maʼlumot olish uchun ishlatiladi.

5. **Model** (sanoatda) – ketma-ket ishlab chiqariladigan bir hildagi qandaydir buyumlar turkumi majmui (model qatori).

6. **Model** (tizimda) – tadqiq va hisob qilinayotgan jarayon yoki xodisani tasvir etuvchi taʼriflar, bogʻlanishlar, shartlar va cheklashlar tizimi iborat.

7. **Tarmoq modellari** – tarmoq protokollarining oʻzaro bogʻlanishi.

8. **Fizik model** – material obyekt yoki fizik xodisalarning maʼlum bir xususiyatlarini tahlid (imitatsiya) qilish uchun ishlatiladigan texnik qurilma.

9. **Matematik model** – real obyektning tasavvurimizdagi abstrakt koʻrinishi boʻlib, u matematik belgilar va baʼzi bir qonun-qoidalar bilan ifodalangan boʻladi (kengaytirilgan taʼrif).

10. **Model stoxastik** – deyiladi, agar tizimning holat parametrlari tasodifiy oʻzgaruvchilardan iborat, yaʼni ularning miqdori faqat qandaydir tasodifiy xususiyatlari bilan aniqlanadi.

11. **Berilganlar modeli** – relyatsion, iyerarxik, tarmoq - maʼlumotlar bilan ishlash nazariy konsepsiyadir.

12. **Axborot modeli** – konkret predmet soxalar yoki obyekt

ma'lumotlar modeli;

13. Matematik model (elementar matematikada – o'rganilayotgan jarayonlarni algebrayik, differensial yoki integral tenglamalar ko'rinishidagi taqribiy ifodasi;

14. Faktorlar – modellashtirishda tashqi muhitning tekshirilayotgan obyekt parametrlariga ta'sir qiluvchi ko'rsatkichlari.

15. Matematik modellashtirish – real obyekt yoki jarayonlarni matematik usullar vositasida nazariy tadqiq qilish usuli.

16. Modellashtirishning mohiyati – obyektning boshqa soddaroq obyekt (model) bilan almashtirib, modelni xususiyatini tadqiq qilish orqali original obyektning o'rganishdan iborat.

17. Real obyekt va uning matematik modelining muvofiqligi – obyekt va uning matematik modeli dinamikallari sifat va miqdor jihatdan o'xshashligi.

18. Avj oluvchi rejimlar – vaqtning chekli qiymatida qandaydir miqdor cheksizlikka aylanuvchi jarayonlar.

19. Konseptual model – bu modellashtiruvchi tizimning tuzilishini, tizimga xos va modellashtirish maqsadiga erishish uchun ahamiyatli bo'lgan uning elementlari xususiyatlari va sabab-natijaviy bog'lanishlari aniqlaydigan abstrakt modeldir.

20. Matematik modellashtirish (kengaytirilgan ta'rif) – bu real obyekt, jarayon yoki tizimni o'rganib bilmoq uchun ularni matematik modeli bilan almashtirgan holda kompyuterda eksperimental tadqiqot uchun qulayroq bo'lgan vositasidir.

21. Analitik modellashtirish – algebrayik, differensial va boshqa tenglamalar shaklidagi real obyektning matematik (abstrakt) modellari o'rganiladi, shuningdek, ular aniq yechimga olib keladigan aniq hisoblash jarayonini amalga oshirishni ta'minlashi kerak.

22. Imitatsiyali modellashtirish – algoritm(lar) shaklidagi matematik modellar tadqiq qilinadi, unda tadqiq qilinayotgan tizimning ishlashi katta hajmdagi bir qator elementar amallarni bajarish orqali amalga oshiriladi.

3. **Kompyuter vositasidagi model (sonli model)** – alohida kor pyuterda, superkompyuterda yoki kompyuterlar tarmog'ida amalga oshiriladigan kompyuter dasturidir.

24. **Eksperiment** – bu nazoratchi tomonidan boshqariladigan biror bir hodisani tadqiq qilishning ilmiy usulidir.

25. **Kompyuter vositasida (sonli) eksperiment** – bu tadqiqot obyektining matematik modeli asosida kompyuter vositasida bajariladigan eksperimentdir. Unda matematik model bilan tasvirlangan obyekt hususiyatlari haqida hulosa qilish bir parametrlar bo'yicha uning boshqa parametrlarni hisoblashdan iborat.

26. **Kompyuter vositasida modellashtirish** – kompyuterli model asosida murakkab tizimning tahlili yoki ayrim elementlari o'rtasidagi bo'lgan aloqalarni muqarrarlash masalasini yechish usulidir.

27. **Geometrik modellashtirish** – geometrik hususiyatlarga ega elementlar va hodisalarni tavsiflash uchun ishlatiladi, chunki ularni aks ettirishning eng tabiiy usuli grafik tasvirdan iborat.

28. **Kompyuter vositasidagi model yoki sonli model** – alohida kompyuterda, superkompyuterda yoki kompyuterlar tarmog'ida amalga oshiriladigan kompyuter dasturidir. Dastur obyekt, tizim yoki tushunchalar tavsifini real obyektдан farqliroq, lekin algoritmik tavsifiga yaqin va tizim hususiyatlarini tasvirlovchi ma'mumotlar majmui va vaqt bo'yicha o'zgarish dinamikasini amalga oshirishni o'z ichiga oladi.

29. **Eksperiment** – bu nazoratchi tomonidan boshqariladigan biror bir hodisani tadqiq qilishning ilmiy usulidir. Eksperiment kuzatishdan tadqiq qilinadigan obyekt bilan faol munosabatda bo'lish bilan farq qiladi.

30. **Konseptual modellashtirish** – ma'lum bo'lgan faktlar yoki tadqiqot qilinadigan obyektga nisbatan tassavurlar yoki mahsus belgilar, simvollar ustidan bajariladigan amallar bilan yoki tabiiy yoki sun'iy tillar asosida tasvirlanish.

31. **Jismoniy modellashtirish** – model va modellashtiruvchi obyekt real obyektlar yoki yagona yoki turli jismoniy tabiiyatli jarayonlarni tasvirlaydi, bunda jarayonlarning jismoniy

o'xshashligidan asl obyekt va modeldagi jarayonlar o'rtasida ba'zi bir o'xshashlik munosabatlari amalga oshiriladi.

32. Tuzilmaviy-funksional modellashtirish – modellar sifatida sxemalar (blok-sxemalar), grafiklar, chizmalar, diagrammalar, jadvallar, maxsus birlashtirish va o'zgartirish qoidalar bilan to'ldirilgan suratlar ishlatiladi.

33. Matematik (mantiqiy-matematik) modellashtirish – modellashtirish, shu jumladan model qurish, matematika va mantiq vositalari orqaliq amalga oshiriladi.

34. Imitatsiyali (kompyuter vositasida) modellashtirish – tadqiqot qilinuvchi obyektning mantiqiy-matematik modeli obyekt faoliyat jarayoning kompyuter uchun dasturiy ta'minot sifatida amalga oshirilgan algoritmi sifatida tasvirlanadi.

35. Geometrik modellashtirish – geometrik hususiyatlarga ega elementlar va hodisalarni tavsiflash uchun ishlatiladi, chunki ularni aks ettirishning eng tabiiy usuli grafik tasvirdan iborat.

36. Tizim (Internet-ensiklopediya) – umumiy (tizimli) xususiyatlarga ega o'zaro bog'lik bo'lgan elementlar to'plami bo'lib, bu xususiyatlar elementlarga ta'luqli emas.

37. Tizim (kompyuter tizimlari) – quyilgan biror bir maqsadga erishish uchun yaratilgan o'zaro bog'langan elementlar to'plami.

38. Tizim (L. fon Bertalanfi, tizimli analitik) – elementlari bir biri va atrof muhit bilan ma'lum jihatdan bog'langan majmuidir (yoki, o'zaro ta'sir qiluvchi komponentalar majmuidir).

39. Axborot tizimi – biror maqsadga erishishga qaratilgan usullar, vositalar va obyektlarning majmasi.

40. Tizimni identifikalash – kuzatuvlar natijasida olinadigan dinamik tizimlarning matematik modellarini ishlab chiqish uchun foydalaniladigan usullar majmuidir.

41. Agregirlash (masala o'lchovni pasaytirish amali) – modelni pastroq o'lchovli modelga olib keltirishdan iborat, masalan, matematik modeldagi tenglamalarning fazo birligini pasaytirish.

42. Dekompozitsiyalash (ajratish) – masala tuzilmasidan foydalanib, murakkab masalani yechimini, o'zaro bog'liq

bo'lsa, lekin nisbatan soddaroq bir qator masalalar yechishi bilan almashtirish imkonini beradigan ilmiy usuldur.

43. **Loyihalash** – mavjud bo'lmagan obyektning zarur belgilangan shartlarda ishlab chiqish uchun kerak bo'ladigan ishlab chiqish jarayonidir.

44. **Avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlari** – tashkiliy- texnik tizim bo'lib, loyiha tashkiloti bilan bog'langan va avtomatlashtirilgan loyihalarni bajaruvchi vositalarning majmuidir.

FOYDALANILADIGAN ADABIYOTLAR

Asosiy darsliklar va o'quv qo'llanmalar

1. E. Winsberg Science in the Age of Computer Simulation. Chicago: University of Chicago Press, 2010.-168 p.
2. Hiroki Sayama Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. Binghamton University. OPEN SUNY Textbooks, 2015. – 498 p.
3. Курманбаев Б., Полатов А.М., Холджигитов А.А. Моделирование прикладных задач на основе МКЭ. Ташкент, 2004. -60 с.
4. Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. - М.: Наука, 1988. - 176 с.
5. Ф.П. Брукс. Как проектируется и создается программные комплексы. М.Наука 1979.-151с.
6. Полатов А.М. Компьютерное моделирование волокнистых материалов МКЭ. LAP LAMBERT Academical Publishing RU, 2018. – 136 с.
7. Бруйка В.А., В.Г.Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Гланузова, И.Е Адвянов Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учебное пособие. Самара: Самарский гос. техн. университет, 2010. - 271с.

Qo'shimcha adabiyotlar

1. O'zR «Axborotlashtirish to'g'risida» 2003 yil 11 dekabrdaqi Qonuni.
2. A.K. Hartmann, Practical Guide to Computer Simulations, Singapore: World Scientific, 2009.- 476 p.
3. James J. Nutaro, Building Software for Simulation: Theory and Algorithms, with Applications in C++. Wiley, 2011. - 826 p.
4. Мартин Ф. Моделирование на вычислительных машинах. - М.: Советское радио, 1972.-288 с.
5. Кинг Д. Создание эффективного программного обеспечения. - М.: Мир, 1991.-287 с.

Internet-manbalari

1. www.ru.wikipedia.org
2. <http://soft.cnews.ru/?n=25&a=23&i=82&s=4&sf=0&sl=0&p=1>
3. <http://www.intuit.ru/department/informatics/intinfo/>
4. http://stud.h16.ru/education/informat/eu_intro/i1.htm
5. <http://www.dstu.edu.ru/informatics/mtdss/index.html>
6. <http://www.tula.net/tgpu/new/New/informatic/g1.htm>

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
-------------	---

1. KOMPYUTERDA MODELLASHTIRISH ASOSLARI

1.1. Modellashtirish bo'yicha asosiy tushunchalar	5
1.2. Matematik modelni qurish bosqichlari.....	8
1.3. Kompyuter vositasida modellashtirish.....	13
1.4. Konseptual modellashtirish.....	17
1.5. Iyerarxiya prinsipidan foydalanib modellar qurish	18

2. IMITATSIYALI MODELLASHTIRISH

2.1. Modda va energiya muvozanatining modeli	22
2.2. Energiyaning saqlanish qonuni modeli	25
2.3. Modda massasining saqlanish qonuni modeli.....	28
2.4. Impulsning saqlanish qonuni modeli	30

3. OMMAVIY XIZMAT KORSATISHDA MODELLASHTIRISH

3.1. Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimlari modellari	33
3.2. Xizmat ko'rsatish kanallari faoliyatini modellashtirish ...	36

4. UZLUKSIZ TIZIMLARNI MODELLASHTIRISH

4.1. Issiqlik tarqalish masalasi	38
4.2. Tenglamalar sistemasini yechish usuli.....	42

5. GEOMETRIK MODELLASHTIRISH

5.1. Geometrik modellar	44
5.2. Murakkab soxalarning diskret modelini yaratish	45

6. TIZIMLARNI MODELLASHTIRISH

6.1. Tizimlarni modellashtirishning asosiy tushunchalari.....	47
6.2. Monte-Karlo usulini modellashtirish	49

7. REAL VAQT MASSHTABIDA MODELLASHTIRISH

7.1. Real vaqt masshtabidagi jarayonlar	51
7.2. Epidemiya modeli	51

8. AVTOMATIK LOYIHALASHTIRISH

8.1. Loyihalashga tizimli yondashuv	54
8.2. Avtomatik modellashtirish.....	55
8.3. ANSYS tizimida modellashtirish.....	57

9. IQTISOD SOXALARINI MODELLASHTIRISH

9.1. Iqtisodiy o‘shining makromodeli	72
9.2. Ikki davlat orasidagi qurollanish poygasi modeli.....	74
9.3. Reklama kompaniyasini tashkillashtirish modeli.....	76
9.4. Korxonalar o‘zaro qarzlari bartaraf etishi modeli	81
9.5. Bozor iqtisodiyoti muvozanatining makromodeli	89

10. EKOLOGIYA SOXALARINI MODELLASHTIRISH

10.1. Ekologik va biologik modellar.....	95
10.2. O‘zaro ta’sirlashuvchi populyatsiyalar sonini modellashtirish	101

11. JISM DEFORMATSIYALANISHI DASTURIY TA’MINOTI

11.1 Jismning chekli elementli ko‘rinishini modellashtirish	105
11.2. Elastik jismning kuchlanganlik xolatini sonli modellashtirish	111
11.3 Natijalarni tasvirini yaratish texnologiyasi	116
11.4 Amaliy masalalarni yechish ixtisoslashgan dasturiy ta’minoti	117
11.5. Tolalik kompozitlar deformatsiyalanishining sonli tahlili	120
NAZORAT UCHUN SAVOLLAR.....	124
GLOSSARIY.....	127
FOYDALANILADIGAN ADABIYOTLAR	132

ASXAD MUXAMEDJANOVICH POLATOV

KOMPYUTER VOSITASIDA MODELLASHTIRISH ASOSLARI

(O'quv qo'llanma)

«Tafakkur avlodi» nashriyoti, 2020

Muharrirlar:	Abdukamol Abdujalilov
Texnik muharrir:	Yunusali O'rinov
Badiiy muharrir:	Shoimov Zuxriddin
Musahhiha:	Dilfuza Beknazarova
Dizayner:	Yunusali O'rinov

Nash.lits. № **2013-975f-3e5e-d1e5-**

f4f3-8537-2366, 20.08.2020 y.

Terishga 24.08.2020-yilda berildi. Bosishga 7.11.2020-yilda ruxsat etildi. Bichimi: 60x84 1/16. Ofset bosma. «Times New Roman» garniturasida. Shartli b.t. 8.5. Nashr b.t. 7.90.

Adadi 200 nusxa. Buyurtma №20.

Bahosi shartnoma asosida.

«Tafakkur avlodi» nashriyoti, 100190, Toshkent shahri, Yunusobod-9, 13-54. e-mail: tafakkur_avlodi@mail.ru

«Tafakkur avlodi» MCHJ bosmaxonasida bosildi.
Toshkent shahri, Olmazor tumani, Nodira ko'chasi, 1-uy.
Telefon: +99890 000-33-93

39 500

39 500



«Tafakkur avlodi»
nashriyoti

ISBN 978-9943-6690-5-5



9 789943 669055