



Kubayev A. E. Bozorov E. X.



**TIBBIYOTDA MATEMATIK
MODELLARNI QURISH
VA RAQAMLI AMALGA
OSHIRISH**

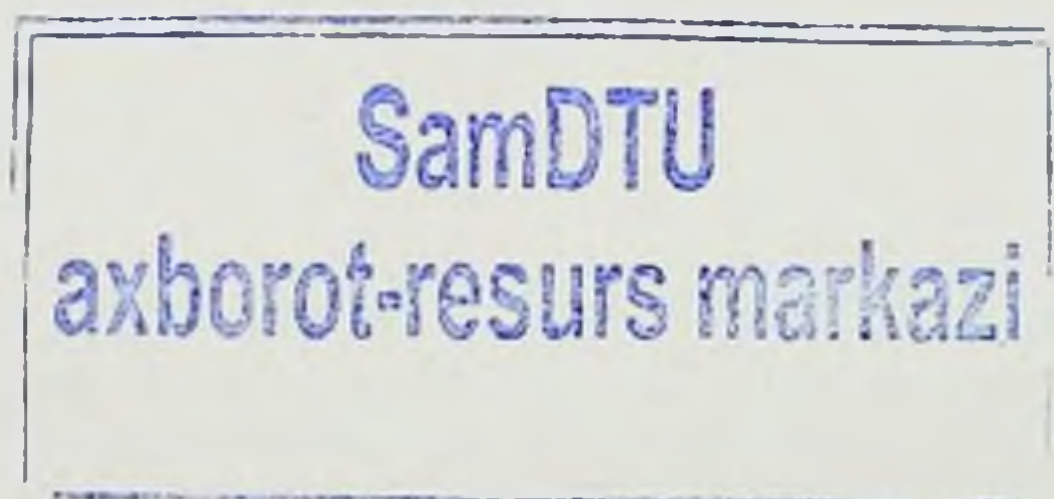


**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV TA‘LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
SAMARQAND DAVLAT TIBBIYOT UNIVERSITETI
O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI
YADRO FIZIKASI INSTITUTI**

A.E.Kubayev, E.X.Bozorov

**TIBBIYOTDA MATEMATIK
MODELLARNI QURISH VA RAQAMLI
AMALGA OSHIRISH**

O‘quv qo‘llanma



**“Samarqand davlat chet tillar instituti” nashriyoti
Samarqand – 2024**

UO'K: 852.12.3

A.E.Kubayev., E.X.Bozorov. Tibbiyotda matematik modellarni qurish va raqamli amalga oshirish. O'quv qo'llanma. Samarqand. – “Samarqand davlat chet tillar instituti” nashriyoti, 2024. – 211 bet.

O'quv-qo'llanma "matematik modellashtirish asoslari" ma'ruza kursi asosida tuzilgan bo'lib, oliy o'quv yurtlarida matematik modellashtirish yo'nalishi bakalavrlari uchun mo'ljallangan. Qo'llanmada statistik va dinamik modellar, moddiy, axborot modellari, tibbiyotda matematik modellashtirish va modellarni qurish va raqamli amalga oshirish kabi ma'lumotlar berilgan. Qo'llanma universitet talabalari, aspirantlar va matematik modellashtirish jarayonlarini o'rganadigan mutaxassislar uchun mo'ljallangan.

Ushbu o'quv qo'llanma № AM-PZ-2019062031 «“Yadro energetikasi”, “Yadro tibbiyoti va texnologiyalari”, “Radiasion tibbiyoti va texnologiyalari” fanlari bo'yicha bakalavr va magistrlar uchun multimediali darsliklarini yaratish» nomli innovasion loyixa doirasida yozib tayorlangan materiallarning pedagogik taxlili asosida yozilgan bo'lib, darsliklar mualliflariga minnatdorchilik bildiramiz.

Taqrizchilar

Toshkent axborot texnologiyalar
Universiteti Samarqand filiali
“Kompytur tizimlari” kanfedrasi
mudiri t.f.n, dotsent
K.A.Bekmurodov.

Samarqand davlat tibbiyot universiteti
«Informatika, informatsion
texnologiyalari» kafedrasi katta
o'qituvchisi, i-f.n **A.M.Voxidov.**

Ushbu o'quv qo'llanma Samarqand davlat tibbiyot universitetining 2024-yil 31-maydagi A/F245-sonli buyrug'iga asosan nashr etishga ruxsat berilgan. (Ro'yxatga olish raqami №G/000274-2024).

ISBN 978-9910-9151-4-7

© A.E.Kubayev., E.X.Bozorov, 2024
© “Samarqand davlat chet tillar instituti” nashriyoti, 2024

MUNDARIJA

Kirish	5
1-bob. Modellar	6
1. "Modellashtirish" va "model" tushunchalari	6
2. Model	6
3. Matematik modellar va ularning turlari	7
4. Matematik modellashtirish o'rganish vositasi sifatida	9
2-bob. Modellarning umumiy xususiyatlari	18
2.1. Moddiy va ideal modellar. Modellarning tasnifi	19
2.2. Deterministik va stoxastik modellar.	25
2.3. Markazlashtirilgan va taqsimlangan modellar	26
2.4. Statik va dinamik modellar.	26
2.5. Matematik modellarning etarlilik va samaradorligi.	27
2.6. Tasodifiy hodisalar va jarayonlar modellashtirish.	29
2.7. Modellarni qurishning umumiy mantig'i.	36
2.8. Analitik modellar.	38
2.9. Aniqlanadigan modellar.	40
2.10. Simulyatsiya modelini aniqlash.	42
2.11. Simulyatsiya modellarini qurish va ulardan foydalanish usullari.	43
2.12. Simulyatsiya tizimlari.	44
2.13. Matematik modellarning turlari. Matematik modellarni model operatoriga qarab tasniflash matematik modellarning tasnifi va misollari.	46
2.14. Rasmda keltirilgan modellarning asosiy turlari.	50
2.15. Hisoblash tajribasi va matematik modellashtirish sohalari.	51
3-bob. Tibbiyotda matematik modellashtirish	65
3.1. Obyektning rasmiy modeli.	66
3.2. Immunologiyada matematik modellar.	69
3.3. Tibbiy diagnostika modellari.	80
3.4. Tibbiy diagnostika uchun ekspert tizimlari. Dizayn to'plamlari nazariyasi usullaridan foydalanish.	89
3.5. Aholi sonining dinamikasi modeli. Ommalashtirish modellari. Puls to'liqining modeli.	92
3.6. Qon aylanish modellari.	117
3.7. Saraton kasalligini davolashning matematik simulyatsiyasi	121
3.8. Xatarli o'smaning matematik modeli	123
3.9. Davolash modeli-kimyoterapiya	124
3.10. Kasallik bosqichlari modeli	126

3.11. Yuqumli kasallikning oddiy modellari. Kasallikning matematik modellari sil kasalligi.....	128
3.12. Miyaning shikastlanishdan keyingi holatini memologik modellashtirish.....	130
3.13. Matematik yurak-qon tomir tizimini tartibga solish mexanizmlari kiyinish.	135
3.14. Matematik modellashtirish va bashorat qilish-tibbiyot va biologiyada ilmiy bilish usullari sifatida (adabiyotlarni ko'rib chiqish).	142
3.15. Biologiyada evolyutsiya va rivojlanish modellari, biologik tizimlarning tarqalish modellari.....	149
4-bob. Strukturaviy modellar.	155
4.1. Strukturaviy modellarning tasnifi.....	159
4.2. Dori vositalarining farmakokinetikasi modeli. Farmakokinetik model.	167
4.3. Simulyatsiya modellashtirish.....	170
4.4. Volterning modellari. Farmakokinetik model.	176
4.5. Epidemiologiya matematik modellar. Epidemiyaning matematik modeli.	181
4.6. Monte-Karlo usuli yordamida obyektlarni modellashtirish.....	187
4.7. Muayyan muhitni modellashtiradigan odatiy funktsional jarayonlar. Aholining omon qolish jarayonlarini matematik modellashtirish.	193
4.8. Mushaklar qisqarishining matematik va fizik modellari.	197
Lug'at.....	202
Adaiyotlar	208

KIRISH

Matematik modellashtirishning turli elementlari aniq fanlarning paydo bo'lishi bilan bir vaqtda qo'llanilgan. Ushbu fakt bilan ularning ba'zilar, masalan, Nyuton va Eyler kabi ilm-fan arboblarning ismlarini olib yurishlari va "algoritm" so'zi o'rta asrda yashab ijod etgan buyuk alloma bobokolonimiz Al-Xorazmiy nomidan kelib chiqqanligi bilan bog'liq. Ushbu metodologiyaning ikkinchi "tug'ilishi" XX asrning 40 – yillari oxiri va 50-yillari boshlarida sodir bo'ldi va kamida ikkita sababga bog'liq edi: kompyuterlarning paydo bo'lishi, garchi hozirgi standartlarga muvofiq kamtarona bo'lsada, ammo shunga qaramay olimlarni juda katta hajmdagi kompyuter ishlaridan xalos qildi va milliy dasturlarni amalga oshirish uchun misli ko'rilmagan ijtimoiy buyurtma. An'anaviy usullar bilan amalga oshirib bo'lmaydigan yadroviy raketa qalqonini yaratish bo'yicha SSSR va AQSh o'zlarining milliy dasturlarini ishlab chiqa boshladi. Matematik modellashtirish yordamida ushbu muammo hal qilindi. Birinchi bosqichda yadroviy portlashlar va raketalarning parvozlari kompyuter yordamida simulyatsiya qilindi va keyinchalik amalda amalga oshirildi. Ushbu fakt modellashtirish metodologiyasini yanada rivojlantirishga yordam berdi, ularsiz hozirda biron bir yirik texnologik, ekologik yoki iqtisodiy loyiha amalga oshirilmayapti [1]. Zamonaviy ilm-fan tomonidan o'rganilgan texnik, ekologik, iqtisodiy va boshqa tizimlar endi an'anaviy nazariy usullar bilan o'rganilmaydi. Ular ustida to'g'ridan-to'g'ri tabiiy tajriba uzoq, qimmat, ko'pincha 6 kirish xavfli yoki shunchaki mumkin emas, chunki ushbu tizimlarning aksariyati "bitta nusxada" mavjud. Ularga nisbatan xatolar va noto'g'ri hisob-kitoblarning narxi qabul qilinishi mumkin emas. Shuning uchun matematik modellashtirish ilmiy va texnologik taraqqiyotning muqarrar tarkibiy qismidir. Matematik modellashtirish metodologiya bo'lib, matematika, fizika va biologiya kabi ilmiy fanlarda vosita sifatida ishlatiladi va ular bilan raqobatlashmaydi. Ijodiy faoliyatning deyarli barcha sohalarida tadqiqotchilardan tortib harbiy rahbarlarga qadar modellashtirish qo'llaniladi. Matematik modellashtirish quyidagi talablarning bajarilishi bilan ta'minlanishi kerak: tajribaga asoslangan asosiy tushunchalar va taxminlarni aniq shakllantirish (posteriori), ishlatilgan modellarning etarliligini tahlil qilish, hisoblash algoritmlarining kafolatlangan aniqligi va boshqalar. Formalizatsiya qilish qiyin bo'lgan obyektlarni modellashtirishda qo'shimcha ravishda matematik va matematik bo'lmagan atamalarning farqlanishini, shuningdek obyektlarni o'rganishda mavjud matematik apparatlardan foydalanish xususiyatlarini hisobga olish kerak.

I BOB. MODELLAR

1. "Modellashtirish" va "model" tushunchalari

Matematik modellashtirish metodologiyasini yaratishning bir necha bosqichlarini ajratish mumkin: aniq fanlarning paydo bo'lishi.

Hisoblash usullari Nyuton va Eyler kabi ilm-fan arboblarning ismlarini o'z ichiga oladi. "Algoritm" so'zi o'rta asrlarda yashab ijod etgan xorazmlik matematik, astronom, geograf, fan tarixidagi ilk qomusiy olimlardan biri bobokolonimiz Al-Xorazmiy nomi bilan bog'liq. XX asrning 40 – yillari oxiri-50-yillari boshlari: - kompyuterlarning paydo bo'lishi; - yadro texnologiyalarini ishlab chiqish. Axborot jamiyatining paydo bo'lishi. Matematik modellashtirish metodologiyasi axborot texnologiyalarining intellektual yadrosiga aylanmoqda. Erta yoshda odam turli xil modellar bilan o'zaro aloqada bo'lishni boshlaydi. Kublardan konstruktsiyalarni qurish o'yini ba'zi modellarni yaratishdir. Treningda u yoki bu shaklda modellardan foydalanish keng tarqalgan. Qoidalarni o'rganish uchun, masalan, rus tili, o'rganilayotgan obyektning xususiyatlarini aks ettiruvchi modellar bo'lgan turli xil sxemalar va jadvallar qo'llaniladi. Matnni tayyorlashni ona tili yordamida ba'zi bir hodisa yoki hodisani modellashtirish deb hisoblash mumkin. Aniq fanlar darslarida o'rganilayotgan Real obyektlarning maketlari ham qo'llaniladi [2]. Shuni ta'kidlash kerakki, kattalar hayotida odam doimiy ravishda haqiqiy obyektlar, jarayonlar modellariga duch keladi. "Modellashtirish" va "model" tushunchalari va hodisalar. Shu bilan birga, murakkab mahsulotlarni yaratish uchun ishlab chiquvchilar guruhlarining ishi zarur.

Bunga katta Hadron kollayderi (bu erda katta portlashni modellashtirish rejalashtirilgan, shundan so'ng bizning koinotimiz paydo bo'lgan) va taniqli Titanik filmi misol bo'la oladi, u erda kema halok bo'lgan sahnalar uchun o'ndan ortiq kema modellari ishlatilgan. Matematik modellashtirish vositasi birinchi navbatda matematikadir. Hozirgi vaqtda matematik modellashtirish quyidagi sohalarida qo'llaniladi: an'anaviy sohalar — fizika, kimyo, biologiya; yangi sohalar va fanlar — texnik, ekologik va iqtisodiy tizimlar. Qiyinchiliklar: — to'g'ridan-to'g'ri tabiiy eksperiment xavfli yoki mumkin emas; - tizim bitta nusxada mavjud; ijtimoiy jarayonlar.

2. Model

Model (lat. modulus – o'lchov, me'yor) - biror obyekt yoki obyektlar tizimining obrazi yoki namunasidir.

Masalan, yerning modeli - globus, osmon va undagi yulduzlar modeli - planetariy ekrani, pasportdagi suratni shu pasport egasining modeli deyish mumkin.

Insoniyatni farovon hayot shartsharoitlarini yaratish, tabiiy ofatlarni oldindan aniqlash muammolari qadimdan qiziqtirib kelgan. Shuning uchun ham insoniyat tashqi dunyoning turli hodisalarini o'rganishi tabiiy holdir. Aniq fan sohasi mutaxassislari u yoki bu jarayonning faqat ularni qiziqtirgan xossalarnigina o'rganadi. Masalan, geologlar yerning rivojlanish tarixini, ya'ni qachon, qaerda va qanday hayvonlar yashaganligi, o'simliklar

O'sganligi, iqlim qanday o'zgarganligini o'rganadi. Bu ularga foydali qazilma konlarini topishlarida yordam beradi. Lekin ular yerda kishilik jamiyatining rivojlanish tarixini o'rganishmaydi bu bilan tarixchilar shug'ullanadi.

Atrofimizdagi dunyoni o'rganish natijasida noaniq, va to'liq bo'lmagan ma'lumotlar olinishi mumkin. Lekin bu koinotga uchish, atom yadrosining sirini aniqlash, jamiyatning rivojlanish qonunlarini egallash va boshqalarga xalaqit etmaydi. Ular asosida o'rganilayotgan hodisa va jarayonning modeli yaratiladi. Model ularning xususiyatlarini mumkin qadar to'laroq akslantirishi zarur. Modelning taqribiylik xarakteri turli ko'rinishda namoyon bo'lishi mumkin. Masalan, tajriba o'tkazish mobaynida foydalaniladigan asboblarning aniqligi olinayotgan natijaning aniqligiga ta'sir etadi.

3. Matematik modellar va ularning turlari

Matematik modellashtirish nazariyasida modelni qurishning barcha jihatlarini tadqiqotning vazifalari va maqsadlari bilan doimiy ravishda muvofiqlashtirish muhim ahamiyatga ega. Shuning uchun biz tadqiqot uchun muhim bo'lgan mexanik tizimlar va jarayonlarning ba'zi xususiyatlariga e'tibor qaratamiz. Birinchidan, bunday obyektlarni belgilaydigan omillar o'lchanadigan qiymatlar – parametrlar sifatida tavsiflanadi. Ikkinchidan, bunday modellar tabiatning asosiy qonunlarini (mexanikani) tavsiflovchi tenglamalarga asoslangan bo'lib, ularni qayta ko'rib chiqish va takomillashtirishga hojat yo'q. Hatto umumiy hodisalarni tuzishda ishlatiladigan individual hodisalarning tayyor xususiy modellari ham sharoitlar va qo'llash sohalari nuqtai nazaridan yaxshi shakllantirilgan va tavsiflangan. Uchinchidan, mexanik tizimlar va jarayonlarning modellarini ishlab chiqishda eng katta qiyinchilik-bu funksional va raqamli ob/ektning noto'g'ri ma'lum bo'lgan xususiyatlarining tavsifi. To'rtinchidan, bunday modellarga qo'yiladigan zamonaviy talablar nafaqat

ma'lum tabiat qonunlari bilan bog'liq bo'lgan, balki obyektning xatti-harakatlariga ta'sir qiluvchi ko'plab omillarni hisobga olish zarurligiga olib keladi. Bu xususiyatlarning barchasi mexanik tizimlar va jarayonlarning modellari asosan matematik sinfga tegishli bo'lishiga olib keladi. Matematik modellar obyektning matematik tavsifiga asoslanadi. Matematik tavsif, birinchi navbatda, obyekt parametrlarining o'zaro bog'liqligini o'z ichiga oladi, bu uning ishlash xususiyatlarini tavsiflaydi. Bunday aloqalar quyidagicha ifodalanishi mumkin:

- vektor-funksiyalar $y = f(x,t)$, – yashirin funksiyalar $F(y, x, t) = 0$,
- oddiy differensial tenglamalar $F(x, x', x'', \dots, x^{(m)}, t) = 0$,
- qisman hosilalari bo'lgan differentsial tenglamalar
- hisoblash algoritmi,
- ehtimollik (stoxastik) tavsifi.

Ushbu turlarning dastlabki to'rttasi umumiy nomga ega: analitik bog'liqliklar. Matematik tavsif nafaqat obyekt elementlari va parametrlarining o'zaro bog'liqligini (qonunlar va qonuniyatlar), balki obyektning raqamli va funksional ma'lumotlarining to'liq to'plamini (xususiyatlar; boshlang'ich, chegara, yakuniy shartlar; cheklovlar), shuningdek modelning chiqish parametrlarini hisoblash usullarini o'z ichiga oladi. Matematik tavsif deganda natijani olishga imkon beradigan ma'lumotlar, funksiyalar va hisoblash usullarining to'liq to'plami tushuniladi. O'z navbatida, matematik model matematik Tavsifning bir qismini (ko'pincha ba'zi dastlabki ma'lumotlarni) o'z ichiga olmasligi mumkin, ammo bunga qo'shimcha ravishda uni qurish uchun ishlatiladigan barcha taxminlarning tavsiflari, shuningdek manba va chiqishni modeldan asl nusxaga va aksincha tarjima qilish algoritmlari bo'lishi kerak. Tasnifga qo'shimcha sifatida matematik modellar obyektning tabiatiga, yechiladigan muammolarga va qo'llaniladigan usullarga qarab quyidagi turlarda farq qilishi mumkin:

- ❖ hisoblangan (formulalar, jadvallar, algoritmlar, grafikalar, nomogrammlar);
- ❖ tegishli (masalan, shamol tunnelidagi model va atmosferadagi samolyotning haqiqiy parvozi);
- ❖ o'xshash (bir xil matematik tavsiflar va mutanòsib mos keladigan parametrlar);
- ❖ chiziqli yoki chiziqli bo'lmagan (faqat 0 va 1 darajadagi asosiy parametrlarni o'z ichiga olgan funksiyalar yoki har qanday funksiyalar bilan tavsiflangan),

- ❖ statsionar yoki statsionar bo'lmagan (mustaqil yoki vaqtga bog'liq),
- ❖ uzluksiz yoki diskret,
- ❖ deterministik yoki stoxastik (aniq, aniq yoki ehtimoliy: navbat modellari, taqlid va boshqalar),
- ❖ aniq yoki noaniq (loyqa to'plamlarga misollar: taxminan 10; chuqur yoki sayoz; yaxshi yoki yomon).

Matematik modellar tushunchasi turli xil modellarning juda keng doirasini birlashtiradi. Aerodinamikada ishlatiladigan samolyot polyarining yaqinlashishi $\pi\lambda=+2$ y, modelning matematik tavsifi funksiyani hisoblash algoritmlari 16 tematik model tarjima sifatida qaralishi mumkin.

Bu eng oddiy misol. Ammo matematik modellar iqtisodiy rivojlanish jarayonlarini modellashtirish uchun ko'plab dasturiy ta'minotga ega murakkab hisoblash komplekslari deb ham ataladi. Tarixiy jihatdan, matematik model ba'zan analitik bog'liqliklar yoki hisoblash algoritmlari ko'rinishidagi sof bir xonali to'g'ridan – to'g'ri matematik tavsifni o'z ichiga olgan modellarning faqat bitta maxsus turini anglatadi ya'ni bir xil dastlabki ma'lumotlar bilan faqat bitta natijani olish mumkin bo'lgan deterministik matematik model. Eng keng tarqalgan deterministik modellar bo'lib, ular bir vaqtning o'zida birlikka teng bo'lgan mutanosiblik koeffitsientlaridan foydalangan holda asl parametrlar bilan aloqa o'rnatadilar. Bunday model tomonidan ishlatiladigan matematik tavsifni to'g'ridan – to'g'ri asl nusxaning tavsifi sifatida ko'rib chiqish tabiiydir va bu to'g'ri: bu holda model va asl nusxada bitta umumiy matematik tavsif mavjud. Bunday soddaligi tufayli tajribasiz muhandis modelni endi model sifatida emas, balki asl nusxa sifatida qabul qiladi. Aslida, bunday matematik model hali ham barcha konventsional, abstraktsiyalar, taxminlar, soddalashtirishlarga asoslangan modeldir. Qattiq modellashtirish jarayonini "soddalashtirish" istagi bor, bu printsipial jihatdan mumkin emas, chunki model asl nusxaga mos keladi yoki umuman yo'q. Bunga beparvolik amaliy tadqiqotlarda ko'plab noto'g'ri xulosalarni keltirib chiqaradi va natijalar haqiqatga mos kelmaydi.

4. Matematik modellashtirish o'rganish vositasi sifatida

Talabalarni o'qitishda modellashtirish muammosini muhokama qilgan E. S. Muraveva, L. G. Peterson, A. S. Simonova va boshqa tadqiqotchilarning asarlarini o'rganish bizga simulyatsiyani o'rganishda qo'llash xususiyatlarini hisobga olish zarurligini anglashga imkon berdi. Uning ilmiy tadqiqotlarda paydo bo'lishining asl joyidan farqli

o'laroq, keyin ishlab chiqarish va inson faoliyatining boshqa sohalariga tarqalishi. Biz matematik modellarni tavsiflash, qurish va tahlil qilishda turli xil yondashuvlarni ko'rib chiqdik. Shu nuqtai nazardan, matematik modellar o'rganish obyekti vazifasini bajaradi.

Shubhasiz, matematik modellashtirishning asosiy bosqichlarini bilish matematik modellashtirishdan talabalarni, shu jumladan Mo'g'uliston JST tizimidagi talabalarni o'qitish va kasbiy malakasini shakllantirish vositasi sifatida foydalanish uchun juda zarurdir. Muammoni shakllantirish. Zamonaviy muhandisning o'quv natijalariga qo'yiladigan zamonaviy talablarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, o'quv maqsadi bir nechta taniqli matematik modellardan foydalanishni o'rgatishdan ko'ra muhimroqdir.

Bunday kasbiy tayyorgarlikka ega bo'lgan mutaxassis zamonaviy tez o'zgaruvchan sharoitlarga juda mos kelmaydi. Vazifa yanada shuhratparast - paydo bo'layotgan yangi kasbiy muammolarni hal qilish uchun vositalarni mustaqil ravishda topishga imkon beradigan kasbiy kompetentsiyalarni shakllantirish. Bunday mutaxassis yanada qimmatli va zamonaviy ishlab chiqarishni rivojlantirish uchun javob beradi. Shuning uchun, texnik universitetda matematikani o'qitishda amaliy muammolarning matematik modellari o'qitish obyekti sifatida emas, balki matematika kursining amaliy yo'nalishini amalga oshirishga imkon beradigan samarali o'qitish vositasi sifatida ishlaydi. Shunday qilib, muammo yanada murakkab – professional sohadagi amaliy muammolarni hal qilishning kaliti bo'lgan matematik modellashtirish usulini o'zlashtirish kerak.

Tabiiyki, oddiy matematik modellardan murakkab matematik modellarga o'tish orqali talabalar ushbu usul va tegishli kasbiy kompetentsiya haqida tasavvurga ega bo'lishlari mumkin. Tarkibi. Bizning maqsadlarimiz uchun A. S. ishlatgan matematik modelning quyidagi ta'rifi juda mos keladi. Simonov matematik modellar "matematik simvolizm yordamida ifodalangan va ushbu hodisani o'rganishni matematik muammolarni o'rganish va echish bilan almashtiradigan tashqi dunyo hodisasining taxminiy tavsiflari" deb nomlanadi. Bundan tashqari, talabalar matematikaning haqiqiy hodisalarni o'rganmasligi, balki haqiqiy dunyoni bilishning kuchli, samarali vositasi ekanligi haqidagi misollarni mustaqil ravishda tanlashlari maqsadga muvofiqdir. Tabiiyva texnik fanlar fizik, kimyoviy, biologik, ijtimoiy hodisalarni ushbu hodisalarning matematik modellari qurish va o'rganish yordamida o'rganadilar. Matematika tarixi va metodologiyasi bo'yicha taniqli sovet va rus mutaxassisi K. A. Rybnikov [2] matematik modellashtirishning vazifasi obyektlarning (obyektlar, jarayonlar, hodisalar) ularning miqdoriy xususiyatlari va fazoviy-tarkibiy

xususiyatlari to'g'risida ma'lumot beradigan bunday modellarni yaratish ekanligini ta'kidladi. Bunga biz simulyatsiya qilingan obyekt yoki hodisaning sifat harakati haqidagi savolga javob beradigan matematik modellar ham mavjud bo'lish huquqiga ega ekanligini qo'shishimiz mumkin. Talabalar matematik modellarning tarkibiy elementlari haqidagi savolga mustaqil ravishda javob berishlari va matematik belgilar va belgilar, eng muhimi, matematik tushunchalar matematik modelning tarkibiy elementlari bo'lib xizmat qilishini aniqlashlari mumkin. Bunday holda, matematik modelni tavsiflashda sxematik tasvirlar (diagrammalar, chizmalar, grafikalar, grafikalar), raqamli belgilar to'plamlari, sun'iy yoki tabiiy tillarning elementlaridan foydalanish mumkin. Tarixiy haqiqatni ta'kidlash kerakki, matematik modellashtirishning tongi matematik modellarni tuzish uchun tenglamalar (differentsial, algebraik va integral), matematik mantiqning o'zaro bog'liqligi, geometrik konstruktsiyalar va boshqalar qo'llanila boshlanganda paydo bo'ldi. Matematik modellashtirishni qachon qo'llash kerakligi haqida savol tug'lsa, bu erda javob noaniq bo'ladi. Birinchidan, matematik modellashtirish haqiqiy obyektlarni o'rganish bilan bog'liq holda amalga oshiriladi va tajriba bilan birgalikda ishlaydi. Ikkinchidan, mavhum obyektlar va ularning tizimlari modellashtirilgan taqdirda kerak bo'ladi. Uchinchidan, matematik modellashtirish "kelajakning zaif signallarini" anglash zarur bo'lganda zarur [3]. Ehtimol, bu matematik modellashtirish usulini qo'llashning eng qiyin holati. Agar I. Ansoffning "strategik menejment" monografiyasiga ko'ra, xususan, texnik ma'lumotga ega bo'lgan mutaxassislardan o'sadigan zamonaviy menejerlar uchun zaif signallarni qayta ishlash metodologiyasiga ega bo'lish juda muhimdir. To'rtinchidan, matematik modellashtirish o'quvchilarni o'qitish va rivojlantirish vositasi sifatida o'quv maqsadlarida zarur. Tabiiyki, matematik modellarni tasniflamasdan, o'quv jarayonida matematik modellashtirishdan foydalanish mumkin emas. Bunday tasniflar juda ko'p. Odatda, birinchi navbatda, chiziqli va chiziqli bo'lmagan, statsionar va dinamik modellar ajralib turadi. Hozirda iqtisodiyotda ayniqsa muhim ahamiyatga ega bo'lgan matematik modellarning muhim klassi-bu barcha ma'lumotlar to'liq aniqlanadigan deterministik modellar va stoxastik modellar, ya'ni tasodifiy o'zgaruvchilar va funksiyalarga bog'liq. Ammo texnik masalalarda ham vaqt qatorlari va tasodifiy jarayonlar kabi tushunchalar muhim rol o'ynaydi. Matematik modellarni tasniflash va ularni fan va texnikaning turli sohalariga qo'llash orqali amalga oshirilishi mumkin va kerak [4-10]. Tabiiyki, texnik universitetda matematik ta'limning mazmunini tanlashda kelajakdagi

mutaxassisning kasbiy faoliyatida muhim rol o'ynaydigan matematik modellardan foydalanish kerak. Taniqli sovet va rus matematikasi, akademik V. I. Arnold tabiiy ofatlar nazariyasi va differentsial tenglamalar bo'yicha tadqiqotlarida matematik modellarni "qattiq" va "yumshoq"ga bo'lishni taklif qildi. Uning mashhur ishida [11], muhim uslubiy ahamiyatga ega, V. I. Arnold shunday deb yozgan edi: "matematik ta'limning asosiy maqsadi haqiqiy dunyo hodisalarini matematik jihatdan o'rganish qobiliyatini tarbiyalash bo'lishi kerak ... yumshoq matematik modellarni tuzish va o'rganish san'ati bu mahoratning eng muhim tarkibiy qismidir". Matematik modellarni qurish va tahlil qilish bilan bog'liq holda, bizning formulalarimiz quyidagicha ifodalanishi mumkin:

1. Matematik modelni yaratishni talab qiladigan amaliy muammoni shakllantirish va iloji bo'lsa aniq shakllantirish.
2. O'rganilayotgan jarayon yoki hodisani tasvirlashga imkon beradigan asosiy o'zgaruvchilar va doimiylarni topish. O'lchovlar natijasida qanday miqdorlar olinishini va qaysi miqdorlarni hisoblash kerakligini va qanday aniqlik bilan aniq aniqlash.
3. Jarayon yoki hodisaning holati bog'liq bo'lgan ushbu o'zgaruvchilar va parametrlar o'rtasidagi turli xil munosabatlarni (nazariyadan ma'lum yoki eksperimental ravishda aniqlangan) aniqlash.
4. O'rganilayotgan sharoitlarning tabiati va ularning to'g'riligini tekshirishning mumkin bo'lgan usullari to'g'risida gipotezani (yoki gipotezalarni) ishlab chiqish va shakllantirish.
5. Qurilgan matematik model bo'yicha hisob-kitoblarni amalga oshirish, matematik hisob-kitoblarning xatolari va ishonchliligini tahlil qilish.
6. Matematik modeldan xulosalarni tekshirishga imkon beradigan turli xil modellarni qurish – kompyuter, fizik.
7. Haqiqiy obyekt bilan nazorat tajribalarini o'tkazish.
8. Modellarni qurishda qabul qilingan gipotezaning to'g'riligini tekshirish va nazorat tajribalari natijalariga qarab matematik modellashtirish samaradorligini baholash.

Keyingi uchun biz quyidagi kelishuvni amalga oshirishimiz qulay bo'ladi. Shunday qilib, matematik modellashtirish haqiqatni bilish va tadqiq qilishning samarali vositasi bo'lganligi sababli, keyinchalik matematik modellashtirish jarayonini tavsiflab, biz tadqiqotchi so'zidan foydalanamiz, bu tadqiqotchi va amaliy muhandis va talabani anglatadi, chunki ular tez orada kasbiy faoliyat sohasi bilan bog'liq amaliy muammoni hal qilish bilan shug'ullanadilar. Ushbu kelishuv, bizning fikrimizcha, kasbiy motivatsiyani

shakllantirish nuqtai nazaridan ham foydalidir. Tadqiqotchi atamasining o'zi ijodkorlikni, kognitiv qiziqishlarni amalga oshirishni, faoliyatdagi ijodkorlikni anglatadi va natijada faoliyat sub'ektining ichki o'zini o'zi qadrlashini oshiradi. Muammoni hal qilish bosqichlari. Jarayonni tavsiflash uchun turli xil yondashuvlarni ilgari ko'rib chiqish matematik modellarni qurish va tahlil qilish bizga tadqiqotchini boshqarishi kerak bo'lgan kelajakdagi mutaxassislarning kasbiy faoliyati sohasi bilan bog'liq turli xil amaliy muammolarni hal qilish uchun matematik modellashtirishning quyidagi asosiy bosqichlarini ajratib ko'rsatishga imkon beradi:

I bosqich. Amaliy muammoni shakllantirish. Ushbu bosqichda tadqiqotchi qaysi muammoni hal qilishini aniqlashi kerak. Biz allaqachon ma'lum bo'lgan vazifa haqida gapirayapmizmi yoki bu ma'lum bir muammoning modifikatsiyasi yoki tubdan yangi vazifa.

II bosqich. Kontseptual modellashtirish. Ushbu bosqichda tadqiqotchi miqdoriy va sifat jihatidan ko'rib chiqilayotgan muammoni tavsiflashga imkon beradigan ilmiy bilim sohalarini aniqlaydi. Keyinchalik, kirish va chiqish parametrlarini aniqlash kerak. Kontseptual model bosqichida allaqachon berilgan parametrlarni aniqlash va tadqiqot jarayonida aniqlanishi kerak bo'lgan barcha parametrlar ro'yxati zarur.

III bosqich. "Muhim va ahamiyatsiz" omillar. Tadqiqotchi ongning yangi darajasiga o'tadigan juda muhim bosqich mavjudliklar. U argumentlar deb ataladigan "muhim" omillarning to'liq ro'yxatini va keyinchalik ko'rib chiqishda ongli ravishda e'tiborsiz qoldiradigan barcha "ahamiyatsiz" omillar ro'yxatini ta'kidlashi kerak, chunki bu muammoni anglash darajasida ular haqiqatan ham ahamiyatsiz deb hisoblanishi mumkin yoki ular umuman tadqiqot uchun mavjud emas, garchi ular mumkin deb gumon qilinsa ham rol o'ynang.

IV bosqich. Matematik modelni yaratish. Muammoni anglashning ushbu bosqichida tadqiqotchi argumentlar, kirish va chiqish parametrlarini uzluksiz yoki diskret matematika tilida talqin qilishga imkon beradigan bilimlarning zarur zaxirasiga ega. Shunday qilib, aynan shu bosqichda mazmunli amaliy muammo raqamlar tiliga, turli funktsiyalarga, algebraik yoki differentsial va integral tenglamalarga, tengsizliklarga, tizimlarga, kombinatorika nisbatlariga, mantiqiy sxemalarga, it grafik nazariyasiga aylantiriladi va boshqalar.

V bosqich. Muayyan muammoni rasmiylashtirish: matematik tilda argumentlar, kirish va chiqish parametrlari o'rtasidagi aniq aloqalar qayd etiladi. Muayyan matematik muammo aniqlanadi, uni hal qilish kerak. Dastlabki (soddalashtirilgan) muammoni o'rganish ma'lum bir amaliy

muammoning o'ziga xos matematik modelini tashkil etadigan matematik muammolarni hal qilish va o'rganishga to'g'ri keladi.

VI bosqich. Matematik muammoni hal qilish va o'rganish. Muayyan matematik muammoni ko'rib chiqish turli xil matematik usullardan foydalanishga va zamonaviy kompyuterlardan foydalanish imkoniyatlarini aniqlashga imkon beradi. Qurilgan modellarning amal qilish chegaralarini aniqlash. Ushbu bosqichda tadqiqotchi kerakli nazariy tadqiqotlarni o'tkazishi yoki odatda ushbu masala bo'yicha dastlabki tadqiqotlarning tayyor natijalaridan foydalanishi kerak.

VII bosqich. Raqamli hisob-kitoblar. Muammoning nazariy yechimini amalga oshiradigan raqamli hisoblash usullari tanlanadi. Muammoni hal qilish uchun aniq matematik paketlar tanlanadi yoki ushbu nazariy sxema bo'yicha hisob-kitoblarni amalga oshirish uchun maxsus dasturlar ishlab chiqiladi. Hisob-kitoblar amalga oshiriladi.

VIII bosqich. Natijalarni tahlil qilish. Olingan natijalarni o'rganish, ularni ma'lum faktlar bilan taqqoslash. Amaliy xulosalar qo'llanilishini tekshirish.

IX bosqich. Modelni takomillashtirish. Olingan natijalarni tahlil qilish asosida matematik modelni aniqlashtirish zarurati aniqlanadi.

Agar kerak bo'lsa, "muhim" toifasiga o'tkaziladigan "muhim bo'lmagan" xususiyatlar omillarining bir qismini qo'shimcha tahlil qilish amalga oshiriladi.

Tegishli asoslash va qaror qabul qilingandan so'ng, i bosqichga o'tish amalga oshiriladi, unda hal qilinadigan amaliy muammo aniqlanadi. Jarayon davriy ravishda takrorlanadi. Shunday qilib, talaba skameykasida allaqachon tadqiqotchi, qoida tariqasida, amaliy muammolarni hal qilishda tizimga, modellar ierarxiyasiga o'tish holati tabiiy ekanligini tushunishi kerak. Ushbu ierarxiyadagi har bir keyingi model o'rganilayotgan muammoni chuqurroq, to'liqroq, har tomonlama tavsiflaydi, bu sizga ilmiy va texnologik taraqqiyotning rivojlanishi uchun matematik modellashtirishdan tobora ko'proq foydali ma'lumotlarni olish imkonini beradi. Masalan, elektrotexnika muhandisi o'zining professional sohasidagi asosiy muammolarni hal qilish uchun elektr zanjirlarining parametrlarini hisoblashi kerak. Bunday holda, biz chiziqli algebra va uning usullaridan foydalanadigan amaliy muammoning misolidan foydalanamiz. Biz yuqorida ta'kidlangan matematik modellashtirish bosqichlariga muvofiq tuzilgan muammoning echimini beramiz.

I bosqich. Tadqiqotchi matnda yuqorida bayon qilingan vazifa ma'lum vazifalar qatoriga kirishini anglatadi. II bosqich. Kasbiy tayyorgarlikdan

o'tgan tadqiqotchi ushbu amaliy muammoning kontseptual modeli elektrotexnika sohasiga tegishli ekanligini biladi. Berilgan parametrlar quyidagi rasmda keltirilgan.

Bu erda

$$R_1 = 15 \text{ Om} \quad E_1 = 60 \text{ B}$$

$$R_2 = 45 \text{ Om} \quad E_2 = 75 \text{ B}$$

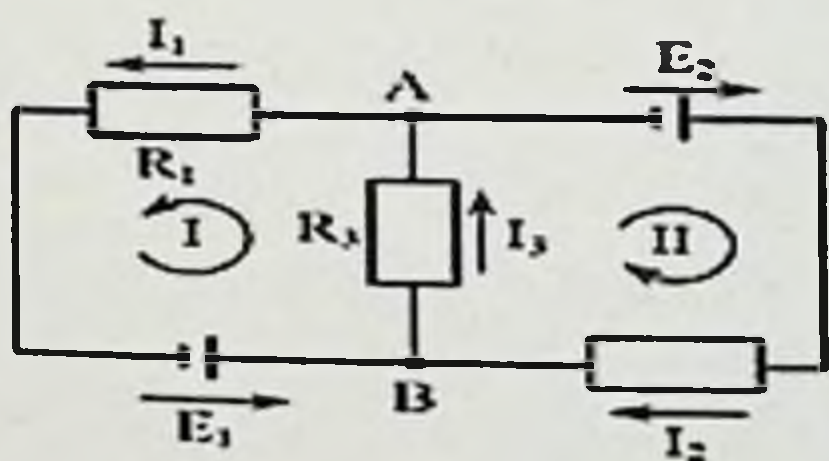
$$R_3 = 450 \text{ m}$$

$I_1, I_2, I_3 - ?$

1-rasm. Amaliy muammoning rasmiylashtirilgan bayoni

Shunday qilib, elektr sxemasi berilgan, rezistorlarning qarshiligi va manbalarning elektromotor kuchi ma'lum. Tok oqimlarni topish talab qilinadi. III bosqich. Elektr normal sharoitda ishlaydi, tashqi ta'sirlarga duch kelmaydi, deb taxmin qilinadi. Shunday qilib, Kirhgof qonunlari elektr zanjirlari uchun adolatli deb taxmin qilinadi. IV bosqich. Muammoning matematik modelini tuzamiz. Biz Kirhgofning birinchi qonunidan foydalanamiz: tugunda birlashadigan oqimlarning yig'indisi nolga teng. IV bosqich. Muammoning matematik modelini tuzamiz. Biz Kirhgofning birinchi qonunidan foydalanamiz: tugunda birlashadigan oqimlarning yig'indisi nolga teng.

$$I_3 - I_1 - I_2 = 0$$



Ikkinchi qonun: mustaqil kontaktlarning zanglashiga olib keladigan kuchlanish pasayishi yig'indisi undagi elektromotor kuchlar yig'indisiga teng.

Birinchi va ikkinchi konturlar uchun tenglamalar mos ravishda bo'ladi:

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 = E_1$$

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2$$

V bosqich. Biz aniq matematik muammoni shakllantiramiz:

Uchta noma'lum bo'lgan uchta chiziqli tenglamalar tizimi berilgan:

$$I_3 + I_1 + I_2 = 0$$

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 = E_1$$

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2$$

Qayerda yechim topish kerak bo'lsa, u erda tok oqimlarining I_1 , I_2 va I_3 qiymatlari mavjud bo'ladi.

VI bosqich. Olingan uchta chiziqli tenglamalar tizimini uchta noma'lum bilan turli usullar bilan hal qilish mumkin, masalan, Gauss usuli yoki Kramer qoidasi bo'yicha. Muammoning yechimini matritsa shaklida yozish oson:

$$M := \begin{pmatrix} 15 & 0 & 45 \\ 0 & 45 & 45 \\ -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}, \vec{b} := \begin{pmatrix} 60 \\ 75 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = M^{-1} \cdot \vec{b}$$

VII bosqich. Raqamli hisob-kitoblar. Gauss usulini qo'llang.

$$\begin{cases} I_3 - I_1 - I_2 = 0 \\ 15I_1 - 45I_3 = 60 \\ 45I_2 + 45I_3 = 75 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = 0.6 \\ I_2 = \frac{8}{15} \\ I_3 = \frac{17}{15} \end{cases}$$

Agar biz matritsa shaklidagi echimdan foydalansak va matematik to'plamni raqamli hisob-kitoblar uchun MATHCADni qo'llasak, keyin hisoblashning odatiy aniqligi bilan (uchta kasr) olamiz:

(Mathcad-bu PTC (Paid-To-Click) – Sayt tomonidan ishlab chiqilgan matematik hisoblash dasturiy mahsuloti).

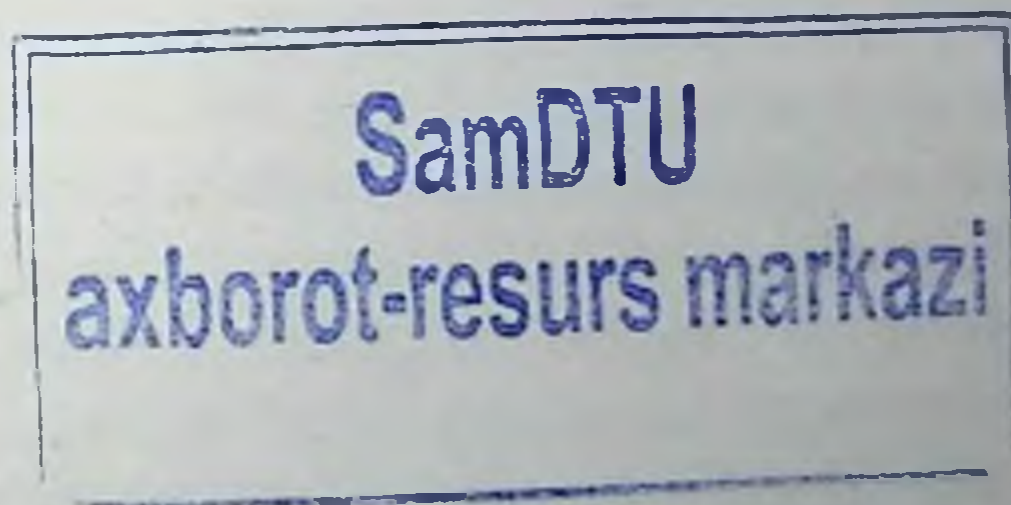
$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = M^{-1} * \vec{b} = \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.533 \\ 1.133 \end{pmatrix}, \delta = \vec{b} - M \gg \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.533 \\ 1.133 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.015 \\ 0.03 \\ 0.0 \end{pmatrix}$$

Va bu erda biz nolga teng bo'lmagan yaxlitlashni texnik hisob – kitoblarida odatiy vaziyatga duch kelmoqdamiz. Tabiiyki, texnik universitetdagi o'qituvchi kelajakdagi muhandislarda taxminiy hisoblash madaniyatini shakllantirish uchun doimo bunga e'tibor berishi kerak. Shuni

ta'kidlash kerakki, kompyuter texnologiyalaridan foydalanish taxminiy hisoblash muammosini bartaraf etmaydi, balki uni yanada kamaytirishni talab qiladi.

VIII bosqich. Hatto bunday oddiy vazifaning natijalarini tahlil qilish ham foydali bo'lishi mumkin. Natijalarni tahlil qilish uchun eng oson savol bu hisoblashning aniqligi. Agar biz talabalarga elektrotexnika sxemasi parametrlarini o'lchashning haqiqiy aniqligini amalga oshirish mumkinligi to'g'risida savol bersak, unda biz muammoli vaziyatni yaratamiz, uning yechimi kelajakdagi elektrotexnika muhandislarining kasbiy malakasini shakllantirishda ijobiy rol o'ynaydi.

IX bosqich. Ushbu misol yordamida matematik modellashtirish usulini dastlabki o'zlashtirishda, ehtimol, ushbu bosqich o'qituvchiga imkon beradi. Bunday holda, talabalardan buyuk ilmiy kashfiyotlar to'g'risida mustaqil ravishda tarixiy ma'lumotnoma tayyorlashni so'rash tavsiya etiladi. Misollar fizika, astronomiya sohalariga ham mos keladi. Tabiiyki, "matematik jihatdan, hisoblash yo'li bilan, "qalam uchida" qilingan kashfiyotlarning bunday misollari talabalarga kuchli hissiy ta'sir ko'rsatadi. Aynan shunday ma'lumotlar kompetentsiyani shakllantirishning motivatsion tarkibiy qismini rivojlantirishga xizmat qiladi. Shunday qilib, amaliy muammolarni hal qilish uchun matematik modellardan foydalanish qobiliyati shakllanadi. Kelajakdagi muhandislik oliy o'quv yurtida matematikani o'qitish jarayonida aniq amaliy muammolarning haqiqiy matematik modellarini qanchalik ko'p o'rgansa, u kelajakdagi faoliyatiga shunchalik professional tarzda tayyorlanadi.



II-BOB. MODELLARNING UMUMIY XUSUSIYATLARI

1. Model "to'rt o'rindiqli dizayn" bo'lib, uning tarkibiy qismlari sub'ektdir; mavzu tomonidan hal qilingan vazifa; obyekt asl va tavsif tili yoki modelni takrorlash usuli. Umumlashtirilgan model tarkibida sub'ekt tomonidan hal qilinadigan vazifa alohida rol o'ynaydi. Vazifa kontekstidan yoki vazifalar sinfidan tashqarida model tushunchasi mantiqiy emas.

2. Har bir moddiy obyekt turli xil vazifalar bilan bog'liq bo'lgan sanoqsiz teng darajada etarli, ammo mohiyatan har xil modellarga mos keladi.

3. Vazifa obyekt juftligi asosan bir xil ma'lumotni o'z ichiga olgan, ammo uni taqdim etish yoki ko'paytirish shakllari bilan farq qiladigan ko'plab modellarga mos keladi.

4. Model har doim faqat asl obyektga nisbatan nisbiydir, taxminiy o'xshashligi va axborot jihatidan ikkinchisidan tubdan kam farq qiladi.

5. Qabul qilingan ta'rifda paydo bo'lgan asl obyektning o'zboshimchalik tabiati shuni anglatadiki, bu obyekt moddiy bo'lishi mumkin, faqat axborot xarakteriga ega bo'lishi mumkin va nihoyat, turli-tuman moddiy va axborot tarkibiy qismlarining majmuasi bo'lishi mumkin. Biroq, obyektning tabiati, hal qilinayotgan muammoning tabiati va amalga oshirish usulidan qat'i nazar, model o'zida axborotlarni aks ettiradi.

6. Muayyan holatda, modellashtirish obyektining tadqiqot yoki amaliy vazifadagi roli to'g'ridan-to'g'ri ko'rib chiqilgan haqiqiy dunyoning bo'lagi emas, balki ma'lum bir ideal dizayn, ya'ni aslida, ilgari yaratilgan va amalda ishonchli bo'lgan boshqa modeldir.

Modellarning xususiyatlari

1) oyoq-qo'l: model asl nusxani faqat uning munosabatlarining cheklangan sonida aks ettiradi va bundan tashqari, modellashtirish resurslari cheklangan;

2) soddalashtirish: model faqat obyektning muhim tomonlarini aks ettiradi;

3) taxminiy: haqiqat taxminan model tomonidan ko'rsatiladi;

4) adekvatlik: modellashtirish obyektini modelni tavsiflashning muvaffaqiyat darajasi;

5) axborot tarkibi: model tizim haqida yetarli ma'lumotni o'z ichiga olishi kerak – modelni qurishda qabul qilingan farazlar doirasida.

2.1. Moddiy va ideal modellar. Modellarning tasnifi

Har bir model uchta xususiyat bilan tavsiflanadi:

- 1) muayyan vazifalar sinfiga tegishli (vazifalar sinflari bo'yicha);
- 2) modellashtirish ob'ektlari sinfini ko'rsatish (ob'ektlar sinflari bo'yicha);
- 3) amalga oshirish usuli (ma'lumotni taqdim etish va qayta ishlash shaklida).

Tasniflashning oxirgi turini batafsil ko'rib chiqing. Shu asosda modellar moddiy va idealga bo'linadi.

Moddiy modellar:

1.1. asl nusxaning fazoviy-geometrik xususiyatlarini masshtab jihatdan, uning qanday bo'lishidan qat'iy nazar (bino va inshootlarning maketlari, o'quv qo'g'irchoqlari va boshqalar) aks ettiruvchi geometrik jihatdan o'xshashdir;

1.2. o'xshashlik nazariyasiga asoslanib, model bilan bir xil tabiatdagi asl nusxaning xususiyatlari va xususiyatlarini makon va vaqt bo'yicha masshtablash bilan takrorlash (gidrodinamik kema modellari, uchish apparatlari modellari);

1.3. to'g'ridan-to'g'ri analoglar tizimi (elektron analog modellashtirishning bir turi) asosida boshqa tabiatning modellashtirish ob'ektida asl ob'ektning o'rganilgan xususiyatlarini takrorlaydigan analog asboblardir.

Oxirgi ikkita fikrni batafsil ko'rib chiqing. Paroxod uchun aylanishlarni to'g'ri tanlash, pervanelni tanlash va vint va korpusning xususiyatlariga mos kelish milning kuchi va aylanish tezligi № 1 muammodir. Aslida, biz korpus – vint – dvigatel tizimining maksimal samaradorlik mezoniga muvofiq kema oqadigan suyuq muhit bilan o'zaro ta'sirini optimallashtirish zarurati haqida gapiramiz. Muammoni empirik ravishda iqtisodiy sabablarga ko'ra hal qilish mumkin emas, u nazariy echimga ham javob bermaydi. Chiqish yo'li keng ko'lamliligi gidrodinamik modellashtirish nazariyasini sintez qilish yo'lida topildi, ya'ni o'xshashlik nazariyasi asosida maxsus havzalarda loyihalashtirilgan kemalarning kichik geometrik o'xshash modellari eksperimental o'rganiladi. Nazariya modelda olingan ma'lumotlarni "tabiat" ga, haqiqiy, ammo hali mavjud bo'lmagan kema xususiyatlari va xususiyatlariga ishonchli o'tkazish imkoniyatini ta'minladi. Bugungi

kunda keng ko'lamli jismoniy modellashtirish usullari o'z ahamiyatini saqlab qolmoqda.

Analog modellashtirish ba'zi bir obyektning xususiyatlari fizik tabiatning asl nusxasidan farqli model yordamida takrorlanishiga asoslanadi. Turli xil tabiatdagi bir qator hodisalar va jarayonlar tuzilishi jihatidan o'xshash matematik ifodalar bilan tavsiflanadi. Shunga o'xshash matematik tuzilmalar tomonidan tavsiflangan turli obyektlarni matematik tavsifda hisobga olingan xususiyatlarga aniqlik bilan bir-birini o'zaro aks ettiradigan bir juft model sifatida ko'rish mumkin, bu holda mos keladigan (o'xshash) parametrlarni bog'laydigan koeffitsientlar o'lchovli miqdorlardir.

Ideal modellar

2.1. norasmiy modellar, ya'ni inson miyasida shakllangan asl obyekt haqidagi g'oyalar tizimlari;

2.2. qisman rasmiylashtirilgan:

2.2.1. og'zaki-ba'zi bir tabiiy tilda asl nusxaning xususiyatlari va xususiyatlarining tavsifi (loyiha hujjatlarining matnli materiallari, texnik tajriba natijalarining og'zaki tavsifi);

2.2.2. grafik nusxaning asl xususiyatlari, Real yoki hech bo'lmaganda nazariy jihatdan to'g'ridan-to'g'ri vizual idrok etish uchun mavjud (badiiy grafika, texnologik xaritalar);

2.2.3. grafik, diagrammalar, diagrammalar ko'rinishidagi kuzatuvlar va eksperimental tadqiqotlar ma'lumotlari;

2.2.4. to'liq rasmiylashtirilgan (matematik) modellar.

Ushbu turdagi modellar va boshqalar o'rtasidagi asosiy farq o'zgaruvchanlikdir tizim xatti-harakatlarining juda ko'p sonli aniq variantlarini bitta belgi tavsifi bilan kodlash. Shunday qilib, doimiy koeffitsientli chiziqli differentsial tenglamalar massa harakatini, tebranish pallasida oqimning o'zgarishini va avtomatik tartibga solish tizimining o'lchash sxemasini va boshqa bir qator jarayonlarni tavsiflaydi. Biroq, bundan ham muhimi shundaki, ushbu tavsiflarning har birida bir xil tenglamalar harf shaklida (va umuman olganda, raqamli) parametrlarning o'ziga xos qiymatlarining cheksiz sonli kombinatsiyalariga mos keladi.

Aytaylik, mexanik tebranish jarayoni uchun massasi va qattiqligining har qanday qiymatlarini ko'rish mumkin.

Ikonik modellarda xususiyatlarni reduktiv ravishda chiqarish mumkin, ulardagi raqamlar soni odatda boshqa turdagi modellarga qaraganda ancha katta. Ular ixcham yozuv bilan ishlash qulayligi, ma'lum bir tarkibdan mavhum shaklda o'rganish qobiliyati bilan ajralib turadi. Bularning barchasi ramziy modellarni eng yuqori bosqich deb hisoblash va ushbu modellashtirish shakliga intilishni tavsiya etish imkonini beradi.

E'tibor bering, modellarni og'zaki, tabiiy va ramziy qismlarga bo'lish ma'lum darajada shartli. Shunday qilib, og'zaki va ramziy konstruktsiyalardan foydalanadigan aralash turdagi modellar mavjud.

Amaliy dasturlar uchun qulay bo'lgan matematik modelning "pragmatik" ta'rifini kiritamiz. Buning uchun biz kibernetikadan taniqli obyektни "qora quti" shaklida taqdim etamiz.

Kibernetik ko'rinishidagi "qora quti" modeli.

Yuqoridagi tizim ta'rifi juda mavhum va tizimning ichki tuzilishi, shuningdek tashqi muhit bilan aloqalar haqida hech narsa aytmaydi.

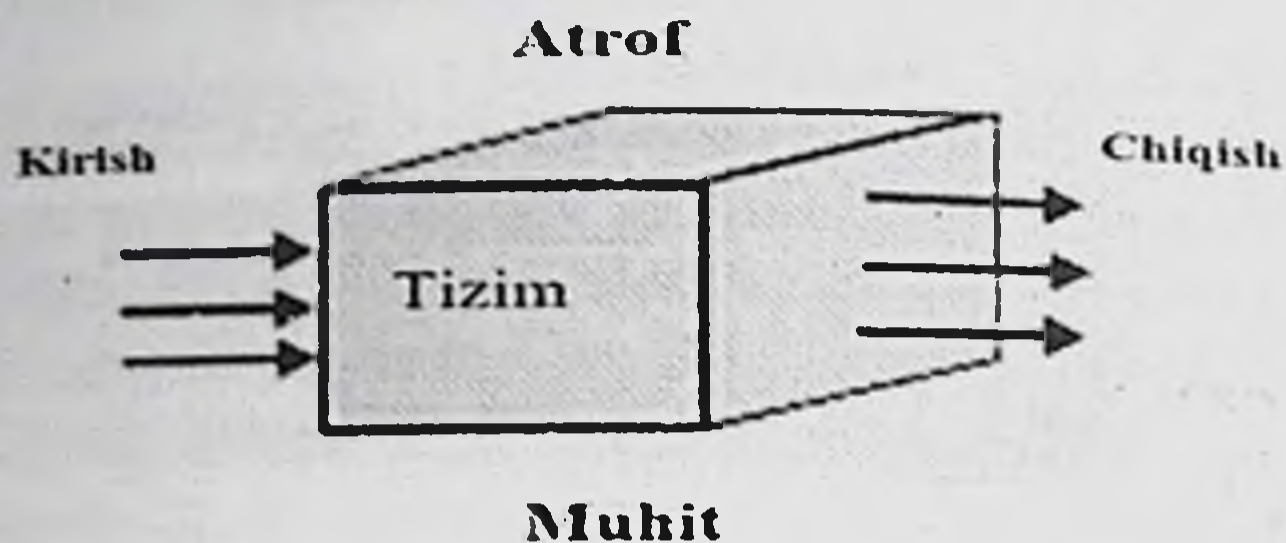
Shunga qaramay, nazariyada va amalda ko'pincha obyekt haqida faqat ba'zi ma'lumotlarga ega bo'lish kifoya. Masalan, biz aniq vaqtning hozirgi raqamli qiymatini bilmasak (muammo aniq vaqtni bilmaslik, maqsad biron bir joyga kechikmaslik), uning ichki tuzilishi va uning ishlashi uchun energiya manbai haqida o'ylamasdan soatga qarash kifoya.

Yuqoridagi misolda soatlarning maqsadi (ularning mavjudligining maqsadi) o'zboshimchalik bilan aniq vaqtni ko'rsatish va shu bilan ularga nisbatan tashqi muhitga ta'sir qilishdir.

Agar siz tizimning birinchi ta'rifiga amal qilsangiz, unda tizim vositadir, shuning uchun ushbu vositaga tashqi muhitdan ta'sir o'tkazish imkoniyati mavjud (harakatni aniqlashtirish, energiya bilan ta'minlash, kuzatish va h.k).

Tizimning tashqi muhit bilan grafik jihatdan belgilangan o'zaro ta'siri 4.1-rasmda.

Bu holda tizimning tarkibi ma'lum emas (yoki tashqi muhit uchun qiziq emas), ammo bu muammoni hal qilish uchun yetarli. Masalan, analgin tabletkasini qabul qilganda, dori tarkibini yoki tanaga ta'sir qilish mexanizmini taqdim etish shart emas, bu holda bosh og'rig'i o'tishi muhimdir.



4.1-rasm. "Qora quti" modeli

Boshqacha qilib aytganda, tizimga kirishda nima kerakligini va undan chiqishda nima bo'lishi kerakligini aniqlash juda muhim va muhim emas – tizim ichida nima bor. Shuning uchun yuqoridagi model ko'pincha "qora quti" modeli deb ataladi.

"Qora quti" tushunchasi U. R. Eshbi tomonidan taklif qilingan. Kibernetikada bu tizimlarning xatti-harakatlarini o'rganishga imkon beradi, ya'ni ularning turli xil tashqi ta'sirlarga reaksiyalari va shu bilan birga ularning ichki tuzilishidan mavhum. Shunday qilib, tizim o'zaro bog'liq elementlar to'plami sifatida emas, balki uning kirish va chiqishlarida atrof-muhit bilan o'zaro ta'sir qiluvchi butun narsa sifatida o'rganiladi. "Qora quti" usuli turli vaziyatlarda qo'llaniladi.

Ushbu usul tadqiqot uchun tizimning ichki jarayonlari mavjud bo'lmaganda qo'llaniladi. Masalan, yangi dorilar faoliyatini o'rganish. "Qora quti" usuli barcha elementlar va ulanishlar prinsipial jihatdan mavjud bo'lgan, ammo ko'p va murakkab bo'lgan tizimlarni o'rganishda qo'llaniladi, bu esa to'g'ridan-to'g'ri o'rganishda katta vaqt va xarajatlarga olib keladi yoki bunday o'rganish har qanday sabablarga ko'ra qabul qilinishi mumkin emas. Masalan, barcha bloklarni, sxemalarni va boshqalarni to'g'ridan-to'g'ri tekshirish orqali emas, balki "qo'ng'iroq qilish" orqali amalga oshiriladigan avtomatik telefon stantsiyasining ishlashiga tayyorligini tekshirish.

"Qora quti" usuli yordamida olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, tizimning tashqi muhit bilan o'zaro ta'sirini oldindan kuzatish va kirish va chiqish ta'sirining ro'yxatini tuzish, ular orasida sezilarli ta'sirlar ajralib turadi. Keyin tizimga ta'sir qilishning mavjud vositalarini va uning xatti-harakatlarini kuzatish vositalarini hisobga olgan holda tadqiqot uchun kirish va chiqishlarni tanlash amalga oshiriladi.

Keyingi bosqichda tizimga kirishlariga ta'sir ko'rsatiladi va uning chiqishi qayd etiladi. O'rganish jarayonida kuzatuvchi va "qora quti" teskari

aloqa tizimini tashkil qiladi va tadqiqotning asosiy natijalari kirish va chiqish holatlarining ko'p juftligidir, ularning tahlili ular o'rtasida sabab – oqibat munosabatlarini o'rnatishga imkon beradi.

Hozirgi vaqtda "qora qutilar"ning ikki turi ma'lum. Birinchi turga har qanday" qora quti " kiradi, uni cheklangan yoki cheksiz deb nomlangan avtomat deb hisoblash mumkin. Bunday "qora qutilar" ning xatti-harakatlari ma'lum.

Ikkinchi turga "qora qutilar" da esa, ularning xatti-harakatlarini faqat tajribada kuzatish mumkin. Bunday holda, ehtimollik ma'nosida "qora quti" xatti-harakatlarining bashorat qilinishi to'g'risida aniq yoki yashirin shaklda gipotezalar bildiriladi. Oldindan gipotezasiz, har qanday umumlashtirish mumkin emas yoki "qora quti" tajribalari asosida induktiv xulosa chiqarish mumkin emas.

Shunday qilib," qora quti " – bu kirish va chiqish qiymatlari ma'lum bo'lgan va uning ichki tuzilishi va unda sodir bo'ladigan jarayonlar ma'lum bo'lmagan tizim. Siz tizimni faqat uning kirish va chiqishlariga qarab o'rganishingiz mumkin, ammo bunday o'rganish tizimning ichki tuzilishi haqida to'liq tasavvurga ega bo'lishga imkon bermaydi, chunki turli xil tizimlar bir xil xatti-harakatlarga ega bo'lishi mumkin.

Shuni ta'kidlash kerakki, "qora quti" modelining kirish va chiqishlarining ko'pligining asosiy sababi shundaki, har qanday haqiqiy tizim, har qanday obyekt singari, tashqi muhit obyektlari bilan cheksiz ko'p marta va har xil sabablarga ko'ra o'zaro ta'sir qiladi. Soat bilan misol quyidagi ma'lumotlar bilan to'ldirilishi mumkin: soat tashqi muhitga turli xil "chiqishlar" ga ega bo'lishi mumkin – taqish qulayligi, mustahkamligi, gigienikligi, aniqligi, go'zalligi, o'lchamlari va boshqalar.

Matematik modelga kiritilgan miqdorlar (endogen va boshqalar)

Murakkab boshqariladigan jarayonlarning matematik modeli turli xil tabiatdagi juda ko'p miqdorlarni o'z ichiga oladi. Ushbu miqdorlarning barchasini tabiiy ravishda uch guruhga bo'lish mumkin:

1) endogen (ichki) yoki fazali; ular kerakli miqdorlardir, ya'ni. model aloqalari tufayli aniqlanishi, hisoblanishi kerak;

2) ekzogen (tashqi) miqdorlar, ular ushbu model doirasida ma'lum bo'lganlarga ishonadilar;

3) boshqaruv organlari ixtiyorida bo'lgan miqdorlar, ular yordamida jarayon davomida ta'sir o'tkazish mumkin.

"Model" so'zining o'zi bu barcha miqdorlar orasidagi bog'lanishlar yig'indisini anglatadi. Agar ushbu bog'lanishlar to'plami ma'lum bir vaqt oralig'ida barcha endogen miqdorlarni aniqlashga imkon bersa, unda

boshqaruvlar, ekzogen miqdorlar, shuningdek, ushbu segment uchun boshlang'ich (va, ehtimol, chegara – fazoviy ma'noda) faza o'zgaruvchilarining qiymatlari ko'rsatilgan bo'lsa, u holda model yopiq deb nomlanadi.

Tashqi va ichki miqdorlarga bo'linish yagona tarzda amalga oshirilmasligi mumkin, u ma'lum darajada shartli bo'lib, modeldan foydalanish usuli va modellashtirish maqsadlari bilan bog'liq.

Uzluksiz va diskret modellar.

Biz, hech bo'lmaganda printsiplial jihatdan, har bir chiqish o'zgaruvchisining kirish o'zgaruvchilariga bog'liqligini tavsiflash uchun ba'zi bir tilda tavsiflarni (masalan, matematika yordamida) belgilash mumkin deb taxmin qilamiz. Simulyatsiya qilingan obyektning kirish va chiqish o'zgaruvchilari o'rtasidagi bog'liqlik, asosan, grafik, analitik, ya'ni umumiy shaklning ba'zi formulalari yoki algoritmik tarzda tavsiflanishi mumkin. Ushbu aloqani tavsiflovchi konstruktsiyani taqdim etish shaklidan qat'i nazar, biz uni kirish-chiqish operatori deb ataymiz va b orqali belgilaymiz.

$M = M(X, Y, Z)$ bo'lsin, bu erda X – kirishlar to'plami, Y – chiqishlar, tizimning Z holatlari. Sxematik ravishda siz buni tasvirlashingiz mumkin: $X Z Y$.

Keling, modellashtirish nuqtai nazaridan turli sinf obyektlarining eng muhim ichki xususiyatlarini ko'rib chiqaylik. Bunday holda, modellashtirilgan obyektning tuzilishi va parametrlari tushunchasidan foydalanish kerak bo'ladi. Tuzilish deganda obyekt ichidagi modelda hisobga olingan komponentlar va bog'lanishlar to'plami tushuniladi va obyekt tavsifi rasmiylashtirilgandan so'ng uning kirish va chiqish o'zgaruvchilarini bog'laydigan matematik ifoda turi tushuniladi (masalan: $y = au + bv$). *Parametrlar*-bu qabul qilingan struktura tomonidan aks ettirilgan obyektning ichki xususiyatlarining miqdoriy xususiyatlari va rasmiylashtirilgan matematik modelda ular strukturani tavsiflovchi ifodalarga kiritilgan koeffitsientlar (doimiy o'zgaruvchilar) (a va b).

Uzluksizlik va diskretlik. O'zgaruvchilari (agar kerak bo'lsa, vaqtni o'z ichiga olgan holda) bir-biriga yaqin bo'lgan son-sanoqsiz qiymatlarni qabul qilishi mumkin bo'lgan barcha obyektlar doimiy deb nomlanadi. Holati faqat makroskopik fizik miqdorlar (harorat, bosim, tezlik, tezlanish, oqim kuchi, elektr yoki magnit maydonlarning intensivligi va boshqalar) bilan tavsiflanadigan haqiqiy fizik va nazariy obyektlarning aksariyati

uzluksizlik xususiyatiga ega. Bunday obyektlarni etarli darajada tavsiflovchi matematik tuzilmalar ham uzluksiz bo'lishi kerak. Shuning uchun bunday obyektlarni model tavsiflashda asosan differentsial va integral-differentsial tenglamalar apparati qo'llaniladi. O'zgaruvchilari ma'lum qiymatlardan oldin deyarli har doim cheklangan sonni olishi mumkin bo'lgan obyektlar diskret deyiladi.

Misollar: Rile –kontaktlarini almashtirish sxemalari, ATS kommutatsiya tizimlari. Diskret obyektlarni rasmiylashtirilgan tavsiflashning asosi matematik mantiq apparati (mantiqiy funktsiyalar, mantiqiy algebra apparati, algoritmik tillar). Kompyuterlarning rivojlanishi tufayli diskret tahlil usullari uzluksiz obyektlarni tavsiflash va tadqiq qilish uchun ham keng qo'llanildi.

Uzluksizlik va diskretlik xususiyati holat parametrlari, jarayon parametri va tizimning kirishlari, chiqishlari tegishli bo'lgan to'plamlar (to'plamlar) tarkibida ifodalanadi. Shunday qilib, z , T , X , Y to'plamlarining diskretligi diskret deb ataladigan modelga, ularning uzluksizligi esa doimiy xususiyatlarga ega modelga olib keladi. Kirishning diskretligi (tashqi kuchlarning impulslari, ta'sirlarning tezligi va boshqalar) umuman olganda modelning diskretligiga olib kelmaydi. Diskret modelning muhim xususiyati tizim holatlari sonining cheksizligi va chiqish xarakteristikalari qiymatlari sonidir. Birinchi holda, model diskret terminal deb ataladi. Modelning diskretligi ham tabiiy shart (tizim o'z holatini va chiqish xususiyatlarini keskin o'zgartiradi), ham sun'iy ravishda kiritilgan xususiyat bo'lishi mumkin. Ikkinchisining odatiy misoli doimiy matematik funktsiyani belgilangan nuqtalarda uning qiymatlari to'plamiga almashtirishdir.

2.2. Deterministik va stoxastik modellar.

Determinizm yoki stoxastiklik. Agar modelda miqdorlar orasida tasodifiy bo'lsa, ehtimollik xususiyatlari bilan belgilanadi, keyin model stoxastik (ehtimollik, tasodifiy) deb nomlanadi. Bunday holda, modelni ko'rib chiqishda olingan barcha natijalar stoxastik xususiyatga ega va shunga mos ravishda talqin qilinishi kerak.

Bu erda biz amaliyot nuqtai nazaridan deterministik va stoxastik modellar o'rtasidagi chegara noaniq ko'rinishini ta'kidlaymiz. Shunday qilib, har qanday o'lcham yoki massa haqida texnikada biz bu aniq qiymat emas, balki matematik kutish turining o'rtacha qiymati deb aytishimiz mumkin, shuning uchun hisoblash natijalari faqat o'rganilayotgan

qiymatlarning matematik taxminlarini aks ettiradi. Biroq, bunday qarash haddan tashqari ko'rinadi. Qulay amaliy usul shundan iboratki, belgilangan qiymatlardan kichik og'ishlarda model deterministik hisoblanadi va natijaning og'ishi uning sezgirligini baholash yoki tahlil qilish usullari bilan tekshiriladi. Muhim og'ishlar bilan stoxastik tadqiqot metodologiyasi qo'llaniladi.

2.3. Markazlashtirilgan va taqsimlangan modellar.

Konsentratsiya yoki taqsimot obyektlarni fazoviy kengayish (fizik jarayonlarning tarqalish tezligi fonida) ularning model tavsifida o'ynaydigan roli nuqtai nazaridan tavsiflaydi. Agar obyektning fazoviy uzunligini e'tiborsiz qoldirib, mustaqil o'zgaruvchi faqat vaqt (unda sodir bo'ladigan jarayonlar) deb hisoblash mumkin bo'lsa, konsentrlangan parametrlarga ega obyekt haqida gapirish odatiy holdir. Oddiy differentsial tenglamalar bilan tavsiflangan bunday obyektlar (determinizm va uzluksizlik holatida) mexanizmlar, mashinalar va umuman mahalliy texnik qurilmalarning katta qismini o'z ichiga oladi (komponentlar orasidagi masofalar o'rganilayotgan xususiyatlar va xususiyatlarga deyarli ta'sir qilmaydi). Fazoviy kengaytirilgan obyektlarda etarli tavsif nafaqat vaqtni, balki fazoviy koordinatalarni ham hisobga olishni talab qiladi. Bunday holda, ular taqsimlangan parametrlarga ega obyektlar sinfi haqida gapirishadi. Misollar: har xil "uzun chiziqlar" telegraf tenglamasi deb ataladigan simli aloqa liniyasi, uzun quvurlar, uzluksiz kosmosdagi texnologik chiziqlar. Elektromagnit maydon o'zining umumlashtirilgan matematik modeli-Maksvell tenglamalari bilan taqsimlangan parametrlarga ega bo'lgan uch o'lchovli obyektning klassik namunasi. Taqsimlangan parametrlarga ega bo'lgan uzluksiz va deterministik obyektlar qisman differentsial tenglamalar bilan tavsiflanadi.

2.4. Statik va dinamik modellar

Statik va dinamik modellar. Statik modellar vaqt o'tishi bilan deyarli o'zgarmaydigan yoki alohida vaqt bo'limlarida ko'rib chiqiladigan obyektlarni anglatadi. Dinamik modellar tashqi va ichki omillarni hisobga olgan holda obyektning holatidagi o'zgarishlarni ("harakat") takrorlaydi.

Dinamik modellar uchun ko'pincha statsionar va statsionar bo'lmagan tushunchalar kiritiladi. Ko'pincha, statsionar ba'zi fizik miqdorlarning vaqt o'tishi bilan o'zgarishsizligida ifodalangani: statsionar suyuqlik oqimi doimiy

tezlikda, mexanik tizim statsionar bo'lib, unda kuchlar faqat koordinatalarga bog'liq lekin vaqtga bog'liq emas.

Statsionar obyekt, umuman olganda, obyekt tuzilishi va parametrlarining o'zgarishini anglatadi. Shuning uchun u faqat doimiy koeffitsientlarni o'z ichiga olgan ifoda bilan tavsiflanadi. Beqarorlik parametrlarga nisbatan, tuzilishga nisbatan va bir vaqtning o'zida sodir bo'lishi mumkin. Ko'pincha parametrlarga nisbatan mahalliy holat mavjud, ya'ni o'zgaruvchan koeffitsientli obyekt ko'rib chiqiladi, bu esa tadqiqotni murakkablashtiradi. O'zgaruvchan strukturaning sezilarli darajada beqaror obyektlarini tavsiflash uchun umumiy nazariya va maxsus matematik apparat hali mavjud emas. Bunday obyektlarni o'rganish rasmiylashtirilgan matematik protseduralarni evristika va aql-idrok bilan birlashtirgan, shuningdek parchalanish va keyinchalik xususiy echimlarni birlashtirish usulidan keng foydalanadigan amaliy tizimlarni tahlil qilishning ba'zi usullari asosida amalga oshiriladi.

2.5. Matematik modellarning etarliliigi va samaradorligi

Asl obyektga zarur va etarli darajada muvofiqligi yoki modelning yetarliligi masalasi model metodologiyasi sohasidagi eng muhim masalalardan biridir. Samaradorlik deganda amaliy yordam dasturi tushuniladi. Modellashtirish jarayoni muqarrar ravishda bir-biriga qarama-qarshi bo'lgan ikkita tendentsiyaning dialektik o'zaro ta'siri sharoitida davom etadi. Bir tomondan, tadqiqotchi har doim obyektning xususiyatlari va xususiyatlarini modelda iloji boricha to'liq va aniqroq takrorlashga intiladi. Ushbu yondashuvning muqarrar natijasi murakkablikning oshishi bo'lib, u o'zgaruvchilar sonida, hisobga olingan aloqalar va ta'sirlar sonida, dastlabki ma'lumotlarning aniqligiga bo'lgan talabning oshishi va boshqalarda namoyon bo'ladi. Aynan shu tomon – modelning asl obyektga to'liq muvofiqligi talabi aksariyat falsafiy asarlarda ta'kidlangan va hatto ba'zi mualliflar tomonidan modelning mukammalligi o'lchovi sifatida ko'rib chiqilgan. Biroq, amaliyot inkor etib bo'lmaydigan darajada ko'rsatdi: modelning samaradorligi uning murakkabligiga teskari bog'liq bo'lib, ikkinchisining o'sishi bilan tezda pasayadi.

To'liqlikning eng yaxshi kombinatsiyasini matematik tarzda aniqlash-bir tomondan yaratilgan modelning aniqligi va boshqa tomondan soddaligi, hisobga olinadigan omillarning aksariyati rasmiylashtirilmaganligi va noaniqligi tufayli deyarli mumkin emas.

Vazifa-obyekt juftligi asosan hisobga olinadigan obyekt o'zgaruvchilarining nomenklaturasini belgilaydi; modelga kiritilgan

parametrlar, ular orasidagi bog'lanishlarning soni va tabiati, ma'lumotlarning to'g'riligiga qo'yiladigan talablar va modelning boshqa bir qator muhim xususiyatlariga ega. Matematik apparat hozirda samaradorlikning hal qiluvchi omili bo'lib qolmoqda. Modelning samaradorligi, shuningdek, tadqiqotchi – ijrochining kasbiy fazilatlari va tayyorgarlik darajasi kabi sub'ektiv momentga bog'liq.

Shunday qilib, xulosa qilish mumkin: har qanday modelning amaliy jihatdan eng yaxshi sifati yoki samaradorligiga modelning asl nusxaga yaqinligi (yetarliligi) va modelning maqsadga muvofiq foydalanish imkoniyati va qulayligini ta'minlaydigan soddaligi o'rtasida oqilona kelishuv sifatida erishiladi; amalda modelning haddan tashqari aniqligi uning to'liq emasligi bilan barobardir.

O'rganilayotgan jarayon yoki obyektning matematik modeli butun tadqiqotning asosidir. Shunga qaramay, bugungi kunda dunyodagi haqiqiy jarayonlar va hodisalarni modellashtirish bo'yicha ilm-fan mavjud emas – xuddi kashfiyotlar, ixtirolarni qanday amalga oshirish, ilmiy izlanishlarning yangi usullarini yaratish haqida fan yo'q. Hatto matematika ham boshqa fanlarga qaraganda deduksiyadan ko'proq foydalanadigan fanlardan biri bo'lib, uning taraqqiyoti sezgi, taxmin, fantaziya kabi "ilmiy bo'lmagan" usullarga muhtojdir. Haqiqat obyektlari va hodisalarini modellashtirish (bugungi kunda) san'at darajasida ifodalaydi va tajriba orqali o'rgatiladi. Insoniyat bunday tajribaga ega. Bu tabiatshunoslik klassiklarining tajribasi, o'z maqsadlari uchun matematik apparatdan foydalanadigan tabiiy fanlar vakillarining tajribasi va boshqalar.

Har holda, modelning sifati ko'p jihatdan tadqiqotchining o'rganilayotgan jarayonning mohiyatini, fizikasini tushunish va uning etarli matematik tavsifini yaratish qobiliyatiga bog'liq. Matematika o'rganilayotgan yoki boshqariladigan jarayon murakkablashganda o'ziga jalb qiladi. Murakkablik odatda uni tavsiflovchi juda ko'p sonli xususiyatlar va ular orasidagi ko'plab aloqalardan iborat. Va vazifa nafaqat o'rganilayotgan jarayonning yetarli matematik tavsifini, ya'ni uning modelini yaratish, balki u bilan ishlash metodologiyasini ishlab chiqishdir. Noqulay ko'p parametrli modellar bilan tadqiqot o'tkazish qiyin, shuning uchun matematiklar haqiqiy jarayonni rasmiylashtirishda, ularning fikriga ko'ra, unchalik muhim bo'lmagan aloqalarni olib tashlashga, matematik tavsifni buzishga majbur bo'lishdi. Tadqiqotchini qiziqtirgan savollar nuqtai nazaridan nima muhimligini, aniqlash uchun ajoyib sezgi bo'lishi kerak. Biroq, jiddiy amaliy muammolarni hal qilishda faqat kichik bir guruh tadqiqotchilarning sezgi va tajribasiga tayanish mumkin emas, u

tasvirlangan model va voqelikning etarliligini, uni qo'llashning mumkin bo'lgan sohasini va tadqiqot uchun mos bo'lgan bir qator masalalarni yuqori darajadagi ishonchlilik bilan aniqlashga imkon beradigan usul kerak. To'plangan tajriba va uning asosida ishlab chiqilgan ba'zi printsiplardan, shuningdek ularning asosida tasdiqlangan yoki o'rnatilgan qoidalardan foydalangan holda o'rganilayotgan jarayonlarning modellarini yaratishga, ularni tahlil qilishga va ulardan keyingi foydalanish usullarini aniqlashga imkon beradigan "bilim tizimi" zarur.

2.6. Tasodifiy hodisalar va jarayonlarni modellashtirish

1. Tajriba natijalarining statistik tahlili
2. Tasodifiy hodisalar
3. Katta sonlar qonuni
4. Binomial taqsimot va Puasson taqsimoti

Har qanday matematik model berilgan ma'lumotlarga asoslanadi. Matematik modelning haqiqiy obyektga muvofiqligi taqdim etilgan ma'lumotlarning aniqlik darajasiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun, kuzatish yoki eksperimental usul orqali to'plangan ma'lumotlar haqiqatga qanchalik yaqin bo'lsa, ularga asoslangan matematik model ham haqiqatga yaqinroq bo'lishi mumkin. Kuzatishlar yoki tajribalar orqali to'plangan ma'lumotlar haqiqatga yaqin ekanligini tekshirish uchun bir nechta ehtimollik nazariyasi yoki matematik statistika usullari mavjud.

Bunday usullarga tasodifiy hodisalarni tahlil qilish, taqsimot qonuni bo'yicha tasodifiy o'zgaruvchilarni aniqlash usuli, tasodifiy o'zgaruvchilarning matematik kutilishini aniqlash, taqsimot qonunlarini statistik baholash, korrelyatsiya nazariyasi, statistik gipotezalarni statistik tekshirish, Markov zanjirlari nazariyasi, tasodifiy funksiyalar nazariyasi va boshqalar kiradi. Berilgan hodisalarning har biri, agar u tasodifiy bo'lsa, sodir bo'lish ehtimoli bor-yo'qligini aniqlash uchun berilgan taqsimot qonuni tahlillarni o'tkazishning ma'nosi, berilgan tahlil asosida ma'lum bir haqiqatga yaqin farazlarni ilgari surish va ular asosida matematik modelni yaratishdir. Albatta, bizda yuqorida aytib o'tilgan barcha usullarni ko'rib chiqish imkoniyati yo'q, lekin misol sifatida biz ba'zilarini ko'rib chiqishimiz mumkin. Masalan, ko'l suvining pH qiymatini tahlil qilish zarurati tug'ilsin. Suv ko'lning 20 ta tasodifiy, ixtiyoriy joylaridan tahlil qilish uchun olingan. Shu bilan birga, quyidagi ma'lumotlar to'plangan:

1-Jadval.

Testlarni o'tkazish tartibi

№ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20.

Har bir testda

pH 2 1 4 6 5 3 1 2 1 3 7 3 4 2 3 4 2 3 6 3

Ushbu jadval shuni ko'rsatadiki, 20 ta namunada: pH = 1 chi bor 3 marta, 2 chi bor 4 marta, 3 chi bor 6 marta, 4 chi bor 3 marta, 5 chi bor 1 marta, 6 chi bor 2 marta, 7 chi bor 1 marta. Ushbu ma'lumotlarga asoslanib, biz quyidagi tarqatish jadvalini tuzishimiz mumkin: bu holda X testdagi pH miqdorini, 20 marta o'tkazilgan testlarda pH qiymatlarining n paydo bo'lish chastotasini ko'rsatadi:

2-Jadval

X 1 2 3 4 5 6 7,

N 3 4 6 3 1 2 1,

Ushbu jadvaldan ko'rinib turibdiki, biz tekshirayotgan ko'l suvining pH qiymati taxminan 3 ga teng. Chunki bu m qiymati 20 ta testda 6 marta uchraydi. Agar biz ushbu ko'lda pH=3 suv qiymatini olsak, bu g'oya haqiqatga yaqin bo'lar edi. Ushbu g'oyaning to'g'riligiga ishonch hosil qilish uchun biz yuqoridagi 2 jadval taqsimotining nisbiy kattaligini yozishimiz mumkin, ya'ni har bir o'zgarish ehtimoli pH qiymati uchun quyidagi taqsimot (p):

3-Jadval

x: 1 2 3 4 5 6 7

p: 0,15 0,2 0,3 0,15 0,05 0,1 0,05

Nazorat: $0.15+0.2+0.3+0.15+0.05+0.1+0.05=1.0$

Ushbu jadvaldan ko'rinib turibdiki, pH=3 qiymati pH ning boshqa qiymatlariga nisbatan eng katta ehtimoliga ega. Shunday qilib, biz ko'l suvida pH=3 deb faraz qilamiz. Bu tajribalar natijalariga asoslangan ko'l suvining olingan qiymatlarini statistik tahlil qilish natijasidir. Agar biz ko'zlarimizga nafaqat pH qiymatini, balki bir necha o'nta parametrlarni kuzatishni ham taqdim etsak va testlar soni bir necha mingga yaqin bo'lsa, unda biz 2 va 3-jadvallarni ko'rish qanchalik muhimligini ko'rishimiz mumkin. Bularning barchasi ma'lum qiymatlar bilan biron bir harakatni amalga oshirib, ular asosida kerakli ish farazlarini aniqlash uchun amalga oshiriladi. Ehtimollar nazariyasi tilida har qanday natija, bir martalik test

deb ataladi. Agar voqea faqat bitta natijaga ega bo'lsa, unda bunday hodisaning boshlanishi ma'lum bir voqea deb ataladi. Agar murakkab shart yaratilganda hodisa ro'y bermasa, u sodir bo'lmaydigan hodisa deb ataladi. Bunday hodisalar mavjud bo'lib, ular sodir bo'ladimi yoki yo'qmi, oldindan ma'lum emas, bunday hodisalar tasodifiy hodisalar deb ataladi. Tasodifiy hodisalar lotin bosh harflari bilan belgilanadi. Sinovda faqat bitta voqea sodir bo'lganda, tasodifiy hodisalar umumiy emas deb hisoblanadi. Masalan, tanga tashlanganda, Gerbning tomoni yoki yozuvli tomoni tushadi. Ushbu misolda gerb va yozilgan tomon bilan bog'liq voqealar umumiy bo'lmagan hodisalarga misoldir. Voqealar testning ma'lum bir nuqtasida sodir bo'lganda, bunday hodisalar hamrohlik qiluvchi hodisalar deb ataladi. Yog'ingarchilik va yuqori namlik hodisasi, qor yog'ishi va havoning sovishi, quyosh chiqishi va havoning isishi hamroh bo'lgan hodisalarga misoldir. Aytish mumkinki, har qanday tasodifiy hodisa oldindan, voqea bilan bog'liq bo'lgan ishonch yoki ehtimollik bilan sodir bo'ladi. Bunday holda, a hodisasi sodir bo'lish ehtimoli obyektiv ravishda mumkin bo'lgan raqamli qiymat bir martalik testda $P(a)$ belgisi bilan aniqlanadi. Klassik ta'rifga ko'ra, hodisa ehtimoli uning testda paydo bo'ladigan raqamli qiymati (m) ning testlar soniga (n) nisbati bilan belgilanadi:

$$P(A) = \frac{m}{n}$$

Masalan, qutida 5 ta oq to'p va 10 ta qora to'p bor. Bitta shar tasodifan qutidan chiqariladi. Olingan sharning oq bo'lishi ehtimoli qanday? Havo sharlarining umumiy soni 15 ga teng, ulardan 5 tasi oq, shundan kelib chiqadiki, ularning 15 tasi ($n=15$) ($m=5$) testda kutilgan hodisaga imkon berishi mumkin, ya'ni bir martalik testda oq havo shari faqat $5/15 = 0.33$ bo'ladi. Bundan ko'rinib turibdiki, imkonsiz hodisalar sonining ko'payishi bu hodisaning sodir bo'lish ehtimolini oshiradi. Ehtimollikni aniqlash "klassik" ta'rifdan kelib chiqadi, unga ko'ra ehtimollik qiymati 0 dan 1 gacha birliklarda tavsiflanadi: Testlar umumiy sonning % sifatida ham tavsiflanishi mumkin. Albatta sodir bo'ladigan hodisaning ehtimoli 1 ga teng va sodir bo'lmasligi kerak bo'lgan hodisaning ehtimoli 0 ga teng. Ehtimollik bu aksiomatik xususiyatdan kelib chiqadi, ya'ni sodir bo'lishi mumkin va bo'lmasligi mumkin bo'lgan hodisalarning ehtimollik yig'indisi 1 ga teng, ya'ni $P(A)+P(\bar{A})=1$.

Belgilanishni soddalashtirish uchun quyidagi belgilar qabul qilindi: $P(A)=p$ va $P(\bar{A})=q$, bu erda $p+q=1$. Sinov o'tkazilishidan oldin ko'rsatilgan

yoki hisoblangan ehtimollik apriori ehtimollik deb ataladi. Masalan, tanga tashlashda Gerbning yon qismini yoki yozuvni tushirish. Ikkala holatda ham $p=q=1/2$ ehtimoli bir xil bo'lgan ikkita holat mavjud. Yana bir misol, men har xil miqdordagi preparatning tanamga ta'sirini o'rganganman. Bunday holda, sinovdan oldin preparatning tanaga ta'siri haqida gapirish mumkin emas. Turli xil holatlarning paydo bo'lish ehtimoli faqat tajribadan keyin ko'rsatilishi mumkin. Bunday ehtimolliklar posterior ehtimolliklar deb ataladi. Bundan tashqari, kuzatuvlarga asoslangan hisoblangan ehtimollik statistik ehtimollik deb ataladi. Ko'p sonli tajribalar va kuzatishlar shuni ko'rsatadiki, n-testlar soni oshgani sayin, tasodifiy hodisalarni kutish chastotasi (statistik ehtimollik) ularning paydo bo'lish ehtimoliga (klassik ehtimollik) yaqinlashadi. Buni quyidagi jadvalda ko'rish mumkin, bu tanga tashlangandagi tajribalar natijasini beradi.

Gerbning yon tomonidagi tomchilar soni klassik ehtimollikdagi uchrashuv hodisasi ehtimolidan farq qiladigan testlar soni.

Testni o'tkazdi	kim	Testlar soni	Gerbning orqa tomoni tushishlar soni	To'qnashuv hodisasi ehtimoli	Klassik ehtimollikdan farq
Buffonning Tajribalari		4040	2048	0.5069	0.0069
Pearson: 1	1	12000	6019	0.5016	0.0016
tajriba 2 tajriba		24000	12012	0.5005	0.0005

Quyidagi jadvaldan ko'rinib turibdiki, testlar soni oshgani sayin kuzatuv natijalarining mos kelishi ularning klassik etimologiyadan farqini kamaytirishda davom etadi ($r=0,5$). Ushbu misolda siz katta sonlar qonunining ta'sirini ko'rishingiz mumkin. Chebishevlar tomonidan yaratilgan Y. Bernuli (1713) ning katta sonlar qonuni nazariyasi. Ushbu qonunda aytilishicha, agar testlar soni cheksiz ko'payishda davom etsa, unda (m/n) hodisasi sodir bo'lish ehtimoli uning klassik ehtimoliga yaqinlashadi. Hodisa (m/n) qabul qilish ehtimoli r dan farq qiladi, chunki sharlar soni urinishlar soniga qarab oldindan belgilangan har qanday ijobiy nuqtadan kattaroq bo'ladi:

$$P\{|m/n-p| > \varepsilon\} \rightarrow 0$$

$n \rightarrow \infty$

Tabiatda ushbu qonunni tasdiqlovchi ko'plab misollar mavjud. K.I.Maksning talqinicha *bunday tasodifiy hodisalarda ichki qonunlar va ularni boshqarish, ular juda katta massalarni qamrab olgan paytda ko'rinadi.*

Binomial taqsimot. Qaysi tajribada a hodisasining sodir bo'lish ehtimoli doimiy bo'lishi sharti bilan, bir-biriga bog'liq bo'lmagan testlarga nisbatan n marta sodir bo'lgan voqealar bir-biriga mos kelishi taxmin qilinadi. Bunday holda, faqat ikkita alohida natija paydo bo'lishi mumkin: a hodisasi yoki unga teskari hodisaning paydo bo'lishi, bu q bilan sodir bo'lishi mumkin bo'lgan doimiy ehtimollikdir, bu erda $p+q=1$. Bunday holda, a hodisasi m marta, a hodisasi esa $n-m$ marta hosil bo'ladi. Ushbu hodisalarning har birini n ga tehg bo'lib $P^m q^{n-m}$ ehtimoli ifodasidan, ular qaysi navbatda bo'lishidan qat'i nazar - binomial koeffitsient quyidagicha yozilishi mumkin:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

$$P_n(m) = C_n^m P^m q^{n-m}$$

Ushbu formula (Bernulli formulasi) kutilgan hodisaning ehtimolini hisoblash imkoniyatini « m » ni beradi, tasodifiy ravishda olingan ehtimollik asosida N mavjud bo'lsin.

misol. Tug'ilgan 5 boladan 0.1.2.3.4.5 o'g'il tug'ilish ehtimoli sifatida hisoblansin. Har bir testda o'g'il tug'ilish ehtimoli $A(P)$ (yoki qiz tug'ilish ehtimoli $A(\bar{P})$ (bir xil 0,5). Ammo tug'ilgan 5 boladan bitta o'g'il bo'lmasligi ehtimoli bor:

uning o'g'il bo'lish ehtimoli 1 dan 5 gacha

$$P_5(1) = \frac{5!}{1!4!} (0.5)^1 \cdot (0.5)^4 = \frac{120}{1 \cdot 24} \cdot 0.5 \cdot 0.0625 = 0.15625$$

Shuning uchun:

$$P_5(2) = \frac{5!}{2!3!} (0.5)^2 \cdot (0.5)^3 = 10 \cdot 0.25 \cdot 0.125 = 0.3125$$

$$P_5(3) = \frac{5!}{3!2!} (0.5)^3 \cdot (0.5)^2 = 10 \cdot 0.25 \cdot 0.125 = 0.3125$$

$$P_5(4) = \frac{5!}{4!1!} (0.5)^4 \cdot (0.5)^1 = 0.15625$$

$$P_5(5) = \frac{5!}{5!0!} (0.5)^5 \cdot (0.5)^0 = 0.03125$$

Ushbu shartlarni bugalteriya kitoblari orqali tekshirish mumkin:

$\sum_{m=0}^5 P_n(m) = 1$ Bu hisoblangan ehtimolliklar to'plami:

$P(0), P_n(1), \dots, P_n(m)$ – bu esa binomial taqsimotini hosil qiladi. Binomial taksometr n marotiba katakchasini sinab ko'rish paytida sodir bo'ladimi yoki yo'qmi, ehtimollik qiymatlarini qatorga qo'yishiga aytiladi. Bu erda quydagi formulani ko'rishimiz mumkin.

$$\sum_{m=0}^n P_n(m) = (p + q)^n$$

Masalan $n=2$ bo'lganda

Test natijalari AA AA AA AA - natijalar ehtimoli p^2 pq qp q^2 yoki

$(p+q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$. $n=3$. ehtimolliklar $n=3$ bo'lganda korrelyatsiya qilingan testda quyidagicha taqsimlanishi mumkin,

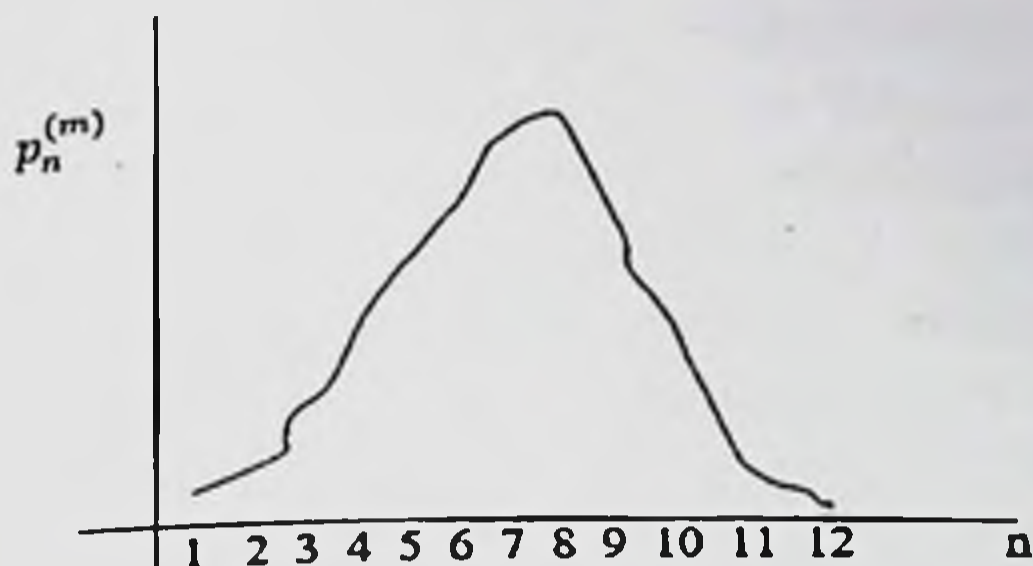
$$(p+q)(p + q)^2$$

$$(p + q)^3 = p^3 + 3p^2q + 3pq^2 + q^3$$

Bundan kelib chiqadiki, binomial taqsimot qonuni faqat Bernulli formulasi yoki Nyuton binomi yordamida yozilishi mumkin:

$$(p+q)^n = p^n + np^{n-1}q + \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} p^{n-2}q^2 + \dots + q^n.$$

Binomial egrilik grafigining umumiy ko'rinishi:



Poisson Taqsimoti. Binomial egrilikning tabiati ikkita miqdor bilan belgilanadi: testlar soni n ga teng va kutilgan natija yuqori. $p = q$ holatida binomial egrilik aniq nosimmetrikdir va testlar soni oshgani sayin egrilik silliq bo'lib, uning chegarasi - normal egrilikka intiladi. Agar $q > p$ to'liqini binomial egrilik bo'lsa, p va q farqining oshishi bilan assimetrik bo'lsa, unda assimetriya darajasi ham chegaralardan tashqariga chiqadi. P va Q s juda kichik va yuz ming birlikdan bittasini tashkil qilganda esa assimetriya darajasi yanada oshishini ko'rish mumkin. Juda kam uchraydigan bunday holatlarni o'rganishda Puasson taqsimoti juda qulaydir:

$$p_n(m) = \frac{a^m}{m!} e^{-a} = \frac{a^m}{m! e^a}$$

Bunday holda, $a \approx np$ kutadigan hodisaning chastotasi ehtimollikdan kattaroqdir (kutilgan hodisa ko'p marta qaytarilishi mumkin), kutilayotgan hodisaning chastotasi o'zaro bog'liq bo'lmagan testda n ga teng, $e / 7183.2$ tabiiy logarifmga asoslangan! faktorial yoki tabiiy raqamli bog'lanish: 321 m. Poisson formulasi 0 dan n gacha bo'lgan har qanday a qiymati uchun ehtimollikni hisoblab chiqadi. masalan, 2-qator holatida satr quyidagi shartlar bilan beriladi: bunday bo'lmisligi ehtimoli:

$$P_2(0) = \frac{2^0}{0! e^2} = \frac{1}{2.7183^2} = 0.1353$$

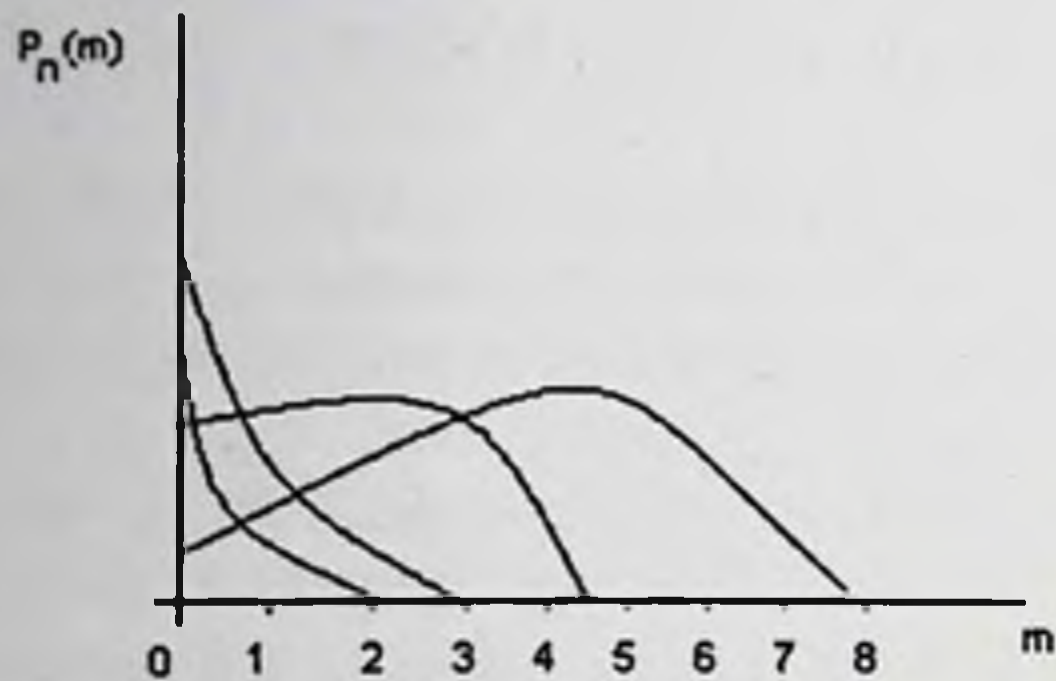
1 yuzaga kelish ehtimoli kutilayotgan hodisa :

$$P_2(1) = \frac{2^1}{1! e^2} = 0.2707$$

2 yuzaga kelish ehtimoli kutilayotgan hodisa :

$$P_2(2) = \frac{2^2}{2! e^2} = \frac{4}{2 \cdot (2.7183)^2} = \frac{4}{14.778} = 0.2707 \text{ va hokozo.}$$

Puasson taqsimoti binomial taqsimotga nisbatan xususiydir. Shuningdek, u berilgan qiymatning NP ortishi bilan binomial taqsimotiga o'xshash normal taqsimotga intiladi. Puasson taqsimoti grafik katlamida ko'rsatilishi mumkin.



Bu erda: 1) $a=0,1$;

2) $a=0,5$;

3) $a=1$;

4) $a=5$.

2.7. Modellarni qurishning umumiy mantig'i

1) modelni o'rganish, boshqa har qanday ongli maqsadli faoliyat kabi, muammoning paydo bo'lishi bilan boshlanadi – ma'lum bir sohadagi mavjud yoki kutilayotgan vaziyatni yaxshi tomonga o'zgartirish zarurati. Muammoning manbai bu sohaning oldingi rivojlanishi yoki tashqi omillardir.

2) muammoni tushunish yoki konkretlashtirish muammoni hal qilish bo'yicha kelajakdagi faoliyatning istalgan natijasi sifatida maqsad yoki maqsadlar tizimini shakllantirishga olib keladi.

3) maqsad unga erishishning haqiqiy imkoniyatlari bilan, ya'ni resurslar (moddiy va boshqalar) bilan bog'liq bo'lishi kerak. Maqsadlarni resurs cheklovlari bilan taqqoslash tadqiqot maqsadini shakllantirishga olib keladi, bu resurs imkoniyatlarini hisobga oladigan aniq maqsadlarning izchil tizimiga qo'shimcha ravishda modellashtirish obyektini ham o'z

ichiga oladi. Vazifa va modellashtirish obyektini birgalikda ko'rib chiqilishi kerak.

4) tadqiqot maqsadlari to'g'risidagi ma'lumotlar, shuningdek modellashtirish obyektini to'g'risidagi dastlabki ma'lumotlar yaratilgan modelning sifat mezonini – uning mukammallik darajasining miqdoriy o'lchovini aniqlashga xizmat qiladi. To'liq rasmiylashtirilgan optimallashtirish holatida (masalan, chiziqli dasturlash apparati asosida) mezon modelning o'zgaruvchilari va parametrlaridan ma'lum bir funktsional shaklga ega bo'ladi, uning qiymati optimal xarakteristikalarini bilan ekstremalga etadi.

5) modelni yaratishda keyingi qadam vazifa-obyekt tizimini ma'lumotlarga asoslangan mazmunli tahlil qilish va modelni shakllantirish usulini tanlash.

Agar obyekt juda murakkab bo'lmasa, yetarlicha o'rganilgan bo'lsa va nazariy g'oyalar va ma'lumotlar asosida (zarur miqdordagi empirik ma'lumotlar bilan to'ldirilgan) model tomonidan o'rganiladigan obyektning xususiyatlari va xususiyatlari majmuasini aniqlash mumkin bo'lsa, modelni qurish uchun analitik yo'lni tanlash tavsiya etiladi.

Ko'pincha, obyektning murakkabligi, zaif o'rganilishi yoki tegishli nazariy ishlanmalarning yo'qligi sababli, bu yo'lni amalga oshirish mumkin emas. Shu bilan bir qatorda, obyektini aniqlash usuli, ya'ni obyektning hal qilinadigan muammosi uchun muhim bo'lgan xususiyatlarini va xususiyatlarini eksperimental ravishda aniqlash, ayniqsa uning modelini yaratish uchun. Tajriba maxsus ishlab chiqilgan optimal rejaga muvofiq amalga oshiriladi, tajriba ma'lumotlari qayta ishlanadi va obyektini matematik kirish-chiqish modeli shaklida rasmiylashtirilgan tavsiflash uchun asos bo'ladi.

6) nazariy jihatdan qurilgan yoki aniqlangan rasmiylashtirilgan model ilgari tanlangan mezonga muvofiq baholanadi va qoniqarli deb tan olinadi (qabul qilinadi) yoki etarlicha mukammal emas deb rad etiladi. Ikkinchi holda, uni sozlash va ilgari bajarilgan bosqichlarga takroriy murojaat qilish kerak bo'ladi.

7) modelni qabul qilish to'g'risidagi qaror (umuman olganda, i iterativ sikldan keyin) keyingi bosqichga o'tishni talab qiladi. To'g'ridan – to'g'ri hal qilish uchun qurilgan muammo sharoitida eksperimental tekshirish. Bunday holda, ko'pincha qo'shimcha talablar (masalan, modeldan foydalanish qulayligi bilan bog'liq) va uni qo'shimcha sozlash zarurati paydo bo'ladi.

8) Nihoyat, jarayonning yakuniy bosqichi – tadqiqot yoki boshqa muammoni hal qilish uchun modeldan foydalanish va bu bosqichda yanada takomillashtirish va tuzatishlar kiritish mumkin.

Modellashtirish jarayoni uchta vazifadan iborat:

- 1) modelni yaratish (bu vazifa kamroq rasmiylashtirilgan va konstruktivdir, chunki modellarni yaratish uchun algoritm yo‘q);
- 2) modelni o‘rganish (bu vazifa yanada rasmiylashtiriladi, modellarning turli sinflarini o‘rganish usullari mavjud);
- 3) modeldan foydalanish (konstruktiv va konkretlashtirilgan vazifa).

2.8. Analitik modellar

Ilm-fanning ko‘p asrlik rivojlanishining asosiy natijalaridan biri bu tirik va jonsiz tabiatning turli darajalarida sodir bo‘ladigan obyektiv ravishda mavjud bo‘lgan son-sanoqsiz hodisalar va jarayonlarni bilish va tushuntirishdir. Zamonaviy ilm-fanning nazariy arsenalining tarkibiy qismlari-dunyo rasmlari, nazariyalar, qonunlar, prinsiplar – bularning barchasi materiya va energiyani saqlash qonunlari, termodinamikaning boshlanishi, universal tortishish qonuni va boshqalar kabi eng keng tarqalgan deyarli Universaldan tortib to tor sinf bilan bog‘liq bo‘lgan sof lokalgacha obyektlar yoki hodisalar tabiatidagi modeldir.

Shunday qilib, modellashtirish asosida ma‘lum bir tadqiqot yoki amaliy muammoni hal qiladigan tadqiqotchining ixtiyorida bugungi kunda ishlatilishi mumkin bo‘lgan va ishlatilishi kerak bo‘lgan juda ko‘p bo‘sh modellar mavjud. Eng maqbul holat obyektning tavsiflanadigan va o‘rganiladigan xususiyatlarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri nazariy bilimlarning tegishli sohalari (mexanika, termodinamika, elektrotexnika va boshqalar) elementlari bo‘lgan ilgari ishlab chiqilgan va amalda ishonchli model konstruktsiyalari asosida taqdim etish mumkin bo‘lgan vaziyat. Bunday holda, yaratilgan o‘ziga xos model analitik (nazariy) sifatida tavsiflanishi kerak. Qoida tariqasida, u nafaqat obyektning xususiyatlari va xususiyatlarini tavsiflaydi, balki tegishli nazariyalar nuqtai nazaridan o‘rganilayotgan obyektida sodir bo‘ladigan jarayonlarning mohiyatini ochib beradi. Barcha taxminlar va cheklovlar modelga o‘tkaziladi.

Amalda, nazariy modellar ikkita asosiy rolda ishlaydi. Birinchidan, ular tarkibiy asosni tashkil qiladi va istisnosiz barcha nazariy tuzilmalarning asosiy manba materialidir. Aniq fanlar sohasiga tegishli har qanday nazariya tartibga solish prinsiplari va yuqori darajadagi universal bog‘liqliklarga

bo'ysunadigan o'zaro bog'liq analitik modellar tizimidan boshqa narsa emas.

Ilmiy bilimlarning qidiruv sohalarida mavjud nazariy g'oyalarga mos kelmaydigan hodisalarni tushuntirish va tavsiflash uchun mo'ljallangan nazariy modellar bilishning asosiy vositasi rolini o'ynaydi.

Ilmiy bilimlarning, asosan, amaliy tabiatning mavjud sohalarida, masalan, nazariy mexanika, nazariy elektrotexnika va boshqalar. Analitik modellar, ozmi-ko'pmi umumlashtirilgan eksperimental ma'lumotlar bilan to'ldirilib, odatiy kanonik xususiyatga ega, ular kontseptual apparatning, o'ziga xos tilning va kasbiy fikrlashning eng muhim tarkibiy qismidir. Shu bilan birga, ushbu sinf modellari ko'plab aniq amaliy muammolarni, xususan, muhandislik va texnik xarakterdagi, yaxshi o'rganilgan, juda murakkab bo'lmagan obyektlar bilan bog'liq va odatiy yoki odatiy xarakterga ega bo'lgan muammolarni hal qilish uchun asosdir. Tuzilmalarning kuch xususiyatlarini hisoblash, elektr zanjirlarining parametrlari va xususiyatlarini hisoblash. Har bir alohida holatda, o'rganilayotgan hodisaning modeli obyektning tabiati va xususiyatlarining o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda qurilgan. Shu bilan birga, siz ba'zi umumiy usul va usullarni ko'rsatishingiz mumkin.

Analitik modellar, qoida tariqasida, kirish va chiqish o'zgaruvchilarini yoki ushbu o'zgaruvchilarning ba'zi funksiyalarini bog'laydigan, umumlashtirilgan kuchlar, umumlashtirilgan oqimlar yoki koordinatalarning ma'nosiga ega bo'lgan balans munosabatlari deb ataladi. Oddiy misollar: ma'lum bir mexanik tizimga ta'sir qiluvchi kuchlar yoki momentlarning muvozanat holati, ba'zi kimyoviy reaksiyalarning boshlang'ich va yakuniy mahsulotlari massalarining tengligi, EMF yig'indisining nolga tengligi va elektr zanjiridagi kuchlanish pasayishi va boshqalar. Bu va boshqa shunga o'xshash munosabatlarning barchasi mohiyatan materiya va energiyani saqlash qonunlarining o'ziga xos ko'rinishidir. Ushbu asosga ushbu nisbatlardan kelib chiqmaydigan zarur qo'shimcha ma'lumotlar qo'shiladi, ularning manbayi obyektlarning ma'lum bir sinfiga xos nazariya yoki tajriba bo'lishi mumkin.

Muammoni sof nazariy hal qilish imkoniyatlari o'rganilayotgan obyektning murakkabligi va yangiligi oshishi bilan kamayadi. Biroq, tajriba shuni ko'rsatadiki, ko'pincha amalda keng qo'llaniladigan va yaxshi o'rganilgan obyektlar va jarayonlar uchun, masalan, metallurgiya, qoniqarli modelni faqat analitik tarzda qurish mumkin emas va bu tadqiqotchini modelni asosan eksperimental asosda shakllantirishga undaydi, ya'ni aniqlanadigan modellar sinfiga.

2.9. Aniqlanadigan modellar

Modelni asl obyekt bilan aniqlash yoki eksperimental aniqlashning barcha juda ko'p usullari "qora quti" (N. Wiener) bilan fikrlash tajribasi g'oyasiga asoslanadi. Cheklangan (nazariy) holatda, "qora quti" - bu tuzilishi va ichki xususiyatlari haqida aniq hech narsa ma'lum bo'lmagan ma'lum bir tizim. Ammo kirishlar, ya'ni ushbu obyektga ta'sir qiluvchi tashqi omillar va kirish ta'siriga reaksiyalar bo'lgan chiqishlar cheksiz vaqt davomida kuzatish (o'lchash) uchun mavjud. Muammo shundaki, kirish va chiqish ma'lumotlari bo'yicha obyektning ichki xususiyatlarini aniqlash yoki boshqacha qilib aytganda, modelni yaratish. Muammoni hal qilish ikkita strategiyani qo'llashga imkon beradi:

1. Faol tajriba o'tkazilmoqda. Kirish uchun maxsus shakllangan sinov signallari beriladi, ularning tabiati va ketma-ketligi oldindan ishlab chiqilgan reja bilan belgilanadi. Afzallik: eksperimentni optimal rejalashtirish tufayli obyektning xususiyatlari va xususiyatlari to'g'risida zarur ma'lumotlar dastlabki eksperimental ma'lumotlarning minimal miqdori va shunga mos ravishda eksperimental ishlarning minimal murakkabligi bilan olinadi. Ammo buning narxi ancha yuqori: obyekt tabiiy holatidan (yoki ishlash rejimidan) kelib chiqadi, bu har doim ham mumkin emas.

2. Passiv tajriba o'tkaziladi. Obyekt o'zining tabiiy rejimida ishlaydi, lekin shu bilan birga uning kirish va chiqish o'zgaruvchilarining qiymatlarini muntazam ravishda o'lchash va ro'yxatdan o'tkazish tashkil etiladi. Ma'lumot bir xil, ammo zarur bo'lgan ma'lumotlar miqdori sezilarli darajada olinadi, bu birinchi holatga qaraganda 2-3 baravar ko'p.

Amalda, aniqlanadigan modellarni yaratishda ko'pincha aralash tajriba strategiyasi maqsadga muvofiqdir. Bunga imkon beradigan ma'lum bir obyektning kirish o'zgaruvchilari uchun (xavfsizlik shartlari, texnik, iqtisodiy mulohazalar va boshqalar bo'yicha) faol tajriba o'tkaziladi. Uning natijalari boshqa barcha muhim o'zgaruvchilarni qamrab olgan passiv eksperiment ma'lumotlari bilan to'ldiriladi. "Qora quti" nazariy jihatdan chegara ishi. Aslida, dastlabki ma'lumotlarning hajmi mavjud. Amalda, siz "kulrang", qisman shaffof quti bilan shug'ullanishingiz kerak. Shuning uchun obyektning aniqlash vazifasini qo'yishning uchta asosiy klassi mavjud:

1. Murakkab va kam o'rganilgan tizimli obyektlar uchun ichki xususiyatlar va tarkibiy xususiyatlar to'g'risida ishonchli dastlabki ma'lumotlar yo'qolib ketish xavfi ostida, deyarli yo'q. Shuning uchun identifikatsiya qilish vazifasi, bir tomondan, kirish va chiqishlarni

(umumlashtirilgan operator) bog'laydigan bog'liqliklarni aniqlashni, boshqa tomondan obyektning ichki tuzilishini aniqlashni o'z ichiga olishi kerak. Bunday bayonotda vazifani hatto nazariy jihatdan ham hal qilib bo'lmaydi. Identifikatsiyaning bevosita natijasi faqat kirish-chiqish bog'liqliklarini aniqlashdir va parametrik shaklda emas-jadvallar yoki egri chiziqlar shaklida. Modelning tuzilishi haqida gapirish uchun ularning g'oyalarining parametrik shakliga o'tish kerak. Biroq, siz bilganingizdek, funksional qaramlik va bu bog'liqlikni keltirib chiqaradigan matematik tuzilish o'rtasida aniq bog'liqlik yo'q. Har bir parametrik bo'lmagan kirish-chiqish bog'liqligini turli yo'llar bilan taxmin qilish mumkin va shunga mos ravishda o'z tuzilishi, o'ziga xos parametrlar to'plami va ularning qiymatlari bilan tavsiflangan bir qator deyarli teng modellarni yaratish mumkin. Muayyan parametrik modelni afzal ko'rish uchun asos faqat identifikatsiya jarayoniga tashqi ma'lumotlar bo'lishi mumkin, masalan, nazariy mulohazalarga asoslangan. Agar bunday ma'lumotlar bo'lmasa, unda ko'rib chiqilayotgan vaziyatda biz obyektning xususiyatlarini u yoki bu yaqinlashish bilan takrorlaydigan sof funksional yoki simulyatsiya modelini olamiz.

2. Identifikatsiya vazifalarining ikkinchi klassi, asosan, modellashtirilgan obyektning tuzilishi to'g'risida priori ma'lumotlar mavjudligi bilan tavsiflanadi. Biroq, u yoki bu komponent obyekt yoki uning modelining xususiyatlariga qanday hissa qo'shishi oldindan ma'lum emas va bu tegishli parametrlarning qiymati bilan bir qatorda tajriba asosida aniqlanishi kerak. Oddiy misol – statsionar chiziqli modellar sinfida tasvirlangan dinamik tizimning xususiyatlariga ta'sirini o'rganish, kichik, deyarli ahamiyatsiz o'zgaruvchilarni yo'q qilish va tenglamalar tartibini kamaytirish uchun tegishli differentsial tenglamalarning katta a'zolari modelni soddalashtiring. Ushbu sinfning tuzilishi va parametrlarni baholash bilan bog'liq vazifalari ko'pincha amalda uchraydi va o'rtacha murakkablikdagi obyektlar va jarayonlarga, xususan texnologik jarayonlarga xosdir.

3. Vazifalarning uchinchi klassi nisbatan sodda va yaxshi o'rganilgan obyektlar bilan bog'liq bo'lib, ularning tuzilishi aniq ma'lum va biz faqat eksperimental ma'lumotlardan o'rganilayotgan tuzilishga kiritilgan barcha yoki ba'zi parametrlarning qiymatlarini baholash haqida gapiramiz (parametrik identifikatsiya). Shubhasiz, ushbu sinf modellari eksperimental qayta aniqlashni talab qiladigan analitik modellar bilan chambarchas bog'liq va ular o'rtasida aniq chegara yo'q. Bu eng ommaviy vazifalar sinfidir.

Identifikatsiya asosida hal qilinadigan muammoning xususiyatidan qat'iy nazar, modelni yaratish o'zgaruvchilarning tegishli qiymatlarini o'lchash natijalariga asoslanadi. Bu bilan bog'liq ikkita muhim holat mavjud:

Birinchi, tajriba kerakli aniqlikni o'lchash vositalari (sensorlar, o'lchash transduserlari, ro'yxatga olish vositalari) bilan ta'minlanishi kerak.

Ikkinchi, uning barcha tarkibiy qismlari bilan o'lchash kompleksi metrologik ta'minotni talab qiladi, ya'ni bitiruv, sertifikatlash va tekshirish chastotasi.

Murakkab obyektlarning aksariyat qismining haqiqiy xususiyatlari, shuningdek identifikatsiyalash asosida muqarrar tasodifiy o'lchov xatolari ikkinchisiga statistik xususiyat beradi, bu esa keyinchalik qayta ishlash bilan katta hajmdagi dastlabki eksperimental ma'lumotlarni olish zarurligini keltirib chiqaradi. Shuning uchun, amalda, identifikatsiya qilish orqali modellarni qurish muqarrar ravishda dastlabki ma'lumotlarni olishda (eksperimentni avtomatlashtirish) ham, ularni qayta ishlash va ishlatishda ham axborot-kompyuter texnologiyalaridan foydalanish bilan bog'liq.

2.10. Simulyatsiya modelini aniqlash.

Xulosa qilib aytish mumkinki, simulyatsiya modeli quyidagi fazilatlarga ega modeldir:

- modelning "murakkabligi",
- unda tasodifiy omillarning mavjudligi,
- vaqt o'tishi bilan rivojlanayotgan jarayonning tavsifi,
- kompyutersiz natijalarni olishning iloji yo'qligi,
- modelni variant hisob-kitoblari rejimida ishlatish uchun mo'ljallangan, ya'ni rejalar, boshqaruvlar, tuzilmalar uchun "modeldan tashqarida" oldindan belgilangan simulyatsiya tajribalarini o'tkazish orqali taqqoslash.

Simulyatsiya modeli [simulator]-mashinani taqlid qilish jarayonida foydalanish uchun mo'ljallangan o'rganilayotgan tizimning iqtisodiy va matematik modeli. Bu asosan kompyuter uchun dastur bo'lib, uning ustida o'tkazilgan tajriba ushbu dastur bo'yicha hisob-kitoblar natijalarini kiritilgan ekzogen o'zgaruvchilarning turli qiymatlarida kuzatishdan iborat.

Simulyatsiya modeli dinamik model bo'lib, unda vaqt borligi — o'rganilayotgan obyektning rivojlantirish uchun bir qator variantlar ijro etilganda. Boshqa tomondan, *Simulyatsiya modeli* qoida tariqasida, adaptiv modeldir, chunki u takomillashtirilmoqda, foydalanish jarayonida aniqlanadi. U deterministik bo'lishi mumkin, lekin ko'pincha ehtimollik

(ya'ni stoxastik elementlarni o'z ichiga oladi); ko'pincha u mashina bloklari bilan bir qatorda qarorlarni inson qabul qiladigan bloklarni ham o'z ichiga oladi. Shunday qilib, muammoga yo'naltirilgan simulyatsiya tizimlarida optimallashtirish rejimi paydo bo'ladi. Bu o'rganilayotgan jarayonning soddalashtirilgan modellari to'plami va ushbu modellar doirasida optimal boshqaruvni hisoblaydigan algoritmlar bilan ta'minlanadi.

2.11. Simulyatsiya modellarini qurish va ulardan foydalanish usullari

Simulyatsiya modellarini yaratishda hozirda ikkita yondashuv qo'llaniladi: diskret va uzluksiz. Yondashuvni tanlash asosan asl obyektning xususiyatlari va unga tashqi muhit ta'sirining tabiati bilan belgilanadi. Statistik modellashtirish usuli (Monte-Karlo usuli) - diskret ehtimollik simulyatsiya modellarining alohida holati sifatida qaralishi mumkin. Simulyatsiya modellarini yaratishda diskret yondashuvdan foydalanganda odatda uchta asosiy turdagi mavhum tizimlar (matematik sxemalar) qo'llaniladi: avtomatik tizimlar, navbat tizimlari va agregativ tizimlar. Uzluksiz yondashuv holatida, modellashtirilgan obyekt, tabiatidan qat'iy nazar, doimiy mavhum tizim shaklida rasmiylashtiriladi, uning elementlari o'rtasida u yoki bu tabiat oqimlari aylanadi. Bunday tizimning tuzilishi grafik ravishda oqim diagrammasi (diagrammasi) shaklida taqdim etiladi.

Ko'rib chiqilayotgan turdagi uzluksiz tizimning asosiy elementlari mavhum "bunkerlar", shuningdek kechikish elementlari sanaladi.

Tizimning ishlashini taqlid qilish ko'pincha ularning o'zaro ta'siri va tashqi muhit ta'sirini hisobga olgan holda kompyuterda uning barcha elementlarining ishlash jarayonini bosqichma-bosqich takrorlash natijasida kamayadi.

Simulyatsiya simulyatsiyalarida mavhum tizimning turli xil elementlarining ishlashi va o'zaro ta'siri jarayonlari algoritmlashtirilishi va ko'paytirilishi mumkin – diskret va uzluksiz, ehtimollik va deterministik, texnik xizmat ko'rsatish, kechikish va boshqalar.

Ushbu ishlab chiqarish bilan obyektning simulyatsiya modeli sifatida kompyuterda (xizmat ko'rsatish, xizmat ko'rsatish dasturlari bilan birgalikda) yuqori darajadagi universal tillarda yoki ixtisoslashtirilgan simulyatsiya modellashtirish tillaridan foydalangan holda yozilgan dastur (GPSS / 320 – navbat tizimlari kabi diskret tizimlar uchun, q – GERT-diskret tizimlar uchun tarmoqni modellashtirish tili, SIMPL/1, GASP IV va boshqalar).

Hozirgi kunga qadar simulyatsiya modellarini ishlab chiqish va qo'llash hali ham fandan ko'ra ko'proq san'at darajasidadir. Simulyatsiya yuqori

darajadagi texnologiya va ishlab chiqarish jarayonlariga xos bo'lgan ko'p sonli murakkab obyektlarning o'zaro ta'sirini ko'rib chiqishda ierarxiyaning yuqori darajalarida eng samarali qo'llaniladi.

2.12. Simulyatsiya tizimlari

"Taqlid tizimi" tushunchasi ba'zi o'ziga xos ijtimoiy-iqtisodiy jarayonlarni sinchkovlik bilan o'rganish natijasida paydo bo'ldi. Ushbu atama, birinchi navbatda, simulyatsiya eksperimentlarini o'tkazish jarayonida mashina bilan aloqa qilishda "kerakli" darajadagi qulaylikni ta'minlaydigan dasturlar to'plami bilan simulyatsiya modelini taqdim etsa, paydo bo'ladigan obyektни belgilash uchun qulay bo'lib tuyuldi, ikkinchidan, simulyatsiya bir xil jarayonning soddalashtirilgan yoki birlashtirilgan modellari to'plami bilan jihozlangan. Yoki uning alohida tomonlari bilan birga ushbu modellar doirasida matematik dasturlash muammolarini hal qilishga imkon beradigan algoritmlar hisoblanadi.

Shunday qilib, simulyatsiya tizimi quyidagi uchta asosiy qismdan iborat obyekt edi:

1) kompyuterda modelni amalga oshiradigan dastur bilan birgalikda simulyatsiya qilingan jarayon modeli mavjud. Agar model etarlicha murakkab bo'lsa, uni kompyuterda amalga oshiradigan dastur, qoida tariqasida, bitta ma'lumotlar banki bilan ishlaydigan dasturlar (modullar) to'plami mavjud;

2) boshqarish vositalarini tanlash uchun optimallashtirish yoki o'yin muammolarini hal qilishga imkon beradigan soddalashtirilgan jarayon modellari yoki uning alohida tomonlari va algoritmlari to'plami. Simulyatsiya tizimining ushbu qismi uchun yana ikkita nom ishlatilgan: birinchisi-simulyatsiya tizimining tashqi matematik ta'minoti, ikkinchisi-qaror qabul qilish jarayonining matematik ta'minoti;

3) simulyatsiya eksperimentlari paytida kompyuter bilan aloqa qilishda "tegishli" qulaylik darajasini amalga oshiradigan, optimallashtirish natijalarini taqlid qilish jarayonida foydalanishni osonlashtiradigan, shuningdek boshqa "xizmat" operatsiyalarini amalga oshiradigan dasturlar to'plami. Simulyatsiya tizimining ushbu qismi uchun simulyatsiya tizimining ichki matematik ta'minoti ham ishlatilgan.

Ma'lumki, taqlidni tadqiqot amaliyotiga va ayniqsa rejalashtirish va boshqarish amaliyotiga joriy etish uchun mavjud display vositalaridan maksimal darajada foydalangan holda, jarayonning borishi to'g'risida ma'lumotni mashinadan idrok etish uchun qulay shaklda olish va ma'lumotni tezda mashinaga kiritish kerak.

Ko'pgina hollarda, simulyatsiya tajribalarini o'tkazish jarayonida mashina bilan tezkor aloqa rejimini ta'minlash kerak.

Insonning mashina bilan aloqasini tashkil qilishning o'ziga xos talablari jarayonning xususiyatiga, taqlid yordamida qanday vazifalar hal qilinishiga, boshqaruv organlari qaror qabul qilish uchun qancha vaqtga ega bo'lishiga bog'liq. Agar, masalan, taqlid faqat tadqiqot maqsadlarida qo'llanilsa, unda ichki ta'minotga qo'yiladigan talablar past bo'lishi mumkin. Ammo, agar taqlid rejalashtirish va boshqarish amaliyotida qo'llanilsa, u holda inson va mashina o'rtasidagi aloqani tashkil etishning "to'g'ri" sifati hal qiluvchi talabga aylanadi, ularsiz tizimni amalga oshirish mumkin bo'lmaydi.

Simulyatsiya tizimiga tashqi matematik ta'minotni kiritish – "optimallashtirish" modellari to'plami-murakkab jarayonlarni boshqarishni ratsionalizatsiya qilish uchun simulyatsiya va matematik dasturlashdan bir vaqtning o'zida foydalanishga imkon beradi. Funktsiyalarni ular o'rtasida "to'g'ri" taqsimlashda simulyatsiya va matematik dasturlashdan bir vaqtning o'zida foydalanish jarayonni o'rganish va uni amaliy boshqarish uchun samarali vosita bo'lib ko'rinadi. Simulyatsiya va matematik dasturlashdan bir vaqtning o'zida foydalanish g'oyasini juda muhim va samarali deb hisoblash mumkin.

Modellashtirish tizimlari deb atash mumkin bo'lgan tadqiqot tizimlari taqlid tizimlarining mafkuraviy rivojlanishidir. Terminologiyaning o'zgarishi shuni ta'kidlaydiki, taqlid tizimlarini ishlab chiqishda tizimning qolgan qismlarini yaratish sohasida sezilarli natijalar paydo bo'la boshladi. Ularning o'zaro bog'liqligi yondashuv samaradorligini belgilovchi muhim omilga aylandi. "Modellashtirish" atamasining paydo bo'lishi shuni anglatadiki, bu asbobning asosi bo'lgan matematik modellar va ularni o'rganish tamoyillari va usullari, ya'ni. tizimli bo'lishning taklif qilingan printsipi, matematik modellardan foydalanish va ular ustida hal qilinadigan muammolar o'rtasidagi bog'liqlik muhim ahamiyatga ega.

Yuqoridagilarni hisobga olgan holda, biz modellashtirish tizimi o'zaro bog'liq va bir – birini to'ldiruvchi ikkita tizimni birlashtirgan tadqiqot majmuasi ekanligini aniqlaymiz: birinchisi – taqlid qilish tizimi (yoki tahlil tizimi), ikkinchisi-sintez tizimi. Ushbu ta'rif "taqlid tizimlari" atamasining semantik ma'nosini toraytiradi. Simulyatsiya tizimi dasturiy ta'minot va axborot ta'minoti bilan simulyatsiya modellari to'plamini, dasturiy ta'minot vositalarini o'z ichiga oladi xizmat ko'rsatish, sintez tizimi – soddalashtirilgan modellar to'plami va ulardan tegishli dasturiy ta'minot, axborot va xizmat ko'rsatish bilan foydalanish usullari.

Simulyatsiya tizimi-bu model darajasida o'rganilayotgan jarayonning borishini zarur va texnik jihatdan amalga oshiriladigan darajada batafsil takrorlashga imkon beradi. Simulyatsiya tizimi juda batafsil modelga asoslangan bo'lishi kerak.

Ushbu model hatto simulyatsiya rejimida ham kompyuterda amalga oshirish uchun mo'ljallanmagan va shuning uchun uning o'lchamlari va murakkabligi bo'yicha cheklovlar deyarli yo'q. Bu shunday bo'lishi kerakki, ushbu jarayonni tadqiq qilish sohasida, shuningdek uni boshqarish vositalarini ishlab chiqishda ishlatiladigan modellarning aksariyati undan soddalashtirish, yig'ish, o'rtalashtirish protseduralarining ba'zi kombinatsiyasi bilan olinishi mumkin. Batafsil model bilan bir qatorda, mavjud kompyuterlarda amalga oshirish uchun moslashtirilgan simulyatsiya modellari to'plami yagona tizimda mavjud bo'lishi kerak.

Sintez tizimi takrorlanadigan jarayonni o'rganish vositasidir. Simulyatsiya tizimi ma'lum ma'noda sintez tizimi uchun o'rganilayotgan voqelikni almashtiradi, foydalanish doirasini aniqlaydi va olingan natijalarni tekshiradi.

2.13. Matematik modellarning turlari. Matematik modellarni model operatoriga qarab tasniflash matematik modellarning tasnifi va misollari.

Matematik model haqiqiy vaziyatni soddalashtirish va mavhum, rasmiy ravishda tasvirlangan obyekt bo'lib, uni turli matematik usullar bilan o'rganish mumkin.

Matematik modellarning tasnifini ko'rib chiqing.

Matematik modellarning bo'linishi:

1. Obyektning ko'rsatilgan xususiyatiga qarab:

- funktsional;
- strukturaviy.

Funktsional matematik modellar ishlaydigan uskunalarda, texnologik jarayonlar paytida va hokazolarda sodir bo'ladigan axborot, fizik, vaqtinchalik jarayonlarni namoyish qilish uchun mo'ljallangan.

Shunday qilib, funktsional modellar obyektning ishlash jarayonlarini aks ettiradi. Ular ko'pincha tenglamalar tizimining shakliga ega.

Strukturaviy modellar matritsalar, grafikalar, vektorlar ro'yxati shaklida bo'lishi va kosmosdagi elementlarning o'zaro joylashishini ifodalashi mumkin. Ushbu modellar odatda tarkibiy sintez muammolarini obyektidagi fizik jarayonlardan mavhumlashtirish va hal qilish mumkin bo'lgan hollarda qo'llaniladi. Ular loyihalashtirilgan obyektning strukturaviy xususiyatlarini aks ettiradi.

Simulyatsiya qilingan obyektning statik tasvirini olish uchun sxematik modellar deb nomlangan usullar guruhidan foydalanish mumkin bular tizim ishining grafik tasvirini o'z ichiga olgan tahlil usulidir. Masalan, texnologik xaritalar, diagrammalar, ko'p funktsiyali operatsion diagrammalar va oqim diagrammalaridir.

2. Funktsional matematik model usullari bo'yicha:

- nazariy;
- rasmiy;
- empirik.

Nazariy fizik qonuniyatlarni o'rganish asosida olinadi. Tenglamalarning tuzilishi va model parametrlari ma'lum jismoniy talqinlarga ega.

Formallar simulyatsiya qilingan obyektning tashqi muhitdagi xususiyatlarining namoyon bo'lishi asosida olinadi, ya'ni obyektning kibernetik "qora quti" sifatida ko'rib chiqish.

Nazariy yondashuv tashqi parametrlarning kengroq diapazonlari uchun ko'proq universal, adolatli o'zgarishlarni olish imkonini beradi.

Formallar o'lchovlar o'tkazilgan parametrlar fazosi nuqtasida aniqroq ko'rinadi.

Empirik matematik modellar eksperimentlarni o'tkazish (kirish va chiqish parametrlarini o'lchash orqali obyekt xususiyatlarining tashqi ko'rinishini

o'rganish) va ularning natijalarini matematik statistika usullari bilan qayta ishlash natijasida yaratiladi.

3. Tenglamalarning chiziqliligi va chiziqsizligiga qarab:

- chiziqli;
- chiziqli emas.

4. To'plamga qarab, model o'zgaruvchilarining ta'riflari va qiymatlari quyidagicha:

- uzluksiz
- diskret (ta'rif va qiymat sohalari uzluksiz);
- uzluksiz diskret (aniqlash maydoni uzluksiz va qiymat maydoni diskretdir). Ushbu modellar ba'zan kvantlangan deb ataladi;

• diskret-uzluksiz (aniqlash maydoni diskret, qiymat maydoni esa uzluksiz). Ushbu modellar diskret deb ataladi;

• raqamli (ta'rif va qiymat sohalari diskretdir)

5. Chiqish, ichki va tashqi parametrlar o'rtasidagi aloqalar shaklida:

• algoritmik;

• analitik;

• raqamli.

Algoritmik-bu kerakli natijani olish uchun bajariladigan noyob talqin qilingan operatsiyalar ketma-ketligini tavsiflovchi algoritmlar shaklida taqdim etilgan modellardir.

Algoritmik matematik modellar chiqish parametrlari va kirish va ichki parametrlar o'rtasidagi aloqalarni algoritm sifatida ifodalaydi.

Analitik matematik modellar-bu kirish va ichki parametrlarning funktsiyalari sifatida chiqish parametrlarining aniq matematik ifodalari bo'lgan obyektning (hodisa, jarayon) rasmiylashtirilgan tavsifi.

Analitik modellashtirish matematik formulalar to'plami yordamida simulyatsiya qilingan obyektning bilvosita tavsiflashga asoslangan. Analitik tavsiflash tili semantik elementlarning quyidagi asosiy guruhlarini o'z ichiga oladi: mezon (mezon), noma'lum, ma'lumotlar, matematik operatsiyalar, cheklovlar. Analitik modellarning eng muhim xususiyati shundaki, model strukturaviy ravishda modellashtirish obyektiga o'xshamaydi. Bu erda tarkibiy o'xshashlik model elementlari va aloqalarining simulyatsiya qilingan obyekt elementlari va aloqalariga aniq mos kelishini anglatadi. Analitik modellar matematik dasturlash apparati, korrelyatsiya, regressiya tahlili asosida qurilgan modellarni o'z ichiga oladi. Analitik model har doim matematik vositalar yordamida tahlil qilinishi va hal qilinishi mumkin bo'lgan dizayndir. Shunday qilib, agar matematik dasturlash apparati ishlatilsa, u holda model asosan maqsadli funktsiya va o'zgaruvchilarga cheklovlar tizimidan iborat. Maqsad funktsiyasi, qoida tariqasida, hisoblash yoki optimallashtirish kerak bo'lgan obyekt (tizim) xususiyatini ifodalaydi. Xususan, bu texnologik tizimning ishlashi bo'lishi mumkin. O'zgaruvchilar obyektning (tizimning) texnik xususiyatlarini, shu jumladan o'zgaruvchan, cheklovlarni – ularning ruxsat etilgan chegara qiymatlarini ifodalaydi.

Analitik modellar texnologik tizimlarda sodir bo'ladigan jarayonlarni optimallashtirish muammolarini hal qilish, shuningdek texnologik tizimlarning xususiyatlarini optimallashtirish va hisoblash uchun samarali vositadir.

Muhim nuqta-ma'lum bir analitik modelning o'lchami. Ko'pincha, haqiqiy texnologik tizimlar (avtomatik chiziqlar, moslashuvchan ishlab chiqarish tizimlari) uchun ularning analitik modellarining o'lchamlari shunchalik kattaki, optimal echimni olish hisoblash nuqtai nazaridan juda qiyin bo'lib chiqadi. Bunday holda hisoblash samaradorligini oshirish uchun turli xil texnikalar qo'llaniladi. Ulardan biri katta o'lchamdagi muammoni kichik o'lchamdagi kichik vazifalarga bo'lish bilan bog'liq, shunda ma'lum bir ketma-ketlikdagi kichik vazifalarning avtonom echimlari asosiy muammoning echimini beradi. Shu bilan birga, har doim ham oddiy bo'lib chiqmaydigan kichik vazifalarning o'zaro ta'sirini tashkil qilish muammolari mavjud. Boshqa usul hisob-kitoblarning aniqligini kamaytirishni o'z ichiga oladi, buning natijasida muammoni hal qilish vaqtini qisqartirish mumkin.

Analitik modelni quyidagi usullar bilan o'rganish mumkin:

- analitik, ular izlayotgan xususiyatlar uchun umumiy qaramlikni olishga intilishganda;
- raqamli, aniq boshlang'ich ma'lumotlar bilan raqamli natijalarni olishga intilganda;
- aniq echimlarga ega bo'lgan holda, siz echimning ba'zi xususiyatlarini topishingiz mumkin (echimning barqarorligini baholang).

Biroq, analitik modellashtirish juda oddiy tizimlarda yaxshi natijalar beradi. Murakkab tizimlar bo'lsa, hech bo'lmaganda tizimning umumiy xususiyatlarini o'rganish uchun dastlabki modelni sezilarli darajada soddalashtirish talab etiladi. Bu sizga taxminiy natijalarga erishishga imkon beradi va aniqroq taxminlarni aniqlash uchun simulyatsiya kabi boshqa usullardan foydalaning.

Raqamli model ushbu turdagi bog'liqlik bilan tavsiflanadi, bu faqat ma'lum boshlang'ich shartlar va modellarning miqdoriy parametrlari uchun raqamli usullar bilan olingan echimlarga imkon beradi.

6. Model tenglamalari obyektidagi jarayonlarning inertsiyasini hisobga oladimi yoki yo'qmi, hisobga olinmaydi:

dinamik yoki inersion modellar (differentsial yoki integral-differentsial tenglamalar yoki tenglamalar tizimlari sifatida yoziladi);

statik yoki inertial bo'lmagan modellar (algebraik tenglamalar yoki algebraik tenglamalar tizimlari shaklida yoziladi).

7. Noaniqliklar mavjudligi yoki yo'qligiga va noaniqliklar turiga qarab modellar:

deterministik (noaniqliklar yo'q);

stoxastik (statistik usullar bilan taqsimot qonunlari yoki funktsiyalari, shuningdek raqamli xususiyatlar shaklida tavsiflangan tasodifiy o'zgaruvchilar yoki jarayonlar ko'rinishidagi noaniqliklar mavjud);

Aniq bo'lmagan (noaniqliklarni tavsiflash uchun aniq bo'lmagan to'plamlar nazariyasi apparati ishlatiladi);

birlashtirilgan (ikkala turdagi noaniqliklar mavjud).

Umuman olganda, matematik modelning turi nafaqat haqiqiy obyektning tabiatiga, balki uni hal qilish uchun yaratilgan muammolarga va ularni hal qilishning zarur aniqligiga ham bog'liq.

2.14. Rasmda ko'rsatilgan modellarning asosiy turlari

Matematik modellarning yana bir tasnifini ko'rib chiqing. Ushbu tasnif boshqaruv obyektini boshqarish tushunchasiga asoslanadi.

1. *Prognoz modellari (boshqaruvsiz hisoblash modellari)*. Ularni statik va dinamikaga bo'lish mumkin. Ushbu modellarning asosiy maqsadi: dastlabki holat va ma'lumotni bilish chegaradagi xatti-harakatlar, vaqt va makonda tizimning xatti-harakatlari to'g'risida bashorat qilish. Bunday modellar stoxastik bo'lishi mumkin. Odatda, bashorat qilish modellari algebraik, Transandantal, differentsial, integral, integral-differentsial tenglamalar va tengsizliklar bilan tavsiflanadi. Masalan, issiqlik taqsimoti, elektr maydoni, kimyoviy kinetika, gidrodinamika, aerodinamika va boshqalar.

2. *Optimallashtirish modellari*. Ushbu modellarni statik va dinamikaga ham bo'lish mumkin. Statik modellar turli xil texnologik tizimlarning dizayn darajasida qo'llaniladi. Dinamik-dizayn darajasida ham, asosan turli xil jarayonlarni maqbul boshqarish uchun – texnologik, iqtisodiy va boshqalar. optimallashtirish muammolarida ikkita yo'nalish mavjud. Birinchisi deterministik vazifalarni o'z ichiga oladi. Ulardagi barcha kirish ma'lumotlari to'liq aniqlanadi. Ikkinchi yo'nalish stoxastik jarayonlarga tegishli. Ushbu vazifalarda ba'zi parametrlar tasodifiy yoki noaniqlik elementini o'z ichiga oladi. Avtomatik qurilmalarni optimallashtirishning ko'plab vazifalari, masalan, ba'zi ehtimollik xususiyatlariga ega bo'lgan tasodifiy shovqin ko'rinishidagi parametrlarni o'z ichiga oladi. Turli xil cheklovlarga ega bo'lgan ko'plab o'zgaruvchilar funktsiyasining ekstremumini topish usullari ko'pincha matematik dasturlash usullari deb ataladi. Matematik dasturlash muammolari muhim optimallashtirish muammolaridan biridir.

Matematik dasturlashda quyidagi asosiy bo'limlar ajratiladi. Chiziqli dasturlash. Maqsad funktsiyasi chiziqli bo'lib, maqsad funktsiyasining

ekstremumi qidiriladigan to'plam chiziqli tengliklar va tengsizliklar tizimi tomonidan o'rnatiladi. Chiziqli bo'lmagan dasturlash. Maqsad funksiyasi chiziqli emas va chiziqli bo'lmagan cheklovlar. Qavariq dasturlash. Maqsad funksiyasi qavariq va qavariq to'plam bo'lib, unda ekstremal muammo hal qilinadi. Kvadrat dasturlash. Maqsad funksiyasi kvadratik, cheklovlar esa chiziqli. Ko'p ekstremal vazifalar. Maqsad funksiyasi bir nechta mahalliy ekstremallarga ega bo'lgan vazifalar. Bunday vazifalar juda muammoli ko'rinadi. Butun sonli dasturlash. Bunday vazifalarda o'zgaruvchilarga butunlik shartlari qo'yiladi.

2.15. Hisoblash tajribasi va matematik modellashtirishni qo'llash sohalari

Qoida tariqasida, bir nechta o'zgaruvchilar funksiyasining ekstremumini topish uchun klassik tahlil usullari matematik dasturlash muammolariga qo'llanilmaydi. Optimal boshqaruv nazariyasi modellari optimallashtirish modellarida muhim ahamiyatga ega. Optimal boshqaruvning matematik nazariyasi asosan jarayonlarni optimal boshqarish uchun muhim amaliy qo'llanmalarga ega bo'lgan nazariyalardan birini anglatadi.

Optimal boshqaruv nazariyasining matematik modellarining uch turi mavjud. Optimal boshqaruvning diskret modellari. An'anaga ko'ra, bunday modellar dinamik dasturlash modellari deb ataladi, chunki bunday muammolarni hal qilishning asosiy usuli Bellmanning dinamik dasturlash usuli hisoblanadi. Konsentrlangan parametrlarga ega tizimlarni optimal boshqarishning uzluksiz modellari (oddiy hosilalardagi tenglamalar bilan tavsiflanadi). Taqsimlangan parametrlarga ega tizimlarni optimal boshqarishning uzluksiz modellari (qisman differentsial tenglamalar bilan tavsiflanadi).

3. *Kibernetik modellar (o'yin)*. Kibernetik modellar ziddiyatli vaziyatlarni tahlil qilish uchun ishlatiladi. Dinamik jarayon bir nechta nazorat parametrlariga ega bo'lgan bir nechta subyektlar tomonidan belgilanadi deb taxmin qilinadi. Kibernetik tizim bilan subyektlarning butun guruhi o'z manfaatlari bilan bog'liq.

4. *Simulyatsiya modellashtirish*. Yuqoridagi model turlari to'liq rasmiylashtirilishi mumkin bo'lgan turli xil vaziyatlarni qamrab olmaydi. Bunday jarayonlarni o'rganish uchun matematik modelga ishlaydigan "biologik" aloqani – odamni kiritish kerak. Bunday holatlarda simulyatsiya modellashtirish, shuningdek ekspertiza va axborot protseduralari usullari qo'llaniladi.

Matematik modellar spektrning mavhum qismini tashkil qiladi, ulardan turli sohalarda, shu jumladan logistikada foydalanish qulayligi uchun ular oltita eng vakillik xususiyatlariga ko'ra tasniflanadi:

Modelni olish usuli;

Obyektni yoki uning xususiyatlarini tavsiflash yoki ifodalash usuli;

Obyektni yoki uning xususiyatlarini rasmiylashtirish usuli;

Ierarxik darajaga mansublik;

Obyekt yoki uning xususiyatlarini tavsiflash miqyosi darajasi;

Obyektni yoki uning xususiyatlarini tavsiflashning murakkablik darajasi.

Ishlab chiqarish usuliga ko'ra modellar nazariy, neyron (perseptronlar) va empirik bo'linadi.

Nazariy modellar klassik mexanika, elektrodinamika, kimyo va boshqalarning asosiy qonunlarini bilish asosida matematik tarzda chiqariladi. kuzatish natijalarini statistik qayta ishlash asosida real hayotdan olingan modellar empirik guruhni tashkil qiladi. Empirik modelni yaratish muammosi, shuningdek, mavjud eksperimental ma'lumotlarga mos keladigan ushbu modelning mos shaklini, shuningdek uning murakkabligining oqilona darajasini tanlashni o'z ichiga oladi.

So'nggi yillarda iqtisodiy jarayonlarni modellashtirish sohasida neyron modellar (perseptronlar) tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda. Neyron modeli (perseptron) ikkilik neyropga o'xshash elementlardan iborat va oddiy topologiyaga ega.

Ko'pchilik perseptron ikkilik kirish matritsalarini (kirish tasvirlari taqdim etiladigan sezgir neyronlar yoki Retina), retinaning pastki to'plamlariga sobit bog'langan ikkilik neyropga o'xshash elementlar to'plamini, ushbu predikatlarda o'zgartirilgan bog'lanishlarga ega ikkilik Neyropaga o'xshash elementni (elementlar, hal qilish) o'z ichiga oladi.

Ilgari perseptron avtomatik tasniflash muammosini hal qilish uchun ishlatilgan, umuman olganda, belgilar maydonini berilgan sinflar soni o'rtasida ajratishdan iborat. Bugungi sharoitda neyron tarmoqlar darajasida logistik prognozlash muammosini hal qilish mumkin, bu naqshni aniqlash muammosi orqali rasmiylashtiriladi.

Quyidagi misolni ko'rib chiqing. Olti yil davomida firma mahsulotlariga joriy talab bo'yicha ma'lumotlar mavjud ($A_c = 6$): 71, 80, 101, 84, 60, 73.

Vazifani rasmiylashtirish uchun biz oyna usulidan foydalanamiz. Biz derazalarning o'lchamlarini o'rnatamiz $\eta=3$, $t=1$ va neyronga o'xshash elementning qo'zg'alish darajasi $s=1$. Neyron tarmoq, ushbu kuzatuvlardan

o'rganish va shunga mos ravishda ularning koeffitsientlarini sozlash, ushbu naqshlarni ajratib olishga va natijada kutilayotgan prognoz funktsiyasini shakllantirishga harakat qiladi, ya'ni modelni "qurish". Prognozlash o'quv namunasini shakllantirish bilan bir xil printsip asosida amalga oshiriladi.

Obyektni tavsiflash usuli bo'yicha modellar quyidagicha bo'linadi:

- 1) algebraik;
- 2) regressiya-korrelyatsiya;
- 3) navbat nazariyasi, zaxira modellari va statistik modellarni birlashtirgan ehtimollik-statistik;
- 4) chiziqli dasturlashning matematik dasturlash, tarmoq (oqim).

Algebraik modellarning birinchi guruhiga kelsak, ular to'g'ri qaror qabul qilish uchun yordamchi ekanligini darhol ta'kidlash kerak. Algebraik modellar odatda "kritik nuqta" tahlili va "xarajatlar foydasi" tahlili kabi muammolarni hal qilishda qo'llaniladi.

Ikkinchi guruhni ifodalovchi regressiya-korrelyatsiya modellari ekstrapolyatsiya va statistik modellarning umumlashtirilishi bo'lib, obyektning o'ziga xos xususiyatlarini yoki uning xususiyatlarini tavsiflash uchun ishlatiladi.

Uchinchi guruh fenologik hodisalar va gipotezalarga asoslangan ehtimollik-statistik modellardan iborat. Ushbu modellar deterministik yoki stoxastik bo'lishi mumkin. Shunday qilib, tasodifiy o'zgaruvchilarni kuzatish natijalariga ko'ra o'rnatilgan $B = \varphi(X)$, ga bog'liqlik x va eng kichik kvadratlar usulida deterministik modeldir. Agar tajribalar natijasida kuzatilgan eksperimental nuqtalarning $Y = \varphi(X)$ egri chizig'idan tasodifiy og'ishlarini hisobga olsak va B ning X ga bog'liqligini $B = \varphi(X) + Z$ (bu erda Z ba'zi tasodifiy o'zgaruvchilar) shaklida yozsak, biz stoxastik modelni uning ideal ifodasida olagan bo'lamiz.

Bunday holda, x va B qiymatlari ham skalyar, ham vektor bo'lishi mumkin. $\varphi(X)$ funktsiyasi ushbu funktsiyalarning chiziqli birikmasi yoki parametrlari eng kichik kvadratlar usuli bilan belgilanadigan berilgan chiziqli bo'lmagan funktsiya bo'lishi mumkin.

Chiziqli dasturlash modellari logistika muammolarini hal qilish uchun tobora ko'proq foydalanilmoqda.

Kim matematik dasturlash bilan tanish bo'lsa, uni umumiy shaklda hal qilish deyarli mumkin emasligini biladi. Biroq, matematik dasturlashda eng ko'p ishlab chiqilganlar chiziqli dasturlash muammolaridir.

Chiziqli dasturlash muammolarida maqsad funktsiyasi chiziqli bo'lib, cheklov shartlari chiziqli tenglik va chiziqli tengsizliklarni o'z ichiga oladi;

o'zgaruvchilar o'zgarmaslik talabiga bo'ysunishi yoki bo'ysunmasligi mumkin.

Chiziqli dasturlash yordamida logistika muammolarini hal qilishning soddaligini namoyish qilish uchun biz ikkita ma'lum muammoga murojaat qilamiz:

Birinchisi, bir yil ichida hovlisida o'sgan hayvonlarni sotish uchun bozorga boradigan buvisi haqida;

Ikkinchisi: ovqatlanish haqida.

Birinchi vazifa (buvisi haqida)

Ushbu vazifaning mohiyati oddiy savolga javob olish bilan bog'liq: "tirik g'ozlar, o'rdaklar va tovuqlarni bozorda qancha pulga sotish kerak, shunda u eng ko'p daromad oladi, agar u bozorga og'irligi P kg dan oshmaydigan hayvonlarni etkazib berishi mumkin bo'lsa?". Bizga ma'lum:

Tovuqning massasi (kg), o'rdak (2 kg) va g'oz (3 kg)

Tovuq narxi (1 kg 7 so'm), o'rdak (1 kg 2 so'm) va g'oz (1 kg 3 so'm)

Muammoni hal qilish algoritmini ko'rib chiqing.

1. Muammoni hal qilish uchun, mos ravishda, x 1 kunlik x 2 tovuqlar sonini, x_3 g'ozlarini, Buvi tomonidan bozorga sotish uchun olingan.

2. Keling, ushbu vazifaning maqsadli funktsiyasini tuzamiz:

3. Muammoni hal qilishda cheklovlarni tasvirlab beramiz.

Buvi bir vaqtning o'zida bozorga etkazib berishi mumkin bo'lgan tovarlarning massasi p kilogrammdan oshmasligi kerak:

Qiymatlar musbat butun sonlar bo'lishi kerak, ya'ni:

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0,$$

Ta'riflangan uchta qadamni bajarib, biz chiziqli dasturlash muammosini olamiz. X , kg, so'm va P boshlang'ich qiymatlarini almashtirib, biz savolga javob topamiz.

Ikkinchi vazifa (ovqatlanish haqida)

"Bistro" kafesi har kuni do'konda o'z mehmonlari uchun ma'lum taomlarni tayyorlash uchun oziq-ovqat sotib oladi. Ratsionda uchta turli xil ozuq ovqat mahsulotlari mavjud va ularga mos ravishda kamida 1, 2 va 3 birlik kerak. Do'konda mos ravishda 5 xil narxga tayyor 1 x 5 ovqat sotiladi.

mahsulotning har bir I turdagi (i) birligi o'z ichiga oladi va j -chi ozuqa birliklaridan, ya'ni, masalan, a_{23} uchinchi ozuqa moddasining ikkinchi mahsulot birliklarida a_{23} birlik bo'lishini ko'rsatadi.

Har bir mahsulot birligi i -turdagi (x_i) quyidagilarni o'z ichiga oladi, a va j ozuqa moddalarining birliklari, masalan, 2 ikkinchi turdagi mahsulot uchinchi oziq - ovqat mahsulotlari 23 birlikda bo'ladi.

Bunday holda, quyidagi shartlarni bajarish kerak:

- 1) mahsulotlarning narxi minimal bo'lishi kerak;
- 2) ovqatlarning ratsionida kerakli miqdordagi barcha kerakli oziq moddalar bo'lishi kerak.

Muammoni hal qilishning matematik bayoni quyidagicha bo'ladi:

1. Ushbu vazifaning maqsad funksiyasi 1 x 5 mahsulotlarining narxini minimallashtirish. Matematik jihatdan u quyidagicha ko'rinadi:

2. Muammoni hal qilishni cheklash shartlari:

a) birinchi ozuqa miqdori kamida b_1 bo'lishi kerak:

b) ikkinchi ozuqa miqdori kamida b_2 bo'lishi kerak:

c) uchinchi ozuqa miqdori kamida b_3 bo'lishi kerak:

Shuni yodda tutish kerakki, mahsulotlar soni salbiy raqamga ega bo'lishi mumkin emas, ya'ni:

Berilgan muammoning echimini to'g'ri tushunish uchun quyidagi misolni ko'rib chiqing.

Keling, ushbu vazifada quyidagi dastlabki ma'lumotlarga ega bo'ladi:

Maqsad funksiyasi quyidagi shaklga ega bo'ladi:

$$C_1 = 2, C_2 = 3;$$

$$a_{11} = 1, a_{12} = 5, a_{21} = 3, a_{22} = 2, a_{31} = 2, a_{32} = 4, a_{41} = 2, a_{42} = 2,$$

$$a_{51} = 1, a_{52} = 0;$$

$$b_1 = 10, b_2 = 12, b_3 = 16, b_4 = 6, b_5 = 1.$$

Maqsad funksiyasi quyidagi shaklga ega bo'ladi:

$$f(x) = 2x_1 + 3x_2 \rightarrow \min$$

Quyidagi cheklovlar bajarilgan taqdirda funktsiyaning minimal qiymatini aniqlash kerak:

$$x_1 + 5x_2 \geq 10;$$

$$3x_1 + 2x_2 \geq 12;$$

$$2x_1 + 4x_2 \geq 16;$$

$$2x_1 + 2x_2 \geq 6;$$

$$x_1 \geq 1$$

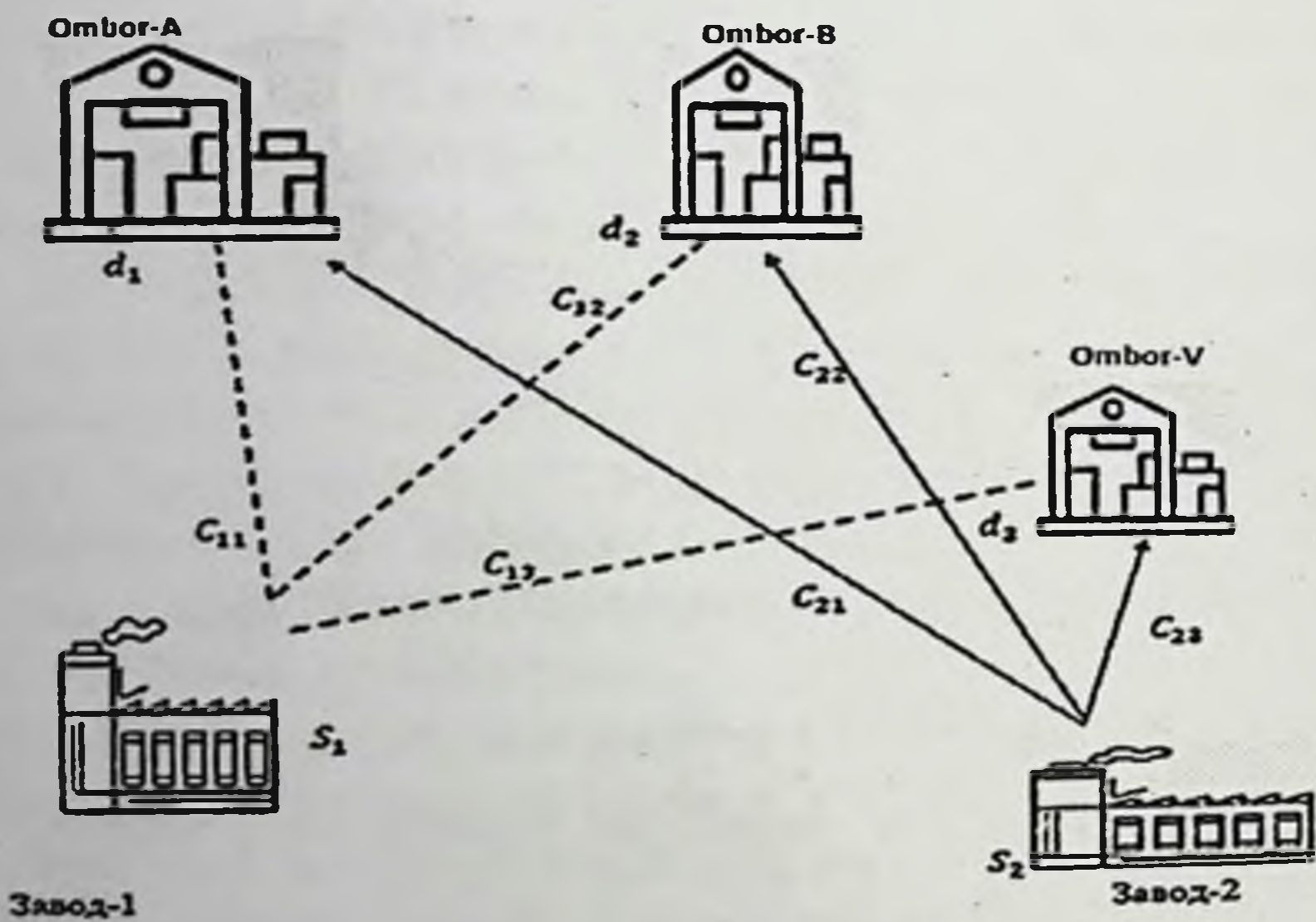
Mahsulotlar soni salbiy raqam bo'lishi mumkin emasligini yodda tutgan holda, biz buni qabul qilamiz. Taqdim etilgan dastlabki ma'lumotlarga muvofiq muammoni hal qilish natijasida bizda quyidagi javob mavjud: ushbu qiymatlar bilan maqsadli funktsiya keyingi qiymatga ega bo'ladi:

Tarmoq (oqim) modellari

Matematik dasturlash muammolarining muhim tomoni tarmoq (oqim) deb ataladigan muammolar bo'lib, ular nuqtai nazaridan chiziqli dasturlash muammolarini shakllantirish mumkinligi aytiladi.

Misol sifatida transport muammosi deb ataladigan muammoni ko'rib chiqamiz (rasm. 2.15-1), bu 1941 yilda F. L. Xitchkok tomonidan hal qilingan birinchi oqim vazifalaridan biridir.

Ikkita o'simlik (1 va 2) va uchta kompozitsiya (A, B, C) bo'lsin. Zavodlar mos ravishda s_1 va s_2 mahsulot ishlab chiqaradi. Omborlar d_1 , d_2 va d_3 mahsulotlarini saqlash uchun qabul qilish imkoniyatiga ega, ya'ni:



2.15-1-rasm

Vazifa ishlab chiqarish zavodlaridan mahsulotlarni omborlarga tashish xarajatlarini minimallashtirishdir. Keling, quyidagi boshlang'ich shartlarni belgilaymiz. Faraz qilaylik X_{ij} i -chi zavoddan j -chi tarkibga o'tkazilishi kerak bo'lgan mahsulot hajmi, i -chi zavoddan j -chi tarkibga mahsulot birligini tashish qiymati. Keyin yuk tashish qiymati vazifasining maqsadli funktsiyasi quyidagi shaklga ega bo'ladi:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} = \sum_{j=1}^3 x_{1j} = S_1;$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} = \sum_{j=1}^3 x_{2j} = S_2.$$

Tengliklarni qisqa shaklda quyidagich yozamiz, ya'ni:

$$\sum_{j=1}^3 x_{ij} = S_{ij}; i=1,2$$

Omborlarni to'ldirish sharti quyidagi shaklga ega:

$$\sum_{j=1}^2 x_{ij} = d_{ij}; j=1,3 \quad \text{bu yrda} \quad x_{ij} \geq 0; i=1,2; j=1,3$$

Ushbu modelni tarmoq yordamida tavsiflash mumkin, agar tarmoq tugunlari fabrikalar va omborlarga ega bo'lsa va yuklarni tashish uchun to'g'ri yoylari bo'lsa (2.15-1-rasm.). Transport muammosi tarmoq ichidagi ishlab chiqilgan mahsulotni tashishni minimal qiymat oqimini topishga olib keladi.

Tarmoq vazifalari katta va murakkab tizimlarni loyihalashda, shuningdek ulardan eng oqilona foydalanish yo'llarini qidirishda qo'llaniladi. Avvalo, bu tarmoqlar yordamida tizim modelini yaratish juda oson ekanligi bilan bog'liq. Ikkinchisi tanqidiy yo'l (SRM usuli) g'oyasi va baholash va kuzatish vositalariga (masalan, PERT Program Evaluation Research Task tizimi) asoslangan.

Bundan tashqari, tarmoqlar quyidagilarni amalga oshirishga imkon beradi:

Murakkab tizim modelini oddiy tizimlar to'plami sifatida rasmiylashtirish (bu holda logistika tizimi uning quyi tizimlari va sotib olish, omborlar, transport, zaxiralar, ishlab chiqarish, tarqatish va sotish aloqalari to'plami sifatida);

Tizimning sifat xususiyatlarini aniqlash uchun rasmiy protseduralarni tuzish;

Boshqaruv tizimining tarkibiy qismlarining o'zaro ta'sir mexanizmini uning asosiy xususiyatlari nuqtai nazaridan tavsiflash uchun aniqlash;

Logistika tizimini va uning asosiy quyi tizimlarini o'rganish uchun zarur bo'lgan ma'lumotlarni aniqlash;

Boshqaruv tizimini dastlabki o'rganish, uning tarkibiy qismlarining dastlabki jadvalini tuzish.

Tarmoq yondashuvining asosiy afzalligi shundaki, u tarmoq modelini aniq qurish mumkin bo'lganda deyarli har qanday muammolarni hal qilishda muvaffaqiyatli qo'llanilishi mumkin.

Obyektni tavsiflash usuli bo'yicha tasniflangan matematik modellarning umumlashtirilgan tavsifi jadvalda keltirilgan. 2.15. Jadvalda olingan baholarning oldindan belgilangan aniqligi bilan ushbu modellarning eng mos qo'llanilish sohalari ko'rsatilgan. Ushbu ma'lumot logistika uchun modellarni yaratish yoki muammoni hal qilish uchun ikkinchisini tanlash bosqichida foydalidir.

2.15-Jadval

Matematik modellarning o'ziga xos xususiyatlari

Model turi	Modeldan foydalanishga mos keladigan soha	Hisoblashning nisbiy aniqligi, %
algebraik	Umumiy operatsion muammolar: jarayonni tahlil qilish xarajatlar foyda va boshqalar.	
Chiziqli dasturlash modeli	Ishlab chiqarishni rejalashtirish, ishchi kuchini taqsimlash, joylashtirishni tahlil qilish, oziq-ovqat tarkibidagi ingredientlarni aralashtirish va boshqalar.	
Tarmoq (oqim)	Oldindan: tadqiqot va dizayn ishlari, ishlab chiqarish loyihalarini ishlab chiqish	
Ehtimollik-statistik:		
Navbat nazariyasi modellari	Xizmat tizimlarini baholash	
Inventarizatsiya modellari	Kompaniya, korxonada aktivlarini boshqarish	
Statistik	Etarli darajada noaniqlik bilan turli sohalarda	
Regressiya-korrelyatsiya	Boshqaruv, ishlab chiqarish, talabni tahlil qilish va boshqalar sohalarda.	

Obyektning ko'rsatilgan xususiyatlarining tabiati bo'yicha modellar tarkibiy va funktsional deb tasniflanadi, ular birgalikda individual elementlarning uning ishlashi yoki ishlab chiqarilishi paytida obyektida sodir bo'ladigan jarayonlarga o'zaro bog'liqligi va o'zaro ta'sirini aks ettiradi.

Strukturaviy modellar tarkibiy obyektning strukturaviy xususiyatlarini, o'zaro bog'liqligini va o'zaro joylashishini, shuningdek tarkibiy qismlarning shaklini aks ettirish uchun mo'ljallangan.

Funksional modellar obyektning ishlashi yoki ishlab chiqarilishi paytida sodir bo'ladigan jarayonlarni aks ettirish uchun ko'proq mo'ljallangan va odatda faza o'zgaruvchilari, ichki, tashqi yoki chiqish parametrlarini bog'laydigan algoritmlarni o'z ichiga oladi.

Obyektni rasmiylashtirish usuliga ko'ra, mavjud vaziyatlarning murakkabligi bilan ularni analitik va algoritmik modellar yordamida to'g'ri tavsiflash zarurati tug'iladi

Obyektlar va vaziyatlarning tanlangan" muhim "xususiyatlarini" mavhumlashtirish". Haqiqiy obyektlarni kompyuter simulyatsiyasi murakkab xizmat ko'rsatish tizimlari, xizmat ko'rsatish siyosati va investitsiya tanlovlarini tahlil qilish uchun qimmatli vositadir.

Obyektlarni ierarxik darajalarga taqsimlash ma'lum modellashtirish darajalariga olib keladi, ularning ierarxiyasi obyektlarning murakkabligi va boshqaruv vositalarining imkoniyatlari bilan belgilanadi. Shuning uchun, ierarxik darajaga mansubligiga ko'ra, matematik modellar mikro, makro metamodellarga bo'linadi. Ushbu modellarning farqi shundaki, ierarxiyaning yuqori darajasida model komponentlari oldingi darajadagi elementlarning ancha murakkab to'plamlari shaklini oladi. Xuddi shu fazilatlar modellarni obyekt tavsifining miqyosi va murakkabligi darajasiga qarab ajratishni belgilaydi.

Modellarning yuqoridagi tasnifi logistiklarga tashkilot missiyasini amalga oshirish uchun tezroq va to'g'ri qaror qabul qilishda yordam berish uchun mo'ljallangan.

(EHM) Kompyuter asosida axborot texnologiyalari.

Kompyuter yordamida har qanday muammo quyidagicha hal qilinadi

Topshiriq →	model →	algoritm →	dastur →	bajaruvchi
I	II	III	IV	

Muammoni hal qilish ketma-ketligi haqiqiy obyekt asosida o'xshashlik mezonlari bilan cheklangan model quriladi. Muammoni klassik texnologiya yordamida hal qilishda modelni matematik modelga etkazish kerak. Shu bilan birga, agar tadqiqotchi "muhandis – texnolog" bo'lsa, unda I va II bosqichlarda muammoni hal qilish uchun professional matematik, III va IV bosqichlarda esa dasturchi– tizim muhandisi talab qilinadi. Ushbu ish uslubi

protsessual deb ataladi. Nit (yangi axborot texnologiyalari) boshqa ish uslubini taqdim etadi – amaliy dasturlar to‘plamidan foydalanilganda atrof-muhitga yo‘naltirilgan bo‘ladi.

Amaliy dastur paketlari

Amaliy dasturlar to‘plami funktsional to‘ldirish va tizim qismidan iborat. Funktsional to‘ldirish, taxminan aytganda, muayyan muammolarni hal qiladigan individual dasturlar to‘plamidir. Ushbu vazifalar bitta yo‘nalish yoki ular aytganidek, mavzu sohasi bilan birlashtirilgan. Gap shundaki, amaliy dasturlar to‘plami universal emas, u muammoga yo‘naltirilgan, ya‘ni muayyan sinf muammolarini hal qilish uchun mo‘ljallangan.

Agar bu doimiy mexanikaning vazifalari bo‘lsa, unda funktsional tarkibga, masalan, gaz dinamikasi tenglamalarini, issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamalarini, elektromagnit maydon uchun tenglamalarni, nurlanish uchun tenglamalarni, fazali o‘tishlarni va boshqalarni hisoblash uchun dasturlar kirishi mumkin.

Har bir bunday individual dastur yoki "modul" ning mazmuni o‘ziga xosdir, ammo kirish va chiqish ma‘lumotlarini loyihalashga qo‘yiladigan talablar birlashtirilgan. Ushbu modullar ma‘lum bir dasturni olish uchun zanjirlarga, filiallarga ulanishi mumkin bo‘lgan o‘ziga xos "qora qutilar" dir.

Tizim qismi xizmat ko‘rsatish funktsiyalarini bajaradi. Bu erda asosiy vazifalar quyidagilardan iborat. Avvalo, funktsional to‘ldirishni saqlashni tashkil qilish kerak. Ammo saqlash, bu holda, har qanday ommaviy axborot vositalarida ma‘lumot yozish bilan cheklanishni anglatmaydi. Ushbu arxivda tartib bo‘lishi kerak: birinchi talabga binoan ushbu modul "ishga" yuborilishi kerak.

Amaliy dasturlar to‘plami tizim qismining asosiy maqsadi berilgan muammoni hal qila oladigan to‘liq dasturning alohida modullaridan yig‘ish imkoniyatini ta‘minlashdir. Buning uchun dasturni yaratgan kompyuter paket bilan aloqa qilishi kerak – buyruqlar berish, javob ma‘lumotlarini qabul qilish. Albatta, bu paket bilan ishlashning juda soddalashtirilgan sxemasi, ammo u bunday faoliyatning xarakterli bosqichlarini aks ettiradi. Bundan tashqari, paketdan foydalanish va shuning uchun hisob–kitoblarni to‘g‘ri bajarish uchun dasturchi yoki matematik-kompyuter olimining yuqori malakasiga ega bo‘lish shart emas (axir ular ushbu paketlarni yaratishi kerak). Shuning uchun dastur paketlari nafaqat matematiklar, balki matematik ta‘linining nisbatan kichik kursini o‘tgan ilmiy faoliyatning boshqa sohalari mutaxassislari ham ularning yordamiga murojaat qilishlari

uchun bo'lishi kerak. Qisqacha aytganda, amaliy dasturlar to'plami ma'lum bir mavzu sohasini etarli darajada qamrab oladigan dasturlar to'plami sifatida aniqlanishi mumkin. Shu bilan birga, mashina bilan aloqa ikki bosqichga kamayadi:

1) atrof-muhitning obyektiv qurilishi (ma'lum bir vazifa uchun amaliy dasturlar to'plamini tanlash);

2) atrof muhitda dasturni sozlash (ko'pincha avtomatik ravishda sodir bo'ladi). Bir vaqtning o'zida atrof muhit kerak:

- axborotni saqlashni ta'minlash;

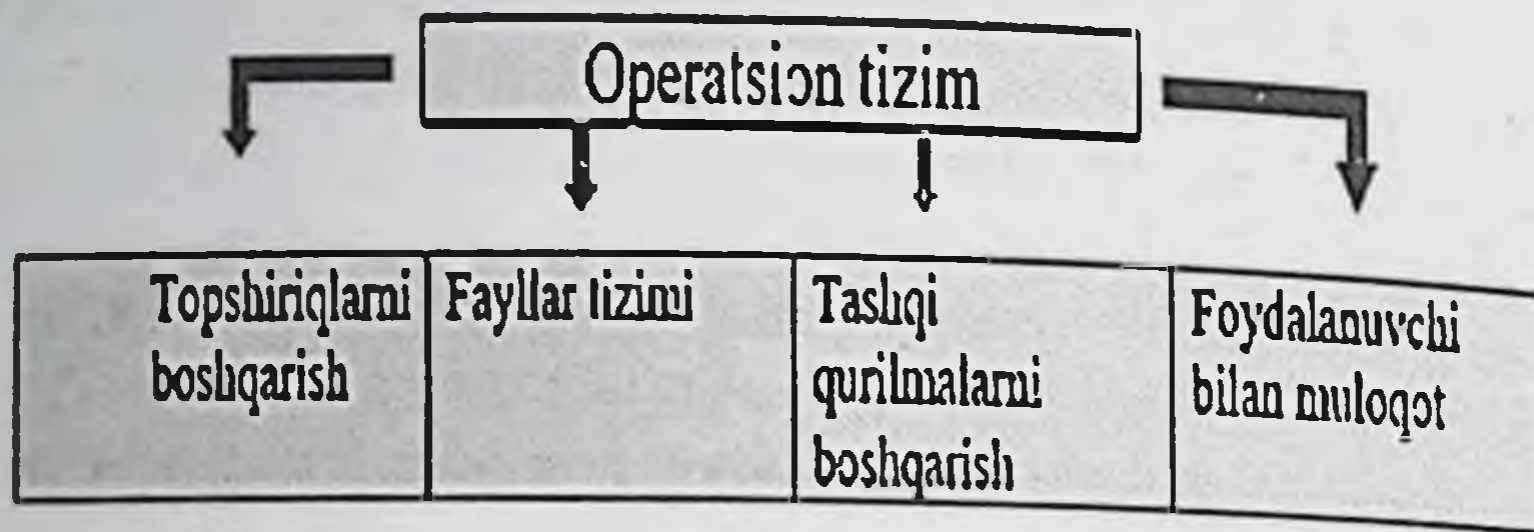
- muayyan ko'rinishga ega bo'ling (foydalanuvchi ushbu muhitda qanday muammoni hal qilish mumkinligini darhol taxmin qilishi kerak);

- muayyan xatti-harakatlarga ega bo'ling (foydalanuvchi ushbu muhitda o'zini qanday tutishni darhol tushunishi kerak).

Har qanday Amaliy dasturlar to'plami yuqori darajada rivojlangan tilga ega va biz atrof-muhitning ko'rinishi va xatti-harakatlaridan qoniqmasak, biz muhitni sozlashimiz mumkin, y'ni uning ko'rinishi va xatti-harakatlarini o'zgartirishimiz mumkin.

Muhit turlari: - operatsion tizimlar; - operatsion qobiqlar, - asboblari; - matn protsessorlari; - elektron jadvallar; - grafik paketlar; - matematik paketlar; - ma'lumotlar bazasini boshqarish tizimlari; - dasturlash tizimlari; - bilimlar bazasini boshqarish tizimlari; - ekspert tizimlari; - o'yinlar; - va boshqalar

Operatsion tizim-bu muammolarni hal qilish uchun eng oddiy funktsiyalarni bajaradigan, ma'lumotlarni saqlash usulini belgilaydigan dasturlarning ma'lum bir to'plami (masalan, MS DOS (Microsoft disk operatsion tizimi). Tizim ma'lum bir uzunlikni (baytdagi o'lcham) egallagan va noyob nom va kengaytmaga ega bo'lgan ma'lumotlar to'plami bo'lgan fayllar bilan ishlaydi. Fayl tizimi-kompyuterda xotirani taqsimlash tizimi. Dos matn muharririda yozilgan bitta varaq taxminan 2 kilobayt xotirani oladi). Har bir faylda uning tug'ilgan vaqti va sanasi haqida ma'lumotlar mavjud. Fayllarni nusxalash, ko'chirish, nomini o'zgartirish, o'chirish va tahrirlash mumkin. Operatsion tizimning o'zi modulli, ya'ni bir nechta dasturlardan iborat. Tizimning yadrosi-bu doimiy ravishda ramda joylashgan qism, tranzitlar-ko'chirilgan OS modullari. Operatsion tizim quyidagi sxema shaklida taqdim etilishi mumkin (rasm.6.2):



6.2-rasm: Operatsion tizim sxemasi

Fayl tizimi boshqaruvni talab qiladi. Fayl tizimini boshqarish dasturi MS deb nomlanadi. SYS. Tashqi qurilmalarni boshqarish jismoniy va mantiqiy boshqaruvdan iborat. Jismoniy boshqaruv apparat (qurilma boshqaruvchilari) tomonidan amalga oshiriladi. Mantiqiy-maxsus dasturlar-qurilma drayverlari. Buning uchun IO dasturi mo'ljallangan. SYS (input – output sys tizimi). Io faylida. SYS—da standart drayverlari to'plamini o'z ichiga olgan BIOS dos-ning asosiy kirish kirish tizimi mavjud. Ushbu fayl drayverlarni o'z ichiga oladi:

- moslashuvchan magnit disk drayveri;
- qattiq magnit disklardagi disk (qattiq disklar);
- displey va klaviatura;
- printer va printer portlari; operatsion tizim vazifalarni boshqarish fayl tizimi tashqi qurilmalarni boshqarish foydalanuvchi bilan dialog
- ketma-ket portlar;
- bo'sh qurilma (NUL);
- tizim soati
- va boshqalar.

Dos konfiguratsiya faylidagi qurilma buyrug'i yordamida siz drayverlaringizni qo'shishingiz mumkin:

- ANSI kengaytirilgan displey drayveri. SYS;
- Disk pseudodisk drayveri. SYS-qattiq diskka teng keladigan, ammo operativka'da joylashgan qurilma);
- sichqoncha drayveri va boshqalar.

Kompyuterni yoqgandan va IO buyruqlarini yuklaganingizdan so'ng. SYS va MSDOS.Sys kompyuter hali ham foydalanuvchidan

buyruqlarni qabul qila olmaydi. Fayl "tabiiy" tilda kompyuter bilan aloqa qilish uchun mo'ljallangan COMMAND.COM. Qulaylik uchun bitta amaliy dasturlar paketi bilan bog'liq

bo'lgan bir nechta fayllar bir xil nomga ega bo'lishi mumkin, ammo nomidan nuqta bilan ajratilgan va uchta belgidan iborat bo'lishi mumkin bo'lgan kengaytma bilan farq qiladi (masalan, kengaytmali fayllar .exe, .com, .BAT-bajariladigan dasturlar dasturlarga tegishli, qolganlari yordam fayllari, matnli fayllar, kutubxona va ma'lumotlar bazasi fayllari va boshqalarga munosabatni anglatadi).

Operatsion qobiqlar-bu OS darajasidagi harakatlarni bajarishga imkon beradigan, ammo yanada vizual va qulay interfeysga ega bo'lgan muhitlar (foydalanuvchi aloqasi). O'tgan asrning 90-yillariga qadar eng keng tarqalgan qobiq Norton Sommander bo'lib, u barcha fayl nomlarini o'lchamlari va tug'ilgan sanasi bilan aks ettiruvchi ikkita Oynani ifodalaydi. Derazalar ostida funktsional tugmachalardan birining buyrug'i bilan fayllar ustidagi barcha asosiy harakatlarni bajarishga imkon beradigan buyruqlar to'plami (menyu) mavjud. 1996 yildan boshlab Windows qobiqlariga o'tish boshlandi, ular multimedia mavjud bo'lganda mashina bilan eng qulay aloqani ta'minlaydi.

Asboblar-bu mashina darajasida texnik muammolarni hal qilishga imkon beradigan paketlar. Bularga antivirus dasturlari, qattiq diskni tekshirish va davolash dasturlari, yo'qolgan fayl va papkalarni tiklash dasturlari, diskni defragmentatsiya dasturlari va boshqalar kiradi.

Matn protsessorlari-hujjatlarni tayyorlash va qayta ishlash uchun dasturlar to'plami (Notepad, WordPad, Microsoft Word va boshqalar).

Elektron jadvallar. Model darajasida bizning vazifamiz jadvallarga qisqartirilganda qulaydir va bitta qiymatni o'zgartirib, siz butun jadvalni qayta hisoblashingiz mumkin. Eng keng tarqalgan protsessor Microsoft Excel.

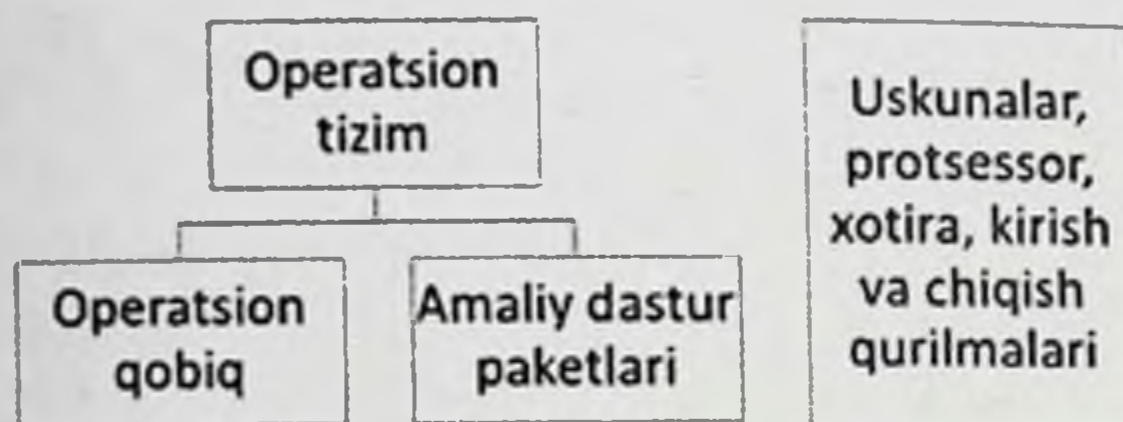
Grafik paketlar -grafik yaratish uchun ishlatiladi (chizmalar, chizmalar, eskizlar, dizayn, animatsiya, reklama roliklari va boshqalar). Skaner, plotter, grafopostroyler bilan ishlash.

Matematik paketlar-bizning modelimiz matematik modelga tushganda qo'llash qulay bo'lgan dasturlar guruhi.

Ma'lumotlar bazasini boshqarish tizimlari-katta hajmdagi ma'lumotlarni buyurtma qilish, filtrlash, ma'lumotlarni tanlash.

Dasturlash tizimlari sizga mashina tilida dasturlash imkonini beradi. Mnemokodlarni (harf kodlari tili) mashina kodlariga aylantirish past darajadagi dasturlash tili bo'lgan maxsus assembler dasturi tomonidan

amalga oshiriladi. Yuqori darajadagi tillar dasturlarni tushunarli soʻzlar bilan qulay va sodda tarzda yozishga imkon beradi, ammo oʻrganish qiyin boʻlgan belgilar toʻplamidan tashkil topgan assemblerga qaraganda ancha sekin ishlaydi. Birinchi yuqori darajadagi til buxgalteriya dasturlarini hal qilish uchun FORTRAN (formula translation) edi. TurboPaskal tillari juda keng tarqalgan boʻlib, unchalik katta boʻlmagan dasturlarni yozish uchun moʻljallangan va C++ – professional dasturchilar uchun. Umuman olganda, yuqorida aytilganlarning barchasi quyidagi sxema shaklida ifodalanishi mumkin (rasm. 6.3):



6.3-rasm. Kompyuter tuzilishi

III BOB. TIBBIYOTDA MATEMATIK MODELLASHTIRISH

Tibbiyotda matematik modellashtirish matematik modellar yordamida inson organizmidagi normal patologiyadagi fiziologik jarayonlarni o'rganishga qaratilgan. Shaxsiylashtirilgan va populyatsiyaga asoslangan matematik modellar mavjud. Shaxsiylashtirilgan modellar ma'lum bir bemorni davolash natijasini tashxislash yoki bashorat qilish uchun ishlatiladi, o'rtacha modellar asosida yaratilgan jismoniy va fiziologik qonunlardan kelib chiqadigan yangi munosabatlarni aniqlash uchun ishlatiladi.

Tahlillarga ko'ra matematik modellarni ishlab chiqish faqat muammolarni hal qiluvchi, ma'lumotlar provayderi va modellashtirish natijalarining tarjimoni sifatida ishlaydigan klinisyenlar bilan o'zaro aloqada mantiqiy bo'ladi. Oddiy fiziologik va patologik jarayonlarni matematik modellashtirish hozirgi vaqtda ilmiy tadqiqotlarning eng dolzarb yo'nalishlaridan biridir. Haqiqat shundaki, zamonaviy tibbiyot asosan eksperimental fan bo'lib, turli xil vositalar yordamida ma'lum kasalliklarning rivojlanishiga ta'sir ko'rsatadigan katta empirik tajribaga ega. Biologik muhitdagi jarayonlarni batafsil o'rganishga kelsak, ularning eksperimental tadqiqotlari cheklangan va ularning tadqiqotlarining eng samarali apparati matematik modellashtirishdir. Ushbu apparatni ishlab chiqish quyidagilarni o'z ichiga oladi — - uzluksiz muhit mexanikasining qisman hosilalaridagi tenglamalar tizimi asosida biologik muhitning xatti-harakatlarini tavsiflovchi jarayonning yopiq mexanik matematik modelini qurish; - ma'lum bir muhitning xatti-harakatlarini tavsiflovchi tizimini yopadigan reologik munosabatlarni ishlab chiqish (gidrodinamika uchun bu holat tenglamalari, deformatsiyalanadigan qattiq jismlar mexanikasi uchun — kuchlanish va kuchlanish tensorlarining tarkibiy qismlari o'rtasidagi munosabatlar); - muammoning to'g'ri matematik bayoni, ya'ni yopiq tizimini taqdim etish, uni hal qilish uchun zarur bo'lgan boshlang'ich va chegara shartlarini, aloqa chegaralaridagi shartlarni belgilash (agar mavjud bo'lsa); - ma'lum bir muammoni hal qilishning o'ziga xos xususiyatlariga moslashtirilgan hisoblash usullarini ishlab chiqish yoki amalga oshirish; - muammoni raqamli echish algoritmini ishlab chiqish va uni dasturiy muammoni hal qilish va olingan natijalarni vizualizatsiya qilish. Albatta, biotibbiyot muammolarini o'rganishda oddiy differentsial tenglamalar (ode) apparatlari, algebraik chiziqli bo'lmagan tenglamalar tizimlari, differentsial xaritalar, bifurksiyalar nazariyasi, betartiblik va tartib matematik tavsiflash uchun ishlatiladigan jarayonlar mavjud. Bunday matematik apparatlardan

muvaffaqiyatli foydalanish misollari kasallikning rivojlanishini bashorat qilish uchun [1], biologiya, kimyoviy kinetika va boshqalarda chiziqli

bo'lmagan dinamika muammolarini hal qilish uchun [2-5] da keltirilgan. Bundan tashqari, ba'zi tibbiy jarayonlarni o'rganishda qattiq ode tizimlarini raqamli ravishda hal qilish kerak, masalan, kimyoviy reaksiyalar jarayonini modellashtirishda, bu keng adabiyotga bag'ishlangan mustaqil muammo [6-8]. MSS muammolarini hal qilishning raqamli usullarini ishlab

chiqish gaz dinamikasi muammolaridan boshlandi (atmosferaning zich qatlamlarida tushadigan jismlar oqimi, nuqta portlashi). Keyin ushbu usullar yordamida plazma fizikasi, deformatsiyalanadigan qattiq mexanika muammolari hal qilindi.

Boshqalar ma'lumki, ba'zi matematik usullar biomedikal muammolar ta'siri ostida rivojlangan. Masalan, matematik statistika usullari, Volterra tenglamasi, chiziqli

bo'lmagan, tartib nazariyasi, neyron tarmoqlari orqali hal qilish usullari orqali ishlarida.

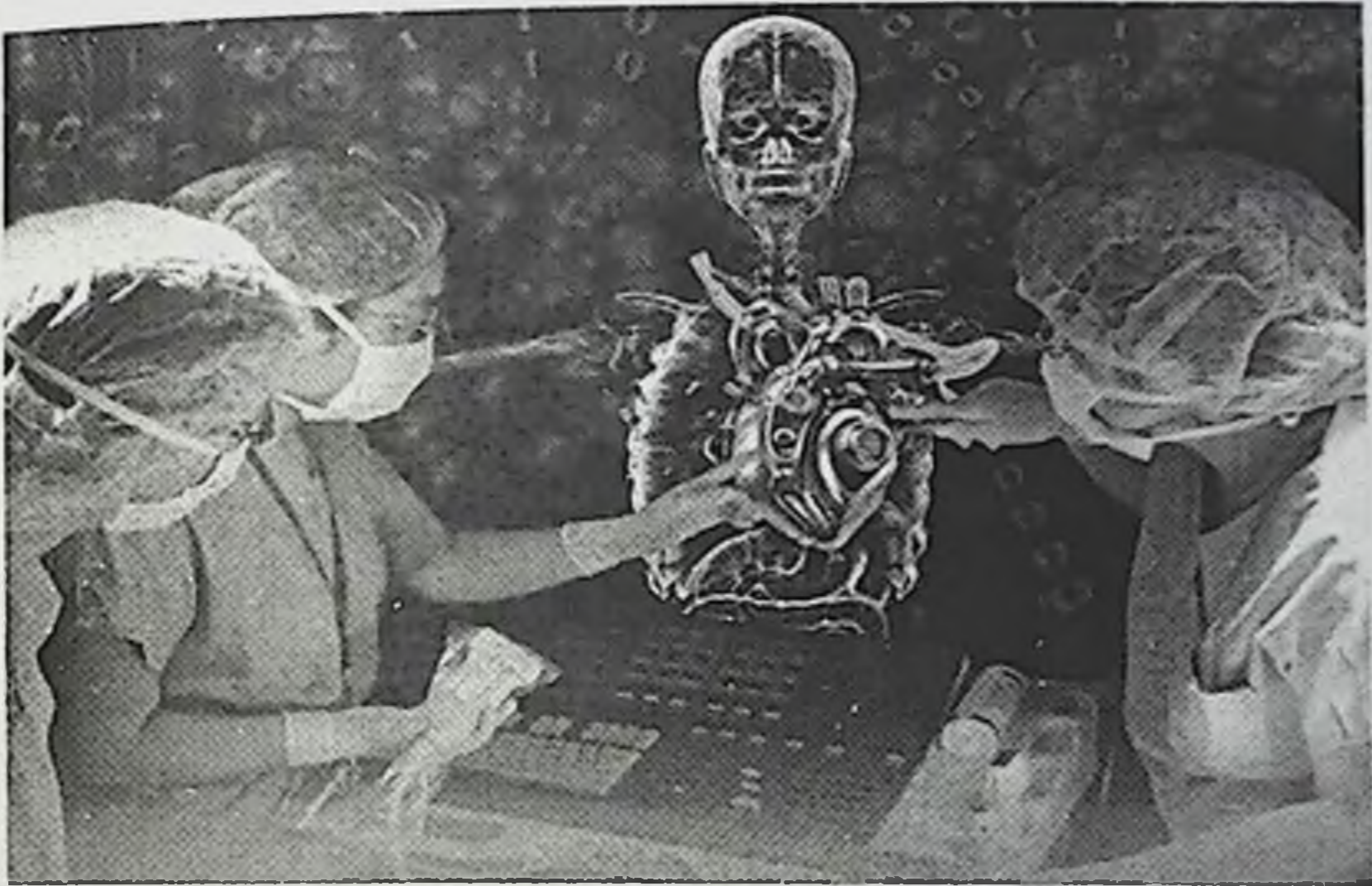
3.1. Obyektning rasmiy modeli

Tibbiy model tibbiy psixiatr R. D. Laing tomonidan "oila siyosati va boshqa insholar" (1971) kitobida "barcha shifokorlar o'qitadigan protseduralar

to'plami" uchun kiritilgan atama.[1] unga shikoyatlar, anamnez, fizik tekshiruv, agar kerak bo'lsa, qo'shimcha testlar, tashxis, davolash va davolash bilan va davolanmasdan prognoz kiradi. Tibbiy model tibbiyot haqidagi asosiy taxminlarni o'zida mujassam etgan bo'lib, ular sababiy bog'liqlik va yo'q qilish asosida jismoniy yoki psixologik qiyinchiliklar bo'yicha tadqiqotlar va nazariyalarni

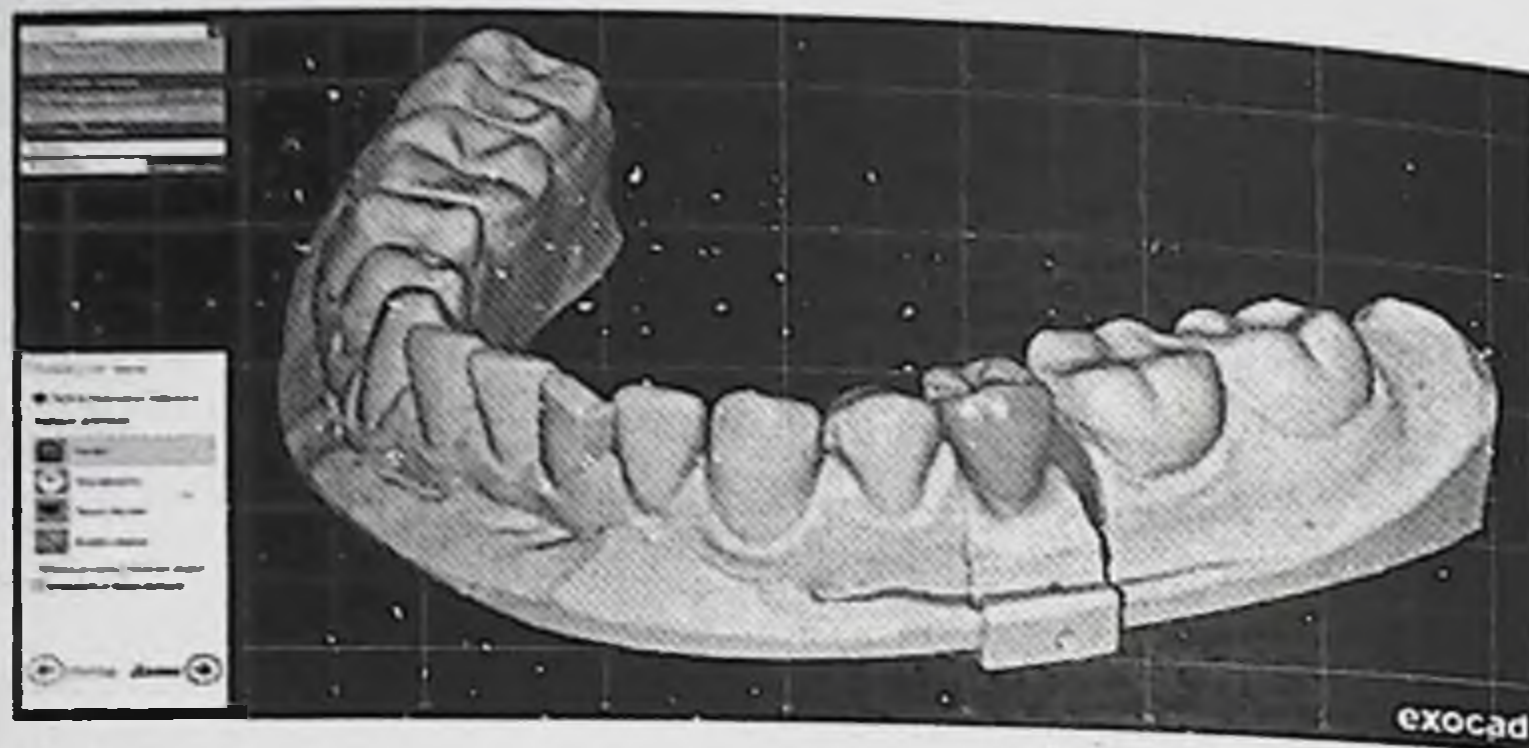
rag'batlantiradi. Uni boshqa asosiy taxminlarni amalga oshiradigan boshqa modellar bilan taqqoslash mumkin. Bunga muqobil sog'liqni saqlash harakatining yaxlit modeli va nogironlar huquqlari harakatining ijtimoiy modeli, shuningdek, ruhiy kasalliklarni tiklash modellari kiradi. Masalan, Gregori Batesonning shizofreniyaning er-xotin bog'lanish nazariyasi tibbiy sabablarga emas, balki atrof-muhitga qaratilgan. Ushbu modellar bir-birini istisno qilmaydi. Model mutlaq haqiqatni tasdiqlash yoki e'tiqod tizimi emas, balki bemorlarga yordam berish vositasidir. Shunday qilib, foydalilik asosiy mezon bo'lib, modelning foydaliligi kontekstga bog'liq.

Tashxisning ahamiyati to'g'ri tashxis qo'yish (ya'ni kasallik belgilari va alomatlarini tegishli kasallik guruhlariga ajratish) tibbiy model uchun juda muhimdir. Bemorning belgilari va alomatlarini to'g'ri diagnostika toifasiga kiritish mumkin: shifokorga vaqt o'tishi bilan kasallikning borishi (uning prognozi) haqida klinik jihatdan foydali ma'lumotlarni taqdim etish; buzilishning o'ziga xos asosiy sababi yoki sabablarini ko'rsating (yoki hech bo'lmaganda taklif qiling); va shifokorni ushbu kasallikni aniq davolashga yo'naltiring.



Misol uchun, agar bemor ma'lum bir kasallik belgilari bilan birlamchi tibbiy yordam ko'rsatuvchi provayderga murojaat qilsa, bu to'g'risida to'liq ma'lumot olish, tekshiruvlar o'tkazish (masalan, auskultatsiya va palpatsiya) va ba'zi hollarda diagnostika testlarini tayinlash orqali birlamchi tibbiy yordam

ko'rsatuvchi simptomlarning sababi haqida asosli xulosa chiqarishi mumkin. Klinik tajriba va mavjud dalillarga asoslanib, sog'liqni saqlash mutaxassisi muvaffaqiyatli bo'lishi mumkin bo'lgan davolash usullarini aniqlay oladi.



Hisoblashda obyekt modeli ikki tomonlama bog'liq, ammo har xil qiymatga ega:

1. Obyektlarning xususiyatlari, umuman olganda, ularni ishlatadigan kompyuter dasturlash tili, texnologiyasi, notatsiyasi yoki metodologiyasida. Masalan, Java obyekt modellari, komponentli obyekt modeli (KOM) yoki obyekt modelashtirish texnikasi (OMT). Bunday obyekt modellari odatda sinf, universal funktsiya, xabar, meros, polimorfizm va inkapsulyatsiya kabi tushunchalar yordamida aniqlanadi. Dasturlash tillarining rasmiy semantikasining bir qismi sifatida rasmiylashtirilgan obyekt modellari bo'yicha keng adabiyotlar mavjud.

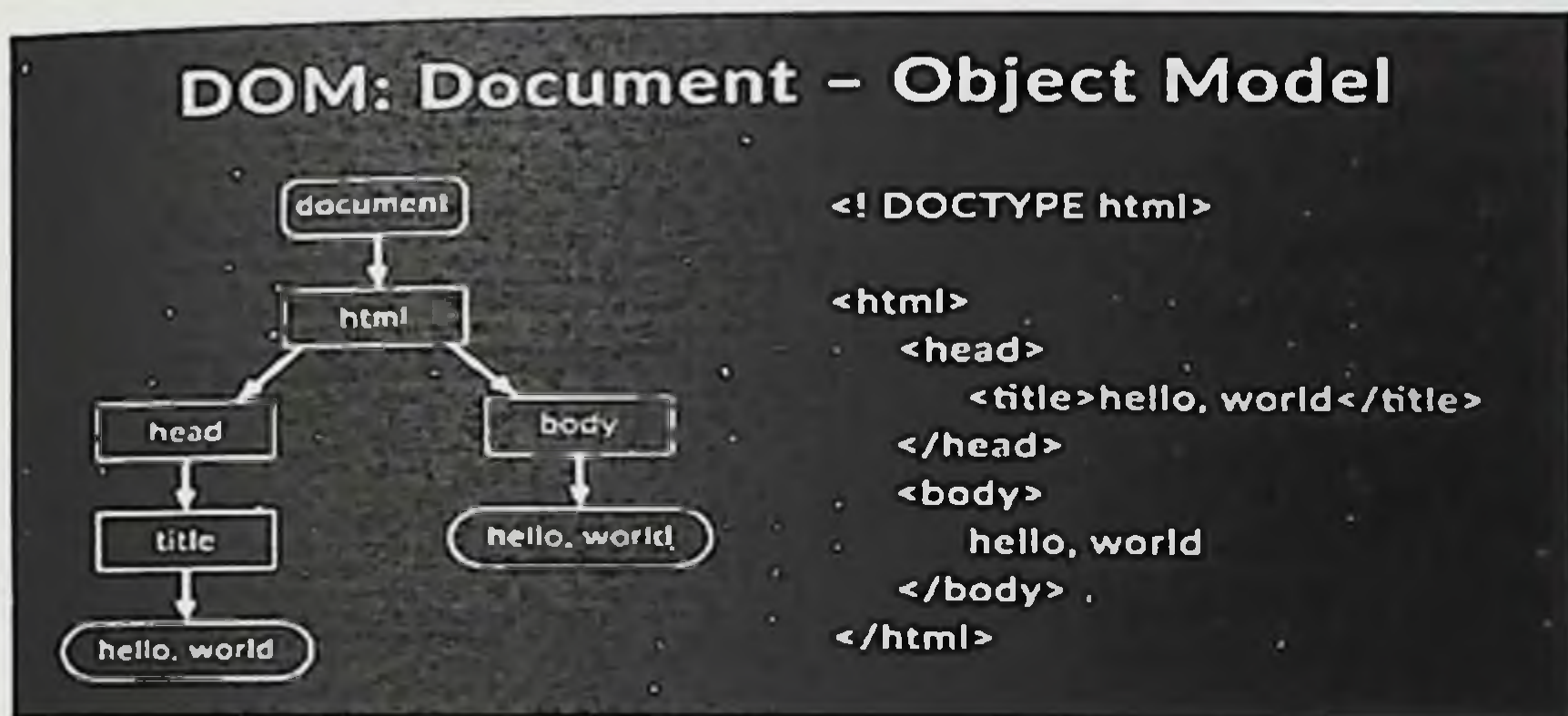
2. Dastur o'z dunyosining ba'zi qismlarini o'rganishi va boshqarishi mumkin

bo'lgan obyektlar yoki sinflar to'plami. Boshqacha qilib aytganda, har qanday xizmat yoki tizimga obyektga yo'naltirilgan interfeys. Bunday interfeys taqdim etilgan xizmat yoki tizimning obyekt modeli deb ataladi. Masalan, hujjat obyekt modeli (DOM) [1] veb-brauzerda sahifani ifodalovchi obyektlar to'plami bo'lib, skript dasturlari tomonidan sahifani tekshirish va dinamik ravishda o'zgartirish uchun foydalaniladi. Microsoft Excel obyekt modeli mavjud [2] Microsoft Excel-ni boshqa dasturdan boshqarish uchun va ascom teleskop drayveri [3] astronomik teleskopni boshqarish uchun obyekt modelidir. Obyekt modeli quyidagi muhim funktsiyalardan iborat: obyekt havolasi obyektlarga kirish obyekt havolalari orqali amalga oshirilishi mumkin. Obyektda usulni chaqirish uchun har qanday argumentlar bilan birga obyekt va usul nomiga havola ko'rsatiladi. Interfeyslar interfeys usullar to'plamining imzosini ularning bajarilishini ko'rsatmasdan aniqlashni ta'minlaydi. Obyekt ma'lum bir interfeysni taqdim etadi, agar uning sinfida ushbu interfeys usulini amalga oshiradigan kod mavjud bo'lsa. Interfeys, shuningdek, o'zgaruvchilar yoki parametrlar turini va usullarning qaytish qiymatlarini e'lon qilish uchun ishlatilishi mumkin bo'lgan turlarni belgilaydi. Amallar obyektga yo'naltirilgan

dasturlashda harakat boshqa obyektga usulni chaqiradigan obyekt tomonidan boshlanadi. Chariruv usulni bajarish uchun zarur bo'lgan qo'shimcha ma'lumotlarni o'z ichiga olishi mumkin. Qabul qiluvchi tegishli usulni bajaradi va keyin boshqaruvni chaqiruvchi obyektga qaytaradi,

Ba'zida natijani beradi. Dastur istisnolari turli xil xatolar va turli darajadagi jiddiylikning kutilmagan sharoitlariga duch kelishi mumkin. Usulni bajarish paytida turli xil muammolar aniqlanishi mumkin. Istisnolar kodni murakkablashtirmasdan xato shartlarini qayta ishlashning oson usulini

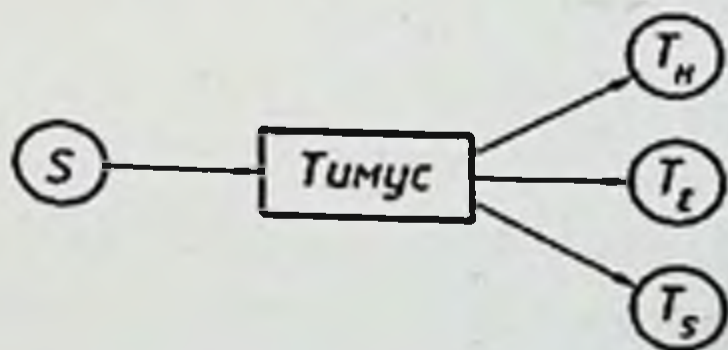
ta'minlaydi. Muayyan kutilmagan holatlar yoki xatolar yuzaga kelganda istisno yaratish uchun kod blokini aniqlash mumkin. Bu shuni anglatadiki, boshqaruv istisnoni ushlab turadigan boshqa kod blokiga o'tadi.



3.2. Immunologiyada matematik modellar

Immunitet reaksiyasining asosiy tarkibiy qismlari

Immunokompetent hujayralarning prekursorlari (limfotsitlar va leykotsitlar), shuningdek qon hujayralarining prekursorlari suyak iligida ishlab chiqariladi deb taxmin qilamiz. Bunday hujayralarning bir qismi timus beziga kirib, t-limfotsitlar klonining rivojlanishini boshlaydi, ular ko'payadi va t-limfotsitlar-yordamchilar, TE-limfotsitlar-effektorlar (qotillar) va t-limfotsitlar-supressorlar (1-rasm.)

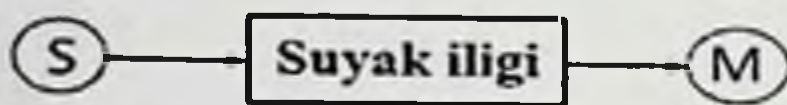


1-rasm: S ildiz hujayrasini T-limfotsitlarga farqlash sxemasi. T_E - limfotsitlar-effektorlar, T_H -limfotsitlar-yordamchilar, T_S -limfotsitlar supressorlari

Suyak iligi C hujayralarining yana bir qismi B limfotsitlarining prekursorlarini hosil qiladi, ular B limfotsitlariga aylanadi: (сумка Фабрициуса), deb ataladi. Sutmizuvchilarning suyak iligida (2-rasm). Suyak iligida qolgan ildiz hujayralarining bir qismi etuk makrofaglarga aylanadi M (3-rasm) va boshqa periferik qon oq qon hujayralari turlari



2-rasm. S ildiz hujayrasini B-limfotsitlarga farqlash sxemasi



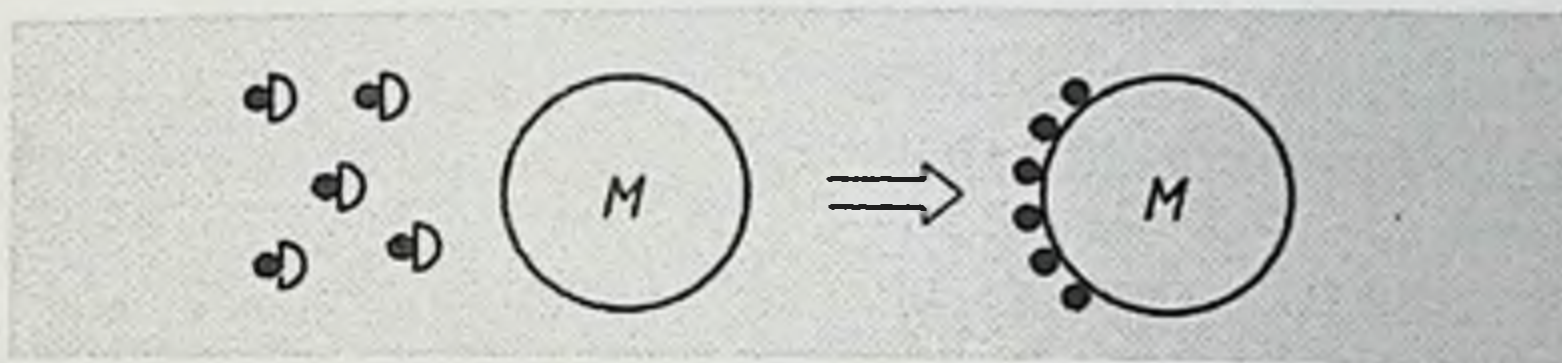
3- rasm. Ildiz hujayralarining differentsiatsiyasi sxemasi S makrofaglarga M va boshqa periferik qon hujayralari turlari

T-limfotsitlar populyatsiyasining har biri immunitet jarayonida o'z funksiyasini bajaradi. Shunday qilib, T_H -yordamchilari ma'lum bir antijen bilan o'zaro

Ta'sirlashadi va b hujayralarining plazma hujayralariga aylanishiga yordam beradi. T_E - effektor limfotsitlari asosan tana hujayralarining genetik "tozaligi" uchun javobgardir. Ular mutatsiyalar yoki antigen shikastlanishi tufayli genetik tuzilishini o'zgartirgan qayta tug'ilgan hujayralarni yo'q qiladi. T_S supressorlariga kelsak, ular organizmning o'z antijenlariga va organizmda yashovchi turli xil antijenlarga (masalan, ichak bakteriyalari, patogen bo'lmagan mikroorganizmlar va boshqalar) sezgirlik darajasini yoki yaxshiroq, befarqlik darajasini saqlab turadilar. Immunitet reaktsiyasini tartibga solishda supressorlar ham katta rol o'ynaydi.

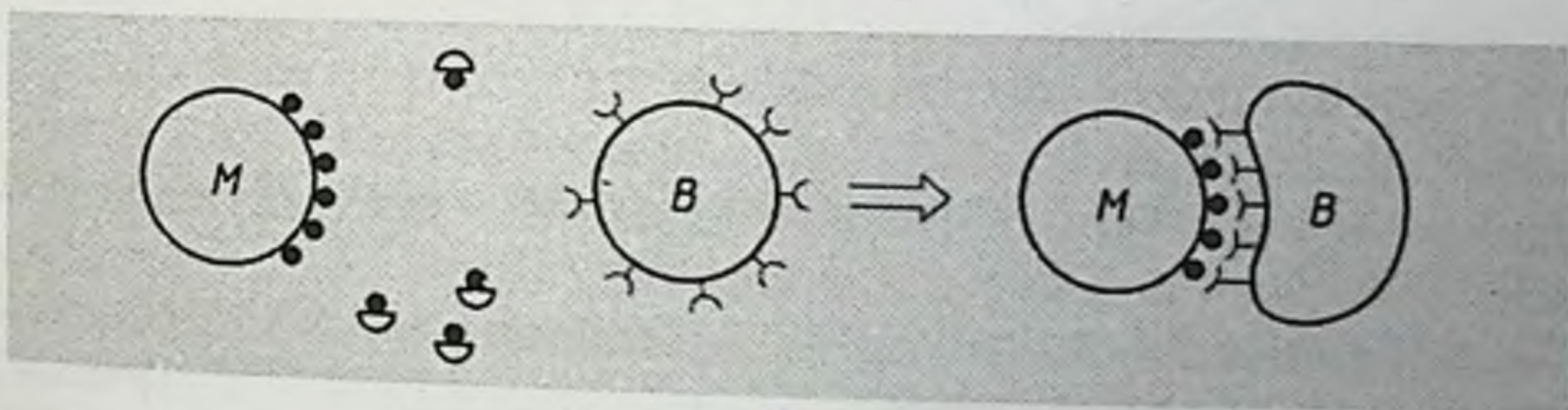
B- limfotsitlari va M makrofaglariga kelsak, ular turli funksiyalar bo'yicha ham farqlanadi. Biroq, bizning modellarimizdagi soddalik uchun biz ularni bir hil populyatsiyalar deb hisoblaymiz. Sog'lom tanada antigenlarni bog'lash va zararsizlantirish qobiliyatiga ega bo'lgan IgM, IgG, IgA, IgD va IgE (antikorlar) immunoglobulinlarini ishlab

chiqaradigan plazma hujayralari doimiy ravishda hosil bo'ladi. Antigenga immunitet reaksiyasining eng oddiy mexanizmini ko'rib chiqishga o'tamiz. Bakterial yoki virusli kasallik, birinchi navbatda, tanaga kirgan antijenler (bakteriyalar, viruslar) immunitet tizimidan etarlicha aniq reaksiyaga duch kelmasdan ko'payadigan kasallikning yashirin rivojlanish davrini o'z ichiga oladi. Ushbu davrda immunitet tizimi ma'lum bir antigenni zararsizlantirish reaksiyasiga moslashadi. Bunday sozlashning sxematik diagrammasi sohaning etakchi olimlari Miller, Feldman, Petrov asarlarida berilgan. Uning mohiyati quyidagicha. Antikorogenez jarayoni uch turdagi hujayralarning birgalikdagi ishi bilan boshlanadi: makrofag, b limfotsit va t limfotsit. Endi aniqlanganidek, limfotsitlarga antigen etkazib beradigan asosiy hujayra makrofagdir. M makrofaglari bilan uchrashadigan V antijenlari ular tomonidan so'riladi, qayta ishlanadi, shundan so'ng makrofaglar ularning yuzasida antijenik determinantlardan "klip" hosil qiladi. Sxematik ravishda, bu holat 4-rasmda ko'rsatilgan.



4-rasm. Makrofag yuzasida antijenik determinantlarning "klipi" ning shakllanishi

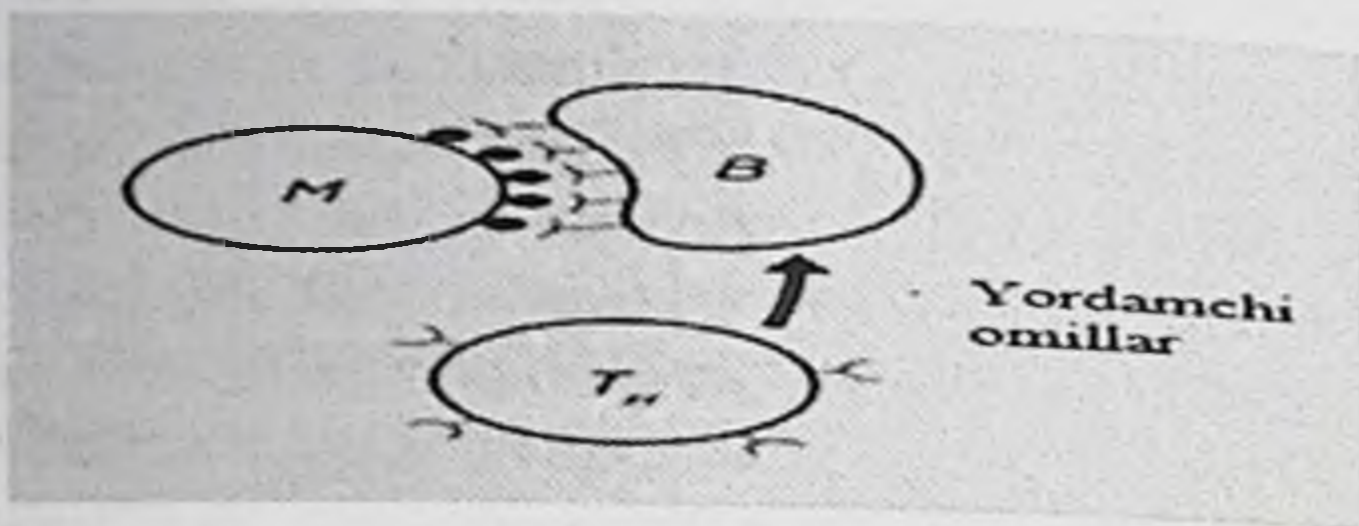
M makrofaglari bu "klip" ni B-limfotsitlarga beradi, natijada V antigen determinantlari immunoglobulin tabiatidagi B-limfotsitlarning (IgM va IgG) sirt retseptorlari bilan bog'lanadi (5-rasm).



5-rasm. Makrofaglarning determinantlarini taqdim etishi b-limfotsitlar

Antigen bilan faollashtirilgan T_H yordamchisi ishtirokida b-limfotsit rag'batlantiriladi, u plazma hujayralari tomon bo'linishni va farqlashni boshlaydi (6-rasm). Plazma hujayralari klonini hosil qilishning bunday

kaskad jarayoni bir necha soatdan bir necha kungacha davom etadi (7-rasm).



6-rasm. B-limfotsitlarni stimulyatsiya qilish jarayonining sxemasi

Shunday qilib, taqdim etilgan soddalashtirilgan sxemaga ko'ra, B-limfotsitlarni antikorogenez jarayoniga kiritish uchun th yordamchisi ishtirokida sirt retseptorlarini antigen bilan bog'lash orqali hosil bo'lgan signallar majmuasi talab qilinadi. Biz uni immunitet reaksiyasining eng oddiy modelida B-limfosit ig retseptorlari bilan antigen komplekslari soni bilan belgilanadigan bitta umumlashtirilgan signal sifatida ko'rib chiqamiz

V f-kompleks bilan.



7-rasm: Kaskad jarayoni sxemasida plazma hujayralarini ketma-ket bo'linishi

Ikki yoki undan ortiq turdagi antijenler inson tanasiga kirganda, plazma hujayralari kaskadini shakllantirish jarayoni murakkablashadi. Darhaqiqat, Agar bizda V1 va V2 antijenlarining ikkita xil turi bo'lsa, unda tanada V1F1 va V2F2 komplekslarining ikki xil turi paydo bo'ladi. Bir vaqtning o'zida bir nechta antijenlarga reaksiya berilganda, har xil turdagi V antijenlari makrofagga joylashishi mumkin. Keyin, V F komplekslari ustun bo'lgan antijenlarga xos bo'lgan B limfositining stimulyatsiyasi paydo bo'ladi.

Ushbu stimulyatsiya odatda T_H yordamchi hujayra ishtirokida sodir bo'ladi.

Hozirgi vaqtda Antikor hosil qiluvchi hujayralar faoliyatining ikkita asosiy gipotezasi mavjud. Birinchisi, xuddi shu plazma hujayrasi avval IgM ishlab chiqaradi, so'ngra IgG ishlab chiqarishga o'tadi va hokazo. Boshqa bir gipoteza shuni ko'rsatadiki, har bir kaskad qat'iy belgilangan turdagi IgM, IgG yoki IgA antikorlarini ishlab chiqaradi va hokazo. Ammo, JSST (Jamoat sogliqni saqlash tashkiloti) komissiyasining ta'kidlashicha, ushbu ikkala yo'l ham bir vaqtning o'zida mavjud bo'lishi mumkin. Agar organizm uchun antigen "yangi" bo'lib chiqsa, avval IgM ishlab chiqaradigan plazma hujayralari hosil bo'ladi deb taxmin qilamiz. Bunday immunoglobulinlar ko'p determinant asosga ega va immunitet tizimi o'ziga xos antijenlarga qarshi kurashish uchun tuzilgan dastlabki davrda tanadan foydalanish "foydali".

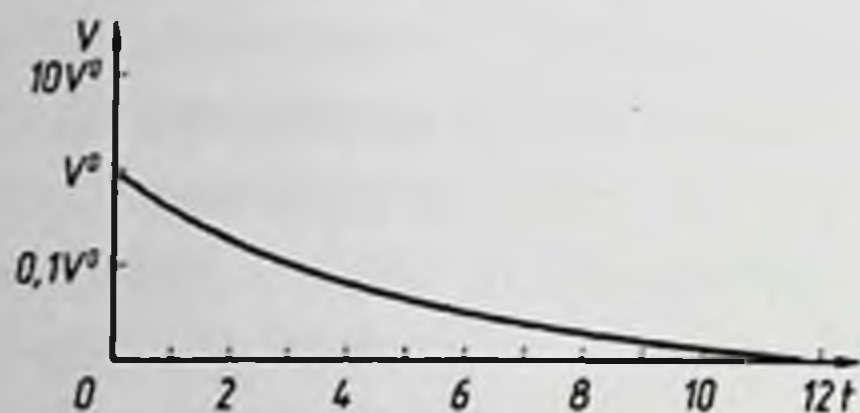
Jarayonni optimallashtirish amalga oshirilgandan so'ng (molekulyar darajada qanday qilib hali aniq emas), IgM-larga qaraganda engilroq va harakatchan bo'lgan IgG ishlab chiqarishni kuchaytirish boshlanadi va shuning uchun ma'lum bir antijen bilan uchrashish ehtimoli ular uchun IgM-larga qaraganda ancha katta. Ayni paytda tananing antigenga qarshi eng faol immun reaksiyasi mavjud. Antigen populyatsiyasi asosan bostirilgandan so'ng, Antikor sintezi IgG dan IgA ga o'tadi. D va E immunoglobulinlari dinamikasi haqida kamroq ma'lumot mavjud va ularning immun jarayon dinamikasidagi roli hali to'liq aniqlanmagan.

IgE darajasining oshishi darhol yuqori sezuvchanlik paydo bo'lishi bilan bog'liqligi aniq. Biz antikorlarning shakllanishi bilan bog'liq immunitet jarayonini ko'rib chiqdik. Bunday immunitet gumoral deb ataladi; u organizm hayotida alohida rol o'ynaydi. Shu bilan birga, organizm uchun qayta tug'ilgan yoki begona hujayralarni yo'q qiladigan T_E -limfotsitlar (effektorlar) yordamida amalga oshiriladigan uyali immunitet muhim ahamiyatga ega. Keyingi boblarda ko'rib chiqiladigan matematik modellar antigenga immunitet reaksiyasini quyidagi tasniflashga imkon beradi: subklinik shakl, tiklanish bilan o'tkir shakl, o'limga olib keladigan o'tkir shakl, surunkali shakl. Ularni ketma-ket ko'rib chiqing.

Kasallikning subklinik shakli.

Kasallikning bu shakli odatda yashirin bo'lib, tananing fiziologik buzilishi bilan bog'liq emas. Bu tananing allaqachon ma'lum bo'lgan

antigen bilan odatiy aloqasi va hozirgi vaqtda tanada uni bostirish uchun etarli resurslar mavjud: o'ziga xos immunoglobulinlar, te limfotsitlar-effektorlar, interferon, makrofaglar va immunitet tizimining boshqa tarkibiy qismlari. Bunday holda, viruslar yoki bakteriyalarning ko'payadigan populyatsiyasi mavjud resurslar bilan bostiriladi va antigen organizmning sezilarli immun va fiziologik reaksiyalarini keltirib chiqaradigan konsentratsiyalarga etib bormasdan yo'q qilinadi. Bu holda antijen populyatsiyasining dinamikasi sxematik ravishda 8-rasmda keltirilgan. Tana kundalik hayotida ko'plab antijenik stimullar bilan aloqa qilganligi sababli, odatda ularga qarshi immunitet jarayoni subklinik tarzda sodir bo'ladi. Bu immunitet tizimining ajoyib xususiyatlaridan biridir.

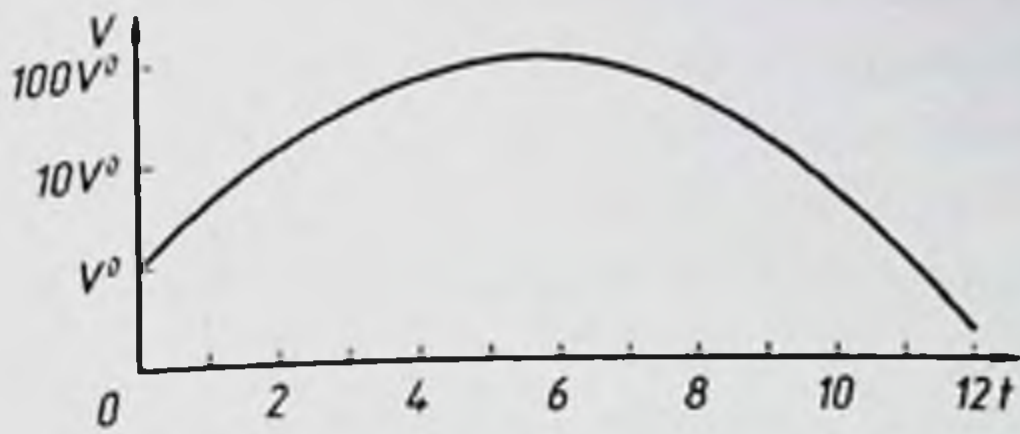


8-rasm. Kasallikning subklinik shaklida antigen konsentratsiyasining dinamikasi

Shuni ta'kidlash kerakki, kasallikning subklinik shakllari IgM va IgA ishlab chiqarishni sezilarli darajada oshirmasdan biroz kuchayishi bilan birga keladi. Bunday holat odatda "xotira" antijenining T va B hujayralari uchun allaqachon "tanish" bilani uchun takroriy aloqada bo'ladi.

Kasallikning o'tkir shakli

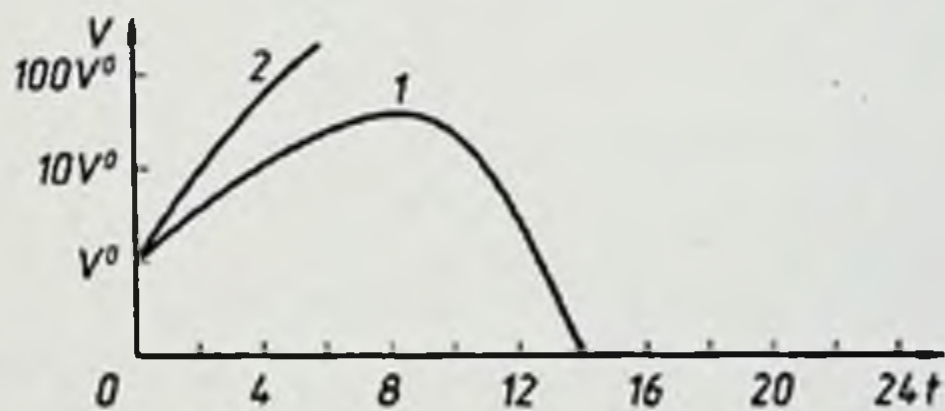
Agar tanaga kirgan antigen "notanish" bo'lib chiqsa, ko'payish orqali uning konsentratsiyasining oshishi uni tanib olish jarayoni va IgM ishlab chiqaradigan plazma hujayralarining shakllanishi bilan birga keladi. Bu jarayon odatda sekin (u bir necha kun davom etadi) vaqt ichida antigen bo'lib chiqadi. Antigen konsentratsiyasi sezilarli fiziologik va patologik o'zgarishlar darajasidan yuqori darajaga etadi. Bunday holda, biz 9-rasmda sxematik tarzda tasvirlangan kasallikning normal o'tkir turi bilan shug'ullanamiz.



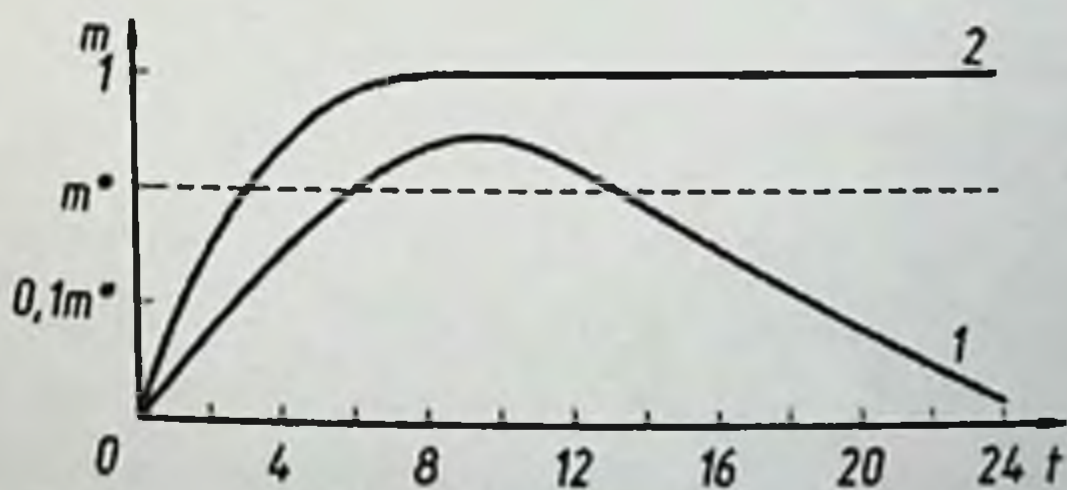
9-rasm. Kasallikning o'tkir shaklida antigen konsentratsiyasining dinamikasi

Bu isitma, tananing intoksikatsiyasi, ta'sirlangan organning katta yoki o'rtacha patologik o'zgarishi bilan kasallikning klassik shakli.

Va nihoyat, o'limga olib keladigan kasallikning o'tkir turi ham mumkin. Agar siz bu erda tanani virusli yoki bakterial faoliyatning toksik mahsulotlari bilan zaharlanishidan chalg'itsangiz, unda kasallikning natijasi tanaga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin bo'lgan bitta muhim holat mavjud. Bu turli sabablarga ko'ra immunitet reaksiyasi shunchalik kechikib ketganki, viruslar yoki bakteriyalar ta'sirida bo'lgan organda sezilarli patologik o'zgarishlar yuz berdi va ta'sirlangan organ endi muhim immun tarkibiy qismlarni (T va B limfotsitlar, leykotsitlar, interferon, komplement va boshqalar) shakllantirish uchun mas'ul bo'lgan organlarning normal ishlashini ta'minlamaydi. Bunday holda, mumkin bo'lgan o'lim bilan kasallikning og'ir shakli paydo bo'ladi.



10-rasm. Kasallikning o'tkir shaklida antigen konsentratsiyasining dinamikasi: 1-tiklanish bilan; 2-o'lim bilan



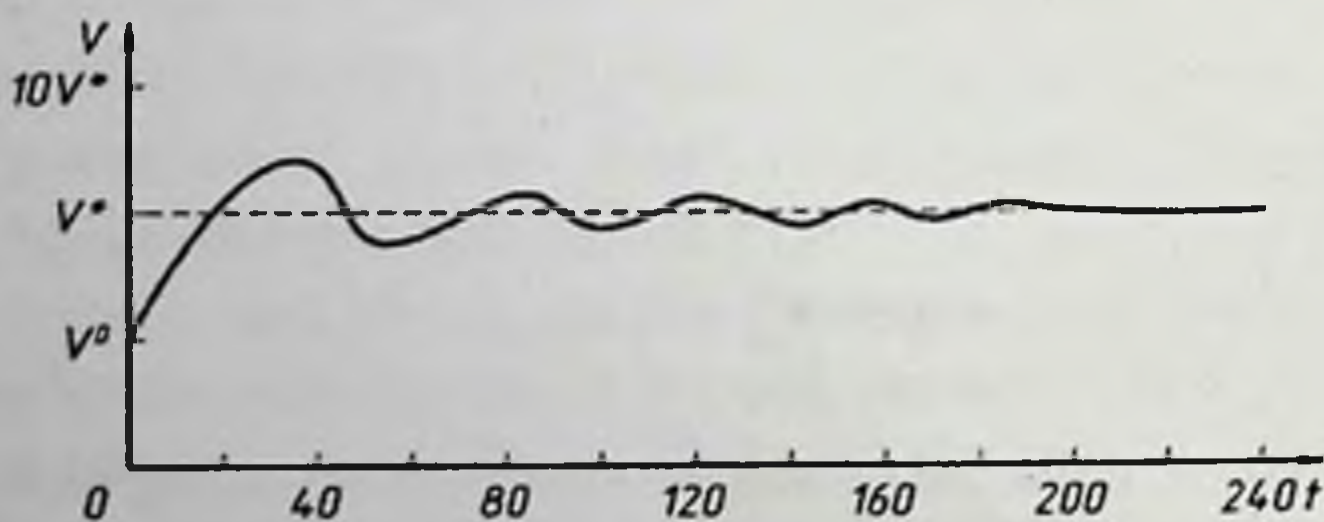
11-rasm. Kasallikning o'tkir shakli holatida maqsadli organning ta'sirlangan qismining nisbiy qiymatining o'zgarishi sxemasi: 1-tiklanish bilan; 2-o'lim bilan

10-rasmning 1-egri chizig'i tiklanish bilan kasallikning o'tkir shaklini tavsiflaydi, 2-egri chiziq o'limga olib keladi. 11-rasmda 1 va 2-holatlarga mos keladigan organ shikastlanishining nisbiy xususiyatlarining o'zgarishi diagrammasi ko'rsatilgan. Bu erda m - bu organning nisbiy shikastlanishining chegaraviy qiymati, unga erishilganda uning normal faoliyati buziladi.

Surunkali kasalliklarning immun holati

Keling, surunkali kasalliklarning immunologik talqiniga o'tamiz. Ma'lumki, surunkali kasalliklar kasallikning eng og'ir va zaiflashtiruvchi shakllari bo'lib, ko'pincha ko'p yillar davom etadi. Ko'p hollarda tibbiyot bunday kasalliklardan hali ham afsuski kuchsiz, ular tobora keng tarqalmoqda. Keling, surunkali kasallikning paydo bo'lishining asosiy sxemasiga to'xtalamiz.

Matematik modellar shuni ko'rsatadiki, surunkali kasalliklar immunitet jarayonining barqaror shakli bo'lib, deyarli siklik yoki vaqtga bog'liq bo'lmagan dinamikaga ega (rasm. 12). Surunkali kasalliklar bo'lsa, antigen kontsentratsiyasi nolga emas, balki ma'lum bir qiymatga intiladi. Surunkali jarayonda IgA (ehtimol IgD) alohida rol o'ynaydi. IgM va IgG ga kelsak, ular odatda normal darajada qoladilar.



12-rasm. Surunkali kasallikda antigen kontsentratsiyasining dinamikasi

V-antijenlar va antikorlarning (masalan, IgA) statsionar asimptotik darajasiga har soniyada neytrallanadigan va tug'ilgan viruslar yoki bakteriyalar muvozanati orqali erishiladi. Antigenlarni yo'q qilish uchun ma'lum miqdordagi antikorlar sarflanadi, ular organizm tomonidan doimiy ravishda ishlab chiqariladi. Shunday qilib, tanada antijenlar va immunitet

jarayonida ishtirok etadigan barcha tarkibiy qismlar o'rtasida muvozanat o'rnatiladi.

Shunday qilib, kasallikning surunkali shakli deb tasniflangan kasallikning juda barqaror holati paydo bo'ladi, undan ma'lum bir dorilar yordamida yoki immunitet tizimining o'zi yordamida, keyinchalik tananing o'zini o'zi davolashi bilan antigenlarning butun populyatsiyasini to'liq bostirish orqali chiqish mumkin. Birinchi yo'lni ko'rib chiqing — bemorning tanasiga kiritilgan dorilar bilan passiv davolash. Bu surunkali kasallikni davolashda eng keng tarqalgan yondashuv. Hozirgi vaqtda tibbiyotda antiviral va antibakterial dorilarning katta arsenali mavjud bo'lib, ular to'g'ridan-to'g'ri ta'sirlangan organga kiritilishi mumkin va ko'p hollarda printsipial jihatdan patogen viruslar va bakteriyalar populyatsiyasidan xalos bo'lishga imkon beradi.

Biroq, ushbu turdagi viruslar yoki bakteriyalar tanadan to'liq chiqarilgandan so'ng, ba'zi remissiyalardan so'ng, xuddi shu kasallikning qaytalanishi ko'pincha yana paydo bo'ladi. Darhaqiqat, organizmni patogen viruslar va bakteriyalardan ozod qilish orqali biz uning immunitet qarshiligini tiklamadik. Surunkali jarayonda uning kuchayishi odatda surunkali lokuslarning himoya tizimi zaiflashganda yangi kasallik bilan bog'liq. Bundan tashqari, faol antibiotik terapiyasi odatda zaif immunitet tizimining tushkunligiga olib keladi. Va bu, o'z navbatida, kasallikning qaytalanish jarayonini soddalashtiradi. Bundan kelib chiqadiki, takroriy takrorlanadigan antivirus yoki antibiotik terapiyasi odatda surunkali kasallikdan yakuniy remissiya boshlanishiga kafolat bermaydi, garchi ba'zi hollarda bu muvaffaqiyatga olib keladi. Ko'rinishidan, surunkali kasalliklarni davolashning asosiy usuli immunitet tizimini faollashtirish usullarini antivirus yoki antibiotik terapiyasi bilan birlashtirishdan iborat.

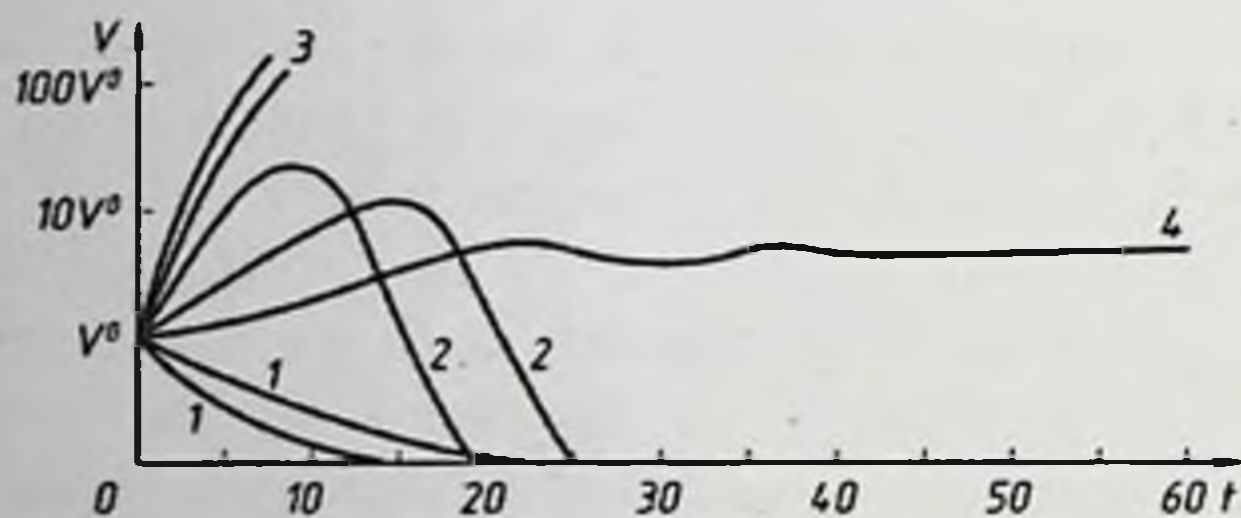
Keling, surunkali kasalliklar natijasida olingan immunitet tanqisligi muammosiga to'xtalamiz. Ehtimol, bu erda quyidagi taxminni aytish mumkin. Ko'p yillik surunkali kasallik davomida tananing immun tizimi o'z resurslarining bir qismini (antikorlarni) antigen populyatsiyasini zararsizlantirishga yo'naltiradi. Ushbu manbalardan biri surunkali kasallikning tinch davrida shilliq tizimlarning immunitetini nazorat qiluvchi IgA sinfidagi antikorlarni ishlab chiqarishdir.

IgA ning ozmi-ko'pmi muhim qismi antigenlarga qarshi kurashish uchun doimiy ravishda ishlatilishi natijasida ularning qondagi konsentratsiyasi odatdagidan past bo'ladi. Ushbu yangi daraja tanadagi IgA uchun yangi norma bo'lib chiqadi, bu patogen viruslar yoki bakteriyalar tanadan chiqarilganda sezilarli darajada o'zgarmaydi-surunkali kasallikning

manbai. Ushbu daraja pastroq bo'lganligi sababli, organizmning ushbu patogenlarga qarshi qarshiligi zaiflashadi va natijada organizm surunkali kasallikning qaytalanishiga moyil bo'lishi mumkin. Bu shuni anglatadiki, surunkali kasallikning patogen manbalari tanadan to'liq chiqarilgandan so'ng, immunitet tarkibiy qismlarini normaga mos keladigan darajada rag'batlantirish kerak. Bunday holda, surunkali kasallikning davolanishini to'liq deb hisoblash mumkin.

Yuqumli kasallikning umumiy sxemasi

Biz kasallikning tipik shakllari sxemasini beramiz (13-rasm). 1-egri chiziqlar yashirin ravishda o'tadigan kasalliklarni tavsiflaydi. Antigen ushbu antijenga xos bo'lgan antikorlarning yuqori normal darajasi tufayli tanadan chiqariladi. 2-egri chiziqlar kasallikning o'tkir normal jarayonini, 3 — egri chiziqlar o'limga olib keladigan kasallikni, 4 — egri chiziq kasallikning surunkali shaklini tavsiflaydi.



13-rasm. Kasallikning turli shakllarida antigen kontsentratsiyasining dinamikasi: 1-subklinik; 2-tiklanish bilan o'tkir; 3-o'lim bilan o'tkir; 4-surunkali

Ba'zi hollarda, turli sabablarga ko'ra, antijenlarning bunday "zich" bloklanishi tanada sodir bo'ladi, bunda kasallik jarayoni juda sekinlashadi va tanadagi funktsional yoki patologik o'zgarishlarni tavsiflovchi ko'rsatkichlarda o'zini namoyon qilmaydi. Bu holat oylar va yillar davom etishi mumkin. Odam butunlay sog'lom ko'rinadi. Ammo, agar bu davrda u boshqa o'ziga xos viruslar yoki bakteriyalar bilan yuqtirilsa va natijada o'tkir virusli yoki bakterial kasallik paydo bo'lsa, unda bir muncha vaqt o'tgach, kasallikning yangi, murakkab shakli paydo bo'lishi mumkin, bu ba'zan yanada xavfli bo'lib chiqadi.

Bunday holat, masalan, gripp epidemiyasi davrida yuzaga keladi. Sxematik ravishda, bu holda kasallikning murakkab jarayonining rasmini

quyidagicha tasavvur qilish mumkin. Birinchidan, tanada yashirin holatda organizm bilan zaif ta'sir o'tkazadigan yaxshi bloklangan antijenlarning populyatsiyasi mavjud deb taxmin qiling. Anqlik uchun bu stafilokokklar bo'lsin. Ularning faoliyatini blokirovka qilish uchun organizm doimiy ravishda o'ziga xos IgG antikorlari, IgA va boshqa zarur himoya komponentlarini ishlab chiqaradi. Nafas olish yo'llariga kirib kelgan gripp viruslari hujayra ichidagi himoya vositalarini engib, o'z populyatsiyasini ko'paytirish uchun hujayralarning genetik materialidan foydalanib, maqsadli organni yo'q qiladi va yuqtiradi. Jarayonning kuchayishi bilan tananing immun. tizimi o'ziga xos immunoglobulinlar, shuningdek te limfotsitlari-ta'sirlangan hujayralarni yo'q qiladigan effektorlar shaklida himoya vositalarini ishlab chiqaradi. Natijada, butun immunitet tizimi yangi dushmanga qarshi kurashish uchun o'rnatiladi va yashirin stafilokokklarning immunitet nazorati zaiflashadi. Shunday qilib, stafilokokklarning ko'payishi uchun qulay sharoitlar yaratiladi. Biroq, asosiy dushman — gripp virusi bilan kurashish fonida stafilokokk kontsentratsiyasining ko'payishi uzoq vaqt davomida organizm tomonidan sezilmaydi, chunki stafilokokk VF komplekslarining kontsentratsiyasi gripp virusining VF komplekslari kontsentratsiyasiga nisbatan kichik bo'lib chiqadi.

Va nihoyat, tegishli immunitet nazoratisiz paydo bo'lgan stafilokokklar tez ko'payib, o'pkaga ta'sir qila boshlagandan so'ng, tana o'z resurslarining bir qismini o'zgartiradi va keyin gripp viruslari yo'q qilingandan so'ng, barcha resurslarni stafilokokklar uchun himoya vositalarini ishlab chiqarishga yo'naltiradi. Va ilgari yashirin bo'lgan bu dushman endi organizm uchun asosiy narsaga aylanadi. Ammo bu allaqachon murakkablikning boshlanishi, biz ko'rib turganimizdek, voqealar mantig'i bilan dasturlashtirilgan. Kasallikning yashirin shakli va surunkali shakli o'rtasida aniq chegara yo'qligi sababli, bu erda bildirilgan mulohazalar surunkali kasallikning tinch davriga ham tegishli.

Kasallikning murakkab shakli paydo bo'lishining yana bir ehtimolini ta'kidlash kerak, ya'ni Gavrilov, Jdanov va Semenov ta'kidlashicha, virus infeksiyasi ba'zida virus infeksiyasidan kechroq tanaga kiritilgan antigenga nisbatan immunosupressiyani keltirib chiqaradi. Bunday immunosupressiya, ehtimol kasallikning asoratlari rivojlanishining sabablaridan biridir.

3.3. Tibbiy diagnostika modellari

Tibbiyotda diagnostika modellarining samaradorligini baholash tibbiy Ma'lumotlarning o'ziga xos xususiyatlarini ko'rib chiqadi, diagnostika modellarini yaratish uchun ma'lumotlarni qazib olishning zamonaviy yondashuvlarini tavsiflaydi. Diagnostika modellarining samaradorligini baholashning ma'lum usullariga tavsif berilgan va tibbiy diagnostika vazifalarida aniq modellarga ehtiyoj borligi haqidagi tezisni aks ettiruvchi ushbu modellarning yangi bahosi taklif qilingan. Tibbiyot obyektlarining tizimli murakkabligi tibbiyot, boshqa ko'plab fanlar singari, uning rivojlanishida empirik ma'lumotlarga, ularni tahlil qilish va umumlashtirishga tayanadi.

Tibbiyotda axborot yutug'i yigirmanchi asrning o'rtalaridan boshlab, texnik vositalar tadqiqotchilarga tadqiqot obyektlari to'g'risida tobora ko'payib borayotgan ma'lumotlar oqimini taqdim eta boshlagan paytdan boshlandi. O'tgan asrning oxirida mikroelektronika va kompyuter texnologiyalarining jadal rivojlanishi tufayli bu oqim ko'chkiga aylandi. Axborot oqimining o'sishi uni qayta ishlash usullari haqida ko'plab yangi va qo'shimcha savollar tug'dirdi.

Analitik statistika mutaxassislari nuqtai nazaridan, ma'lumotlarni tahlil qilishning deyarli barcha muammolari jonli tizimlarni tadqiq qilish vazifalarida, diqqat markazida bo'lgani kabi, jamlangan. O'lchov kompleksining maqsadli o'zgaruvchilar (diagnostik yoki prognostik) bilan o'zaro bog'liqligini izlash muammosini hal qilishda tahlil qilingan ma'lumotlarning bir qator xususiyatlari e'tiborga olinadi:

- ❖ ma'lumotlarning yuqori o'lchamlari;
- ma'lumotlarning xilma-xilligi;
- dastlabki Tavsifning noaniqligi;
- tashqi mezonlarning noaniqligi;
- ko'p sonli "shovqinli" va takrorlanadigan belgilar;
- obyektlar sinflarining heterojenligi;
- ❖ o'tkazib yuborilgan qiymatlar;
- ❖ keskin og'ish qiymatlari (emissiya);
- xususiyatlar soni obyektlar sonidan sezilarli darajada oshishi mumkin;
- tadqiqot obyektlari sinflarining umumiy va tarkibiy assimetriyasi;

Noma'lum lokalizatsiya bilan turli xil, oldindan ma'lum bo'lmagan tuzilmalarning kanallari va jokerlarining mavjudligi. Sinergetika bo'yicha mutaxassislarda orasida paydo bo'lgan va murakkab tizim tashkiloti bo'lgan

obyektlar uchun modellarni qurish xususiyatlarini belgilaydigan "Rusel va Jokerlar" zamonaviy kontseptsiyasini alohida ta'kidlaymiz [2].

Ma'lumotlarni tahlil qilish vazifalariga kelsak, ma'lumotlarning barqaror munosabatlarini yuqori aniqlik bilan aks ettiradigan modellarni yaratish mumkin bo'lgan obyektlarni tavsiflashning umumiy maydonining pastki bo'shliqlariga qaratadi. Jokerlar kutilmagan hodisalar y tavsif uzaga kelishi mumkin bo'lgan va vaziyatga tayanish kerak bo'lgan tavsif maydoni deb qaraladi. Rusel va Jokerlarni qidirish mumkin bo'lgan pastki bo'shliqlar va modellarni tavsiflashning asl makonidagi katta kuch bilan bog'liq. Tibbiy ma'lumotlarning tavsiflangan o'ziga xos xususiyatlari bunday ma'lumotlarni tahlil qilish usullarini ishlab chiqish va rivojlantirish vazifasini tibbiyotning asosiy muammolarini hal qilishning eng muhim sharti sifatida tasniflashni aniqladi. Tizimli murakkab obyektlar to'g'risidagi ma'lumotlardagi naqshlarni qidirish, tavsiflash va tuzish maxsus matematik yondashuvlarni, shuningdek diagnostika va bashoratli modellarni baholash mezonlarini talab qiladi. Hozirgi vaqtda bunday yondashuvlar "DataMining" deb nomlangan yo'nalish doirasida faol rivojlanmoqda.

Ma'lumotlarni qazib olish (DataMining) bugungi kunga qadar Data mining mavzusida o'nlab kitoblar yozilgan. Maqolalar soni ham juda katta-Google qidiruv tizimida ushbu maqolani yozish davrida ushbu ibora uchun taxminan 28,500,000 havolalar berilgan. Ma'lumotlarni tahlil qilishda ushbu keng yo'nalishning asosiy jihatlarini qisqacha tavsiflaymiz. Axborotni olish, yozib olish va saqlash uchun texnik vositalar takomillashtirilishi munosabati bilan mutaxassislariga juda katta miqdordagi heterojen ma'lumotlar tushdi. Shu bilan birga, an'anaviy matematik statistika turli xil fan sohalaridagi bir qator dolzarb muammolarni samarali hal qilishni ta'minlay olmadi (ko'p o'lchovli ma'lumotlarda naqshlarni izlash, diagnostika va bashoratli modellarni yaratish, dinamik qatorlarda murakkab davriy bo'lmagan naqshlarni aniqlash va boshqalar).

Buning sabablaridan biri namuna o'rtacha tushunchasi bo'lib, xayoliy miqdorlar bo'yicha operatsiyalarga olib keladi. Bundan tashqari, ko'p o'lchovli ma'lumotlarda o'zaro bog'liqlik va muntazamlilikning ishonchliligini baholash uchun deyarli analitik mezonlar mavjud emas. Data mining yo'nalishi mavjud muammoli vaziyatga javob sifatida paydo bo'ldi. Hozirgi vaqtda "DataMining (ma'lumotlarni to'plash) atamasi 1989 yilda paydo bo'lgan "ma'lumotlar bazalarida bilimlarni aniqlash (KnowledgeDiscoveryinDatabases — KDD) atamasining sinonimidir. Rus tilida yuqorida aytib o'tilgan atamalar bilan ko'rsatilgan maydon ko'pincha

"ma'lumotlarni qazib olish» (iad)" iborasi bilan belgilanadi. Dastlabki ta'rifni bizning sobiq vatandoshimiz Grigoriy Pyatetskiy-Shapiro (G. Piatetskyshafiro) bergan: "Data mining — bu inson faoliyatining turli sohalarida qaror qabul qilish uchun zarur bo'lgan bilimlarni ilgari noma'lum bo'lgan ahamiyatsiz bo'lmagan deyarli foydali va tushunarli talqinlarni xom ma'lumotlarda aniqlash jarayoni».

Hozirda Data mining ikkita gipostazda mavjud. Bir qator mutaxassislar juda katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlashga e'tibor berishadi. Bu erda algoritmlarning tezligiga, tabiiyki, natijalarning maqbulligiga zarar etkazadigan talablar ortadi. Maqola mualliflari tegishli bo'lgan yana bir mutaxassislar guruhi tibbiy informatika vazifalari nuqtai nazaridan ma'lumotlarni qazib olish chuqurligi va ma'lumotlardagi aloqalarni aks ettiruvchi modellarning aniqligiga e'tibor qaratadi. Ikkinchi guruhni tushunishda datamining texnologiyasidagi asosiy farqlar quyidagilar: - DataMining ko'p o'lchovli vazifalar va maqsad qiymati, ma'lumotlar bazasining boshqa ko'rsatkichlari guruhining qiymatlari to'plami o'rtasidagi bog'liqlikni izlash; - data mining texnologiyasi heterojen ma'lumotlarni qayta ishlashga qodir, ya'ni. maydonlar miqdoriy, sifat va matn o'zgaruvchilari bilan ifodalanishi mumkin; - datamining texnologiyasi, an'anaviy statistik usullardan farqli o'laroq, ma'lumotlarning to'liq hajmiga (butun namunaga) xos bo'lgan munosabatlarni izlashga da'vo qilmaydi; ma'lumotlarning kichik namunalarini uchun ko'rsatkichlar qiymatlarini bog'laydigan qoidalar qidirilmoqda. Su bilan birga, qoidalar har doim yuqori aniqlikda bo'ladi, umumiy va noaniq statistik tendentsiyalar; - datamining algoritmlari yuqoridagi ma'lumotlar kichik namunalarini va ushbu kichik namunalar uchun aniq munosabatlarni avtomatik ravishda qidiradi.

Shunday qilib, DataMining kalit so'zlari aniqlik, ko'p o'lchovlilik, ma'lumotlarning xilma-xilligi, avtomatik qidiruvdir. Bu erda, albatta, natijaning talqin qilinishi uchun muhim talabni qo'shish kerak, ayniqsa tibbiy va biologik tadqiqotlar uchun dolzarbdir. IAD (*Data Mining*) - bu ma'lumotlardagi yashirin naqshlarni (ma'lumot naqshlarini) qidirishga asoslangan qarorlarni qo'llab-quvvatlash jarayoni. Bunday holda, to'plangan ma'lumotlar avtomatik ravishda bilim sifatida tavsiflanishi mumkin bo'lgan ma'lumotlarga umumlashtiriladi) usullari tasniflash, bashorat qilish, diagnostika va naqshni aniqlash muammolarini hal qilish usullari bilan juda ko'p o'xshashliklarga ega. Ammo ushbu usullarning asosiy farqlovchi xususiyatlaridan biri, yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, obyektlarni ekvivalentlik sinflariga kiritish qoidalariga asoslangan

naqshlarni talqin qilish funktsiyasidir. Shuning uchun bu erda mantiqiy usullar keng tarqalgan. Diagnostika va bashoratli modellarni yaratish uchun boshqa usullar kamroq shaffof talqinlarga ega. Bunga, masalan, Bayes tasniflagichlari, diskriminant tahlil, neyron tarmoq yondashuvi, eng yaqin qo'shnilar usuli, qo'llab-quvvatlovchi vektorlar usuli, genetik algoritmlar va boshqalar kiradi so'nggi o'n yillikdagi amaliyot shuni ko'rsatdiki, bir qator vazifalarda natijalarning talqin qilinishi talabi fonga tusha boshladi. Qabul qilingan echimlarning barqarorligiga e'tibor qaratila boshlandi. Yuzlab va minglab usul va algoritmlarni o'z ichiga olgan qo'mitalar bilan ishlash usullari birinchi o'ringa chiqa boshladi. Ma'lum bo'lishicha, hatto "zaif algoritmlardan "tashkil topgan bunday qo'mitalar (ko'pincha kuchaytirish va bagging protseduralari orqali tuziladi) ma'lumotlar massivlarida chuqur naqshlarni topishga qaratilgan aniqlik, izolyatsiya qilingan" kuchli algoritmlardan ustun turishga qodir. Zamonaviy IADlarning ushbu tendentsiyasi o'z-o'zidan ko'rib chiqilishi kerak. Bu erda «qora quti» lar shaklida modellarni qurish bilan emas, balki ma'lumotlardan bilim olishga urinishlar bilan bog'liq bo'lgan IADlarning asl ideallaridan aniq chekinish mavjud. Umuman olganda, yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, so'nggi o'n yil ichida ma'lumotlarni qazib olish sohasida sezilarli o'zgarishlar yuz berdi. "Aqlli" so'zi endi tasniflash va bashorat qilish modellarini avtomatik ravishda qurish kontekstida qabul qilinishi kerak. Mutaxassislarning asosiy qismi uchun individual ravishda kuchli usullar va algoritmlarni izlash unchalik jozibali bo'lmadi — ularning qiziqishlari zaif usullar va algoritmlarning katta guruhlari bilan ishlash qobiliyatiga o'tdi. Shu bilan birga, kuchli modellarni yaratish muammosi, bizning fikrimizcha, o'z ahamiyatini yo'qotmadi. Shubhasiz, kuchli modellar talqin qilish uchun ko'proq mos keladi va tasniflash va bashorat qilish vazifalarida samarali natijalarga erishish uchun kamroq noqulay guruhlarga birlashadi.

Turli xil yondashuvlar, usullar va algoritmlarning ko'pligi ularning samaradorligini baholash usullari masalasiga murojaat qiladi, bu aniq mavzu sohalarining o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olishi kerak. Quyida biz turli xil baholarni ularning vazifalarga muvofiqligi va tibbiy diagnostika obyektlarining tizimli murakkabligi nuqtai nazaridan ko'rib chiqamiz. Diagnostika modellarining samaradorligini asosiy baholash diagnostika vazifasi ko'plab obyektlarni sinflarga ajratishdir. Sinflar soni ikkitaga teng bo'lgan holatni ko'rib chiqamiz. Qulaylik uchun, tibbiy diagnostika vazifasi ko'rib chiqilganligi sababli, biz ushbu sinflarni "kasal" va "sog'lom»deb ataymiz. Turli xil matematik usullardan foydalangan holda yaratilgan diagnostika modeli $f(x-y)$: bu erda X — obyektlarning tavsiflari to'plami; y

— sinflarning cheklangan soni (nomlari, yorliqlari). Diagnostika modeli o'quv (o'quv) obyektlari to'plamiga asoslanadi va uning umumiashtiruvchi qobiliyati ma'lum tabaqalanish protseduralari va turli xil o'zaro tekshirish variantlari yordamida sinov (nazorat) to'plamida baholanadi. Quyida biz jadvalda quyidagi yozuvlardan foydalaniladi: — TP (TruePositives) — to'g'ri tasniflangan ijobiy misollar; — TN (TrueNegatives) — to'g'ri tasniflangan salbiy misollar; — FN (FalseNegatives) — salbiy deb tasniflangan ijobiy misollar (birinchi turdagi xato); — FP (FalsePositives) - ijobiy (birinchi turdagi xato) deb tasniflangan salbiy misollar; - FP (FalsePositives) - ijobiy (ikkinchi turdagi xato). Birinchi va ikkinchi turdagi xatolar o'zaro simmetrikdir. Agar siz sinflarni almashtirsangiz, unda birinchi turdagi xatolar ikkinchi turdagi xatolarga aylanadi va aksincha. Shunga qaramay, har qanday kasallikni tashxislash kontekstida jadvalning yuqoridagi shakli eng ko'p qo'llaniladi. Diagnostika modelining samaradorligini baholash uchun quyidagi ko'rsatkichlardan foydalaniladi: tibbiyotda tasniflash xatosi "sezgirlik» va "o'ziga xoslik» baholarini qo'llash keng tarqalgan: — ses modelining sezgirligi TPR bilan mos keladi; — S modelining o'ziga xosligi (100-FPR) sifatida belgilanadi.

$$P_B = \frac{FP + FN}{TP + TN + FP + FN};$$

Haqiqiy ijobiy misollarning foiz nisbati (haqiqiy pozitivlar darajasi)

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} 100;$$

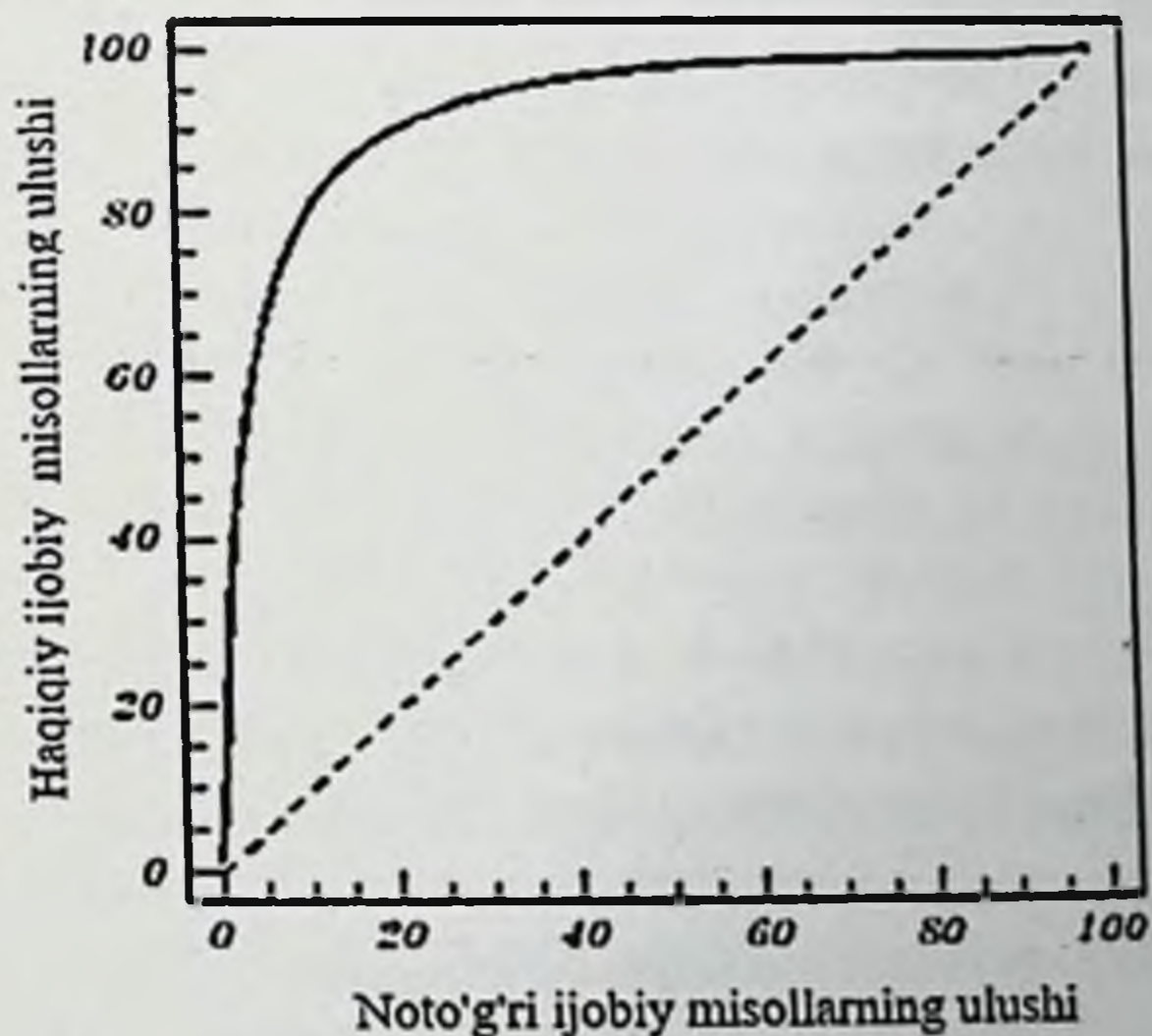
1-Jadval	Diagnostika modelining sifatini tekshirishni baholash	
Model	Aslida	
	Kasal	Soglom
Kasal	TP (to'g'ri kasallar sinfiga kiritilgan)	FP (ikkinchi turdagi xato)
Soglom	FN (birinchi turdagi xato)	TN (kasallik to'g'ri rad etildi)

1-rasm

Yuqori sezgirlikka ega model ko'pincha kasallik mavjud bo'lganda haqiqiy natijani beradi. Aksincha, o'ziga xosligi yuqori bo'lgan model ko'pincha kasallik bo'lmaganda haqiqiy natijani beradi. Shunday qilib, tibbiyotda ko'rib chiqilayotgan ko'rsatkichlar quyidagi talqinlarga ega: — sezgir diagnostika testi tashxis qo'yishda namoyon bo'ladi — bemorlar kasallikni o'tkazib yuborilishining oldini olish; — o'ziga xos diagnostika testi faqat aniq bemorlarga tashxis qo'yadi. Bu, masalan, bemorni davolash jiddiy natigalarga bog'liq bo'lsa va bemorlarga chuqur diagnostik tashxis chart bo'lmaydi. Noto'g'ri ijobiy misollarning foiz nisbati (noto'g'ri pozitivlar darajasi)

$$FPR = \frac{FP}{TN + FP} 100.$$

Xususan, sinflarning assimetriyasini hisobga oladigan baho, masalan, o'rtacha xavfning qiymati bo'lib, uni hisoblashda xatolarining qiymati hisobga olinadi. Shu bilan birga, hozirgi vaqtda xatolar egri chizig'ini qurish bilan bog'liq xarajatlar uchun o'zgarmas baholashlar eng keng tarqalgan. Xato egri yoki ROC egri (Receiver Operating Characteristic, ROC) ikkilik klassifikator sifatining grafik tavsifi, to'g'ri ijobiy tasniflar ulushining hal qiluvchi qoida chegarasi o'zgarganda yolg'on ijobiy tasniflar ulushiga bog'liqligi aks etgan (2-rasm):



Xato egri chizig'i tushunchasi shuni ko'rsatadiki, diagnostika modeli diskriminant funktsiya yig'indisi sifatida ifodalanishi mumkin $f(x,w)$ va

chegara $C > 0$, bu erda W — o'rganish namunasi bilan aniqlangan parametr vektori. Ushbu chegara qiymatining o'zgarishi monoton ravishda o'ziga xoslik va sezgirlik qiymatlarining o'zgarishi bilan bog'liq. Egri chiziq yuqori chap burchakka qanchalik tik egilsa, modelning sifati shunchalik yuqori bo'ladi.

Aksincha, egri chiziq diagonal chiziqqa qanchalik yaqin bo'lsa, model shunchalik samarasiz bo'ladi. Ideal tasniflagich uchun Roc egri chizig'i grafigi yuqori chap burchakdan o'tadi, bu erda haqiqiy ijobiy holatlarning nisbati 100% va noto'g'ri ijobiy misoliarning nisbati nolga teng. Diagonal chiziq butunlay tasodifiy tasnifga mos keladi. Roc egri chizig'i tomonidan keng tarqalgan miqdoriy baholash AUG (AreaUnderCurve) egri chizig'i ostidagi maydonni hisoblashdir. Ushbu bahoning qiymati 0 dan 1 gacha o'zgarishi mumkin, lekin odatda 0,5 ("foydasiz" klassifikator) dan 1 ("ideal" model) gacha bo'lgan o'zgarishlar haqida gap boradi. Xatolar egri chizig'idan foydalanib, optimal chegara chegarasini (optimalcut-offvalue) topish muammosi ko'pincha hal qilinadi, uning qiymati sezgirlik nisbati o'ziga xosligiga ta'sir qiladi.

Chegarani tanlash mezonlari ushbu nisbatning afzalliklarini aks ettiradi. Tibbiyotda diagnostika modellarining sifatini baholash ilmiy adabiyotlarda asosiy baholar keng muhokama qilindi va muhokama qilinmoqda. AUC qiymatlari uchun quyidagi ekspert shkalasi taklif qilindi (2-jadval.). Jadvaldagi birinchi yuqori chiziq ko'plab tibbiy diagnostika vazifalari uchun aniqlik nuqtai nazaridan intuitiv ravishda qabul qilinadi. Xato egri chizig'ining shakliga qarab ikkinchi qator ham qabul qilinishi mumkin. Shu bilan birga, keyingi satrlarda (ikkinchisidan tashqari) model sifatini ijobiy baholash bilan, bizning fikrimizcha, rozi bo'lish qiyin.

Ehtimoliy yondashuv ommaviy hodisalarni tavsiflash uchun foydalidir, bu erda har bir obyekt ma'lum bir tasodifiy o'zgaruvchining amalga oshirilishi sifatida qaraladi va modelda ma'lum bir jarayonning umumiy statistik tendentsiyalarini aks ettirish zarur bo'lganda, masalan, epidemiologik. Ammo, agar bizning e'tiborimiz obyekt o'ziga xos xususiyatga ega bo'lgan ma'lum bir odam bo'lsa, unda uning kasalligi, masalan, 0,7 ehtimoli bilan tashxis qo'yish, yumshoq qilib aytganda, juda "zaif» natijadir. "Tibbiyot aniq diagnostika modellariga muhtoj» - ushbu tezis bunday modellarni baholashning yangi mezonlarini ishlab chiqish va ulardan foydalanish uchun asosdir.

2-Jadval

2-Jadval	Auc qiymatlari uchun ekspert shkalasi
Auc oralig'i	Model sifati
0.9-1.0	A'lo
0.8-0.9	Juda yaxshi
0.7-0.8	Yaxshi
0.6-0.7	O'rta
0.5-0.6	Qoniqarsiz

Bunday yangi mezonlardan biri "konsentrlangan xato egri chizig'i" (concentratedROC— CROC)" qurilishiga asoslangan. CRO-lar modellar nisbatan past darajadagi xatolarga ega bo'lgan Roc egri chizig'ining boshlang'ich qismini kuchaytiradigan monoton transformatsiya orqali olinadi. Masalan, ish quyidagi turdagi o'zgarishlarni taklif qiladi:

$$f(x) = \frac{1 - e^{-\alpha x}}{1 - e^{-\alpha}}; \quad f(x) = x^{\frac{1}{\alpha+1}}; \quad f(x) = \frac{\log(1 + \alpha x)}{\log(1 + \alpha)}$$

bu erda α -daromad parametri.

CROC-dan foydalanishga asoslangan yondashuvlar tabiiy ravishda tashxis qo'yilgan sinfga tegishli qarorlar faqat ma'lum bir kichik Fpr qiymatlari oralig'iga kiradigan obyektlarning bir qismi uchun qabul qilinishiga olib keladi. Tashxis qo'yilgan sinf obyektlarining yana bir qismi qaror qabul qilish rad etiladigan noaniqlik zonasiga tegishli. Qaror qabul qilishdan bosh tortish, shuningdek, xatolar egri chizig'ini qurish mumkin bo'lmagan bir qator holatlarga xosdir.

Bunday hollarda (masalan, namunalarning kichik hajmi yoki model javoblarning diskretligi tufayli) obyektlar tashxis qo'yilgan sinfga mansublik darajasi bo'yicha tartiblanmaydi va bunday mansublik haqidagi savolga « ha va "men bilmayman» javoblari beriladi. Qaror qabul qilishdan bosh tortish toifasi, bizning fikrimizcha, tibbiy diagnostika vazifalarida muhim ahamiyatga ega.

Bu tibbiyot obyektlarining tizimli murakkabligini, maqolaning birinchi qismida muhokama qilingan obyektlarning tavsiflarida kanallar va Jokerlarning mavjudligini aks ettiradi. Ushbu toifa orqali tibbiyotda aniq tashxis qo'yish zarurligi haqidagi tezisni qondiradigan "aniq qarorlar yoki

qaror qabul qilishdan bosh tortish" tamoyili amalga oshiriladi. Ushbu toifani ikkita sinf uchun diagnostika modeliga kiritish (uch muqobil model) diagnostika samaradorligi to'g'risida dastlabki ma'lumotlarni taqdim etish uchun konjugatsiya jadvalini tuzishga olib keladi (3-Jadval).

3-Jadval	Uch muqobil diognostika natijalarini baholash	
Model	Aslida	
	Kasal	Soglom
Kasal	TP	FP
Soglom	FN	TN
Qaror qabul qilishdan bosh tortish	RP	RN

Qaror qabul qilishning statistik nazariyasida shunga o'xshash jadval natijalarini keng tarqalgan baholash xatolar va nosozliklar uchun yo'qotish qiymatlarini kiritish va o'rtacha yo'qotish funksiyasini hisoblash bilan bog'liq. Shu bilan birga, bizning fikrimizcha, diagnostika modelining aniqligi va to'liqligini hisoblash asosida baholash taqqoslash uchun samaraliroq :

$$P_m = \frac{TP}{TP + FP}$$

Rt aniqligi sezuvchanlikka to'g'ri keladi seva model asosida qilingan tashxisga qay darajada ishonish mumkinligini ko'rsatadi. To'liqlik , ushbu diagnostika modelidan foydalanib, shifokor to'g'ri tashxis qo'yishi mumkin bo'lgan bemorlarning ulushi. Shubhasiz, aniqlik va to'liqlik klinik amaliyotni aks ettiruvchi tushunarli talqinlarga ega. Tibbiyotda aniq tashxis qo'yish zarurligi haqidagi tezisni qondiradigan diagnostika modelining samaradorligini etarli darajada baholash, bizning fikrimizcha, RT to'liqligining qiymati bo'lib xizmat qilishi mumkin, bunda aniqlik turli xil modellarni taqqoslashda yoki ma'lum bir model parametrlarini tanlash variantiga ustunlik beriladi . Diagnostika modelining to'liqligi va aniqligiga asoslangan samaradorligini taklif qilingan baholash, konsentratsiyalangan CROC xato egri chizig'iga asoslangan baholarga yaqin, ammo kengroq qo'llanilish doirasiga ega, chunki u biron bir sababga ko'ra yoki boshqa sabablarga ko'ra xato egri chizig'ini qurish mumkin bo'lmagan vaziyatlarni o'z ichiga oladi.

3.4. Tibbiy diagnostika uchun ekspert tizimlari. Dizayn to'plamlari nazariyasi usullaridan foydalanish.

Ekspert tizimlari nima va ularning sog'liqni saqlash sohasidagi roli qanday? Ular qanday vazifalarni hal qilishadi va kompyuter bir kun kelib shifokorni to'liq almashtira oladimi? Biz IES qanday ishlashini va u qanday foydali bo'lishi mumkinligini tushunamiz ekspert tizimi (es) – bu sun'iy intellekt texnologiyasining bir turi; ma'lum bir sohada ma'lum bir bilimga ega bo'lgan va ushbu bilimlarni vazifani hal qilish yoki tavsiya qilish uchun talqin qila oladigan dastur. Tibbiy ekspert tizimlari (mes) turli xil kasalliklarga chalingan bemorlarni kuzatish va davolash bo'yicha tibbiy tajribaga asoslangan. Kasalliklarning og'irligi va har bir holatda tibbiy aralashuv darajasi har xil bo'lishi kerakligi sababli, bunday tizimlarni tibbiyotda qo'llash doirasi juda keng.

MES qanday vazifalarni hal qiladi

ES bilan hal qilinishi mumkin bo'lgan tibbiy vazifalarga quyidagilar kiradi:

- ✓ bemorning ma'lum bir patologiya uchun xavf ostida ekanligi to'g'risida prognozlar tuzish. Bu erda ish kasallikdan oldinda. Bu asosan saraton kasalligiga taalluqlidir, bu erda o'smani erta bosqichda aniqlash va davolash to'liq ehtimolini bir necha o'n baravar oshiradi
- ✓ birlamchi anamnez asosida laboratoriya va diagnostika tadqiqotlarini tayinlash. Ushbu muammoni davolash muassasasining moddiy va texnik resurslarini optimallashtirish va bemorning bir nechta testlar va testlar uchun xarajatlarini tejash, shu jumladan qimmat tibbiy asbob-uskunalardan foydalanish nuqtai nazaridan ko'rib chiqish mumkin
- ✓ tibbiy qaror qabul qilishni qo'llab – quvvatlash-klinik ko'rinish asosida aniq tashxisni shakllantirish va asoslash
- ✓ tanqidiy va favqulodda vaziyatlarda diagnostika echimini berish va asoratlarni baholash mesni kim va qaerda ishlatadi tibbiyotda ekspert dasturining birinchi rivojlanishi MYCIN ("MYCIN") tizimi hisoblanadi. U 70-yillarning boshlarida Stenford universiteti mutaxassislari tomonidan og'ir yuqumli kasalliklarning patogenlarini aniqlash va antibiotiklarning kerakli dozalarini hisoblash uchun yaratilgan. Dasturning samaradorligi 69% deb baholandi-ko'p hollarda to'g'ri davolanish buyurildi. Shuni ta'kidlash kerakki, bu ko'rsatkich shifokorlarnikidan ham yuqori ediinfektsionistlar tadqiqotda qatnashgan. Afsuski, MYCIN o'sha paytdagi texnologiyaning nomukammalligi tufayli amaliy qo'llanilmadi. Endi tibbiy amaliyotda IESni muvaffaqiyatli ishlab chiqish va ulardan foydalanishning

ko'plab misollari mavjud. Ular orasida bolalar shoshilinch holatlarini diagnostika qilish tizimi din (Moskva pediatriya va bolalar jarrohligi ilmiy-tadqiqot instituti), bolalarda qon aylanishining o'tkir buzilishlarini aniqlash, tipologiya va davolashni aniqlashtirish uchun Aibolit dasturi (O'zbekiston Respublikasi bolalar yurak-qon tomir jarrohligi milliy tibbiyot tadqiqot markazi) ni ajratib ko'rish mumkin. A. N. Bakuleva), "dinar" og'ir bemorlarni masofadan kuzatib borish bilan etakchi patologiyani aniqlash va birgalikda davolash tizimi (Sankt-Peterburg davlat pediatriya tibbiyot universiteti, Sverdlovsk viloyat bolalar klinik kasalxonasi, Uroran biofizika instituti xodimlari ishtirokida).

Ekspert tizimlarining tasnifi esning sinflarga tasdiqlangan bo'linishi mavjud bo'lmasa-da, ularning funktsional xususiyatlari va ko'lamini tavsiflovchi bir nechta umumiy toifalarni ajratish mumkin. Echilishi kerak bo'lgan vazifalar profiliga qarab, esa:

- diagnostika
- monitoring
- dizayn
- bashoratli
- rejalashtiruvchilar
- o'qitish
- izohlovchi
- qarorlarni qo'llab-quvvatlash

Bilimlarni taqdim etishning an'anaviy va gibrid usullariga ega tizimlar ham ajralib turadi.

Birinchi holda, esa empirik (eksperimental) modellar va birinchi darajali mantiqiy operatsiyalar bilan boshqariladi, bu erda o'zgaruvchilar ularning belgilari va ular o'rtasidagi munosabatlarsiz obyektlardir. Gibrid dasturlar bir vaqtning o'zida mavzu bo'yicha fikrlashning bir nechta modellaridan foydalanadilar. Shuningdek, ekspert tizimlari dinamikaga yoki Real vaqt bilan bog'liq holda bo'ladi. Tizim foydalanadigan dastlabki ma'lumotlarning doimiyligiga qarab, ular statik, dinamik yoki kvazidinamik bo'lishi mumkin. Kvazidinamik esda o'zgarishlar vaqti-vaqti bilan sodir bo'ladi. Tibbiy ekspert tizimlari dinamik turga kiradi.

TET(Tibbiy ekspert tizimlar) komponentlari har qanday ekspert tizimi, uning qo'llanilishidan qat'i nazar, quyidagi tarkibiy qismlarni o'z ichiga oladi:

- ✓ foydalanuvchi ishlaydigan tizimning old interfeysi (dialog komponenti)
- ✓ ishlaydigan xotira yoki ma'lumotlar bazasi-joriy vazifa bo'yicha ma'lumotlarni saqlash uchun joy

✓ mavzu sohasidagi barcha ma'lumotlarni va ularni qayta ishlash qoidalarini to'playdigan bilimlar bazasi. Ma'lumotlar bazasi va bilimlar bazasi o'rtasidagi farqlarni tushunish uchun quyidagi misolni keltirish mumkin. Ba'zi yosh toifasidagi erkaklar uchun qondagi gemoglobin darajasining mos yozuvlar oralig'i bilimlar bazasi sohasiga tegishli. Bemorni tahlil qilishning o'ziga xos raqamlari – ishlaydigan xotiraga.

✓ "hal qiluvchi" yoki mantiqiy xulosani amalga oshirish mexanizmi-bilimlar bazasini dastlabki ma'lumotlarga "qo'llash" orqali vazifani bajaradigan komponent

✓ tushuntirish komponenti-vazifani hal qilish mexanizmi va bosqichlarini ko'rsatadi

✓ bilimlarni olish komponenti-mavzu bo'yicha mutaxassis tomonidan ma'lumotlar bazasiga ma'lumotlarni kiritish uchun javobgardir ushbu tarkibiy qismlarning barchasi amalda bir-biri bilan qanday o'zaro ta'sir qilishini ko'rib chiqing.

TET (tibbiy ekspert tizimlar) yordamida tashxis qo'yish ekspert tizimi yordamida tashxis qanday amalga oshirilishini tushunish uchun biz uni loyihalash printsipini tahlil qilishga harakat qilamiz. Keling, kasallikning rivojlanish xavfini aniqlash vazifasi bo'lgan dasturni olaylik. Birinchidan, kasallikning paydo bo'lishiga ta'sir qilishi mumkin bo'lgan ma'lum omillar va ularning ahamiyati to'g'risida kirish ma'lumotlari to'planadi. Buni, masalan, tasdiqlangan tashxis qo'yilgan bemorlarni, shuningdek, ko'rib chiqilayotgan patologiyaga ega bo'lmagan odamlar guruhini – nazorat guruhi sifatida so'roq qilish orqali amalga oshirish mumkin. Bundan tashqari, ko'p o'lchovli tahlil usullari yordamida mavjud dastlabki ma'lumotlar bo'yicha qaror qabul qilish tartibi ekspert shifokorning analitik jarayonini takrorlab, tarkibiy qismlarga bo'linadi.

Chiqishda ma'lum bir kasallik belgilari (va uning yo'qligi) va bemorlarni "xavf" va "norma" guruhlarini o'rtasida taqsimlash qoidalarini olinadi. Algoritm yangi namunada sinovdan o'tkaziladi va xatolar aniqlanganda tuzatiladi. Qoidalarning yakuniy to'plami ET bilim bazasiga kiritiladi. Uchrashuvda shifokor anamnezni (dastlabki ma'lumotlarni) to'playdi va uni shaxsiy kompyuter yordamida tizimga kiritadi. Bu dastur bilan dialog rejimida (savol-javob) sodir bo'lishi mumkin yoki ET uchun ma'lumotlarni tuzadigan ma'lum bir anketa shaklini to'ldirishga o'xshaydi. Ushbu ma'lumotlar ishlaydigan xotiraga tushadi.

Bundan tashqari, es ularni bilimlar bazasiga kiritilgan mantiqiy qoidalar orqali "haydab chiqaradi", dastur qanday qilib bunday xulosaga kelganligini tushuntirib javob beradi. Tushuntirish ham grafik, ham yozma

shaklda taqdim etilishi mumkin. Ekspert tizimining hukmining ishonchliligi ishonch koeffitsienti (K) bilan ifodalanadi – xulosaning yolgʻonligi yoki adolatliligining raqamli xarakteristikasi. " K " 1 dan 0 gacha. Es xulosasi quyidagicha koʻrinishi mumkin: "ishonch darajasi past boʻlgan bemor ($K = 0.344$) ateroskleroz rivojlanish xavfi ostida." Yoki: "yuqori darajadagi ishonchga ega boʻlgan bemor ($K=0,943$) ateroskleroz rivojlanish xavfi ostida. Yurakning ultratovush tekshiruvi tavsiya etiladi." Belgilangan tadqiqot natijalariga koʻra, es bilim bazasi quyidagi bemorlarni tashxislashda foydalaniladigan yangi maʼlumotlar bilan toʻldirilishi mumkin. Bu oʻrganish komponentidan kelib chiqadi. Tizimning bilim bazasi qanchalik katta boʻlsa, uning prognozlari statistik jihatdan aniqroq boʻladi, agar axborot massivini qayta ishlash uchun etarli texnik taʼminot mavjud boʻlsa. Tibbiy ekspertiza tizimi tor mutaxassislariga ham, umumiy amaliyot shifokorlariga ham, kichik tibbiyot xodimlariga ham zarur yordam koʻrsatishga qodir. Ixtisoslashgan shifokorlar dasturni ikkinchi fikr, uchastka va feldsherlar – ekspert hamkasbi sifatida ishlatishlari mumkin.

Bu, masalan, malakali kadrlar etishmaydigan chekka hududlarda oqlanadi. Ekspert tizimlarining evolyutsiyasi va joriy etilishi doimiy ravishda texnologiyalar va tegishli mutaxassisliklar – dasturlash, bilim muhandisligi rivojlanishi bilan bogʻliq. Shuning uchun, ehtimol yaqin kelajakda tibbiyotda va boshqa amaliy sohalarda aqlli tizimlar yanada faolroq qoʻllaniladi.

3.5. Aholi sonining dinamikasi modeli. Ommalashtirish modellari.

Puls toʻlqinining modeli.



Er yuzida yashovchi odamlar soni asosan insoniyatning kelajakdagi rivojlanishini belgilaydigan asosiy tizimni tashkil etuvchi omillardan biridir. Agar bundan 100 yil oldin, aksariyat mamlakatlarda aholi sonining ko'payishi ularning iqtisodiy va siyosiy rivojlanishining asosiy omili bo'lgan bo'lsa, so'nggi o'n yilliklarda u o'zining "belgisini" o'zgartirib, qadr-qimmatdan katta muammoga aylandi. Agar yangi davr boshlanganidan beri 1900 yil ichida odamlar soni taxminan 5,8 baravar ko'paygan bo'lsa, keyingi 117 yil ichida 1990 yildan 2017 yilgacha yillar 4,6 baravar ko'paydi.

Ya'ni. o'sish sur'ati taxminan 13 baravar oshdi. Dunyoda ko'p sonli odamlar urushlarning paydo bo'lishiga sabab bo'ladi, shu jumladan iqtisodiy, milliy va diniy tuproqlarda jahon, harbiy mojarolar ekologik muammolarning kuchayishiga yordam beradi. Er yuzida yashovchi odamlar sonining ko'payishi jahon iqtisodiyotining xom ashyo sektori uchun alohida ahamiyatga ega. Oziq-ovqat, zarur miqdorda toza suv, energiya resurslari, metallar bilan ta'minlash kabi muammolar aholi sonining yuqori o'sish sur'ati bilan tobora kuchayib borayotgan qarama-qarshilikka duch kelmoqda. Xom ashyoni qazib olish va olish texnologiyalari takomillashganiga qaramay, yaqin kelajakda ular dunyoda aholi sonining ko'payishiga mos kelmasligi mumkin. Shuning uchun asosli uzoq muddatli prognozlar va strategik rivojlanish rejalarini shakllantirish uchun global va fundamental o'sish omillarini ilmiy prognozlashning uslubiy apparatini doimiy ravishda takomillashtirish zarur.

Bunday qurilma mavjud va doimiy ravishda takomillashtirilmoqda. Bu ko'plab taniqli odamlarni o'z ichiga oladi. Uzoq muddatli prognozlarni shakllantirishda siz ushbu natijalardan foydalanishingiz mumkin. Ammo, bizning fikrimizcha, bu natijalarning aksariyati shubhasizdir. Shu sababli, strategik baholash va prognozlash markazi er yuzida aholi sonining ko'payishi masalasida o'z pozitsiyasini belgilashga qaror qildi. Shubhasiz, kelajakdagi muammolarni tahlil qilishda nafaqat butun dunyo bo'ylab aholining umumiy sonini, balki odamlar sonining turli mamlakatlar va mintaqalar bo'yicha taqsimlanishini ham hisobga olish kerak. Shu bilan birga, aholining umumiy soni o'ziga xos mintaqaviy xususiyatlar bilan modulyatsiya qilingan asosiy tendentsiyani anglatadi va global miqyosda vaziyat portlovchi xususiyatga ega.

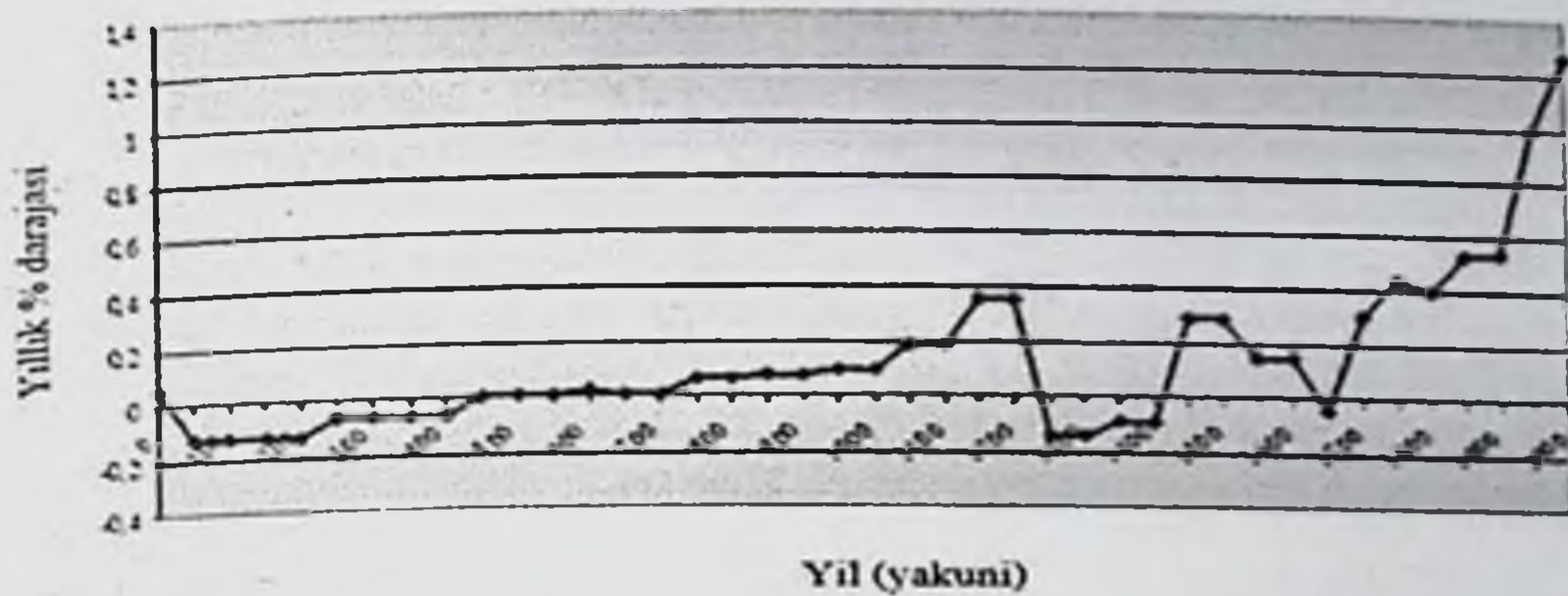
Agar dunyodagi umumiy aholi dinamikasining matematik modellarini ko'rib chiqsak, portlash o'xshashligi yanada kuchayadi. Kirish er yuzida yashovchi odamlar soni asosan insoniyatning kelajakdagi rivojlanishini belgilaydigan asosiy tizimni tashkil etuvchi omillardan biridir. Agar bundan

100 yil oldin, aksariyat mamlakatlarda aholi sonining ko'payishi ularning iqtisodiy va siyosiy rivojlanishining asosiy omili bo'lgan bo'lsa, so'nggi o'n yilliklarda u o'zining "belgisini" o'zgartirib, qadr-qimmatdan katta muammoga aylandi.

Agar siz uni hal qilish uchun shoshilinch va global choralarni ko'rmasangiz, u nafaqat butun dunyo bo'ylab odamlar hayotining ko'p jihatlarini sezilarli darajada deformatsiya qilishi, balki "ideal bo'ron" sxemasi bo'yicha boshqa asosiy muammolarni ham kuchaytirishi mumkin. Albatta, kelajakdagi muammolarni tahlil qilishda nafaqat butun dunyo bo'ylab aholining umumiy sonini, balki odamlar sonining turli mamlakatlar va mintaqalar bo'yicha taqsimlanishini ham hisobga olish kerak. Shu bilan birga, aholining umumiy soni o'ziga xos mintaqaviy xususiyatlar bilan modulyatsiya qilingan asosiy tendentsiyani anglatadi.

Dunyoda ko'p sonli odamlar urushlarning paydo bo'lishiga sabab bo'ladi, shu jumladan iqtisodiy, milliy va diniy tuproqlarda jahon, harbiy mojarolar ekologik muammolarning kuchayishiga yordam beradi. Er yuzida yashovchi odamlar sonining ko'payishi jahon iqtisodiyotining xom ashyo sektori uchun alohida ahamiyatga ega. Oziq-ovqat, zarur miqdorda toza suv, energiya resurslari, metallar bilan ta'minlash kabi muammolar aholi sonining yuqori o'sish sur'ati bilan tobora kuchayib borayotgan qarama-qarshilikka duch kelmoqda. Xom ashyoni qazib olish va olish texnologiyalari takomillashganiga qaramay, yaqin kelajakda ular dunyoda aholi sonining ko'payishiga mos kelmasligi mumkin.

Bu, birinchi navbatda, neft va gaz sektoriga taalluqlidir, u allaqachon yaqinlashib kelayotgan inqirozni neft va gaz narxlarining mos ravishda oshishi bilan qimmat va erishish qiyin bo'lgan konlarni o'zlashtirish bo'yicha moslashuvchan rejalar bilan taqdim etgan. Qisqacha aytganda, siz yaxshi hayotdan Arktikaga borolmaysiz. Shu sababli, asosli uzoq muddatli prognozlar va strategik rivojlanish rejalarini shakllantirish uchun so'nggi o'n yilliklardagi yangi ma'lumotlar, xususan, dunyo aholisining ko'payishi asosida global va asosiy o'sish omillarini ilmiy bashorat qilishning uslubiy apparatini doimiy ravishda takomillashtirish zarur. Dunyo aholisi dinamikasining modellari er yuzida yashovchi odamlar soni bo'yicha ma'lum ma'lumotlarga asoslanadi. Asarlarga ko'ra ular 1-jadvalda keltirilgan. Biz o'zimizni 2017 yil davomiyligi bilan chekladik, yangi davr, tarixchilarga bir necha milliondan yuz ming yilgacha bo'lgan davrda ushbu qiziqarli mavzuni o'rganishni qoldiramiz. Jadval ma'lumotlari asosida. Bir yerdagi aholi sonining o'sish sur'atlari aniqlanadi. (1-rasm).



Ko'rinib turibdiki, 1150 yilgacha o'sish sur'ati nisbatan past bo'lgan va Evropa va Osiyodagi ma'lum urushlarning ba'zi davrlarida hatto salbiy bo'lgan. Keyin, taxminan 1700 yildan boshlab o'sish sur'ati oshdi va 1900 yilga kelib ularning soni 1,6 milliarddan oshdi.

1-jadval

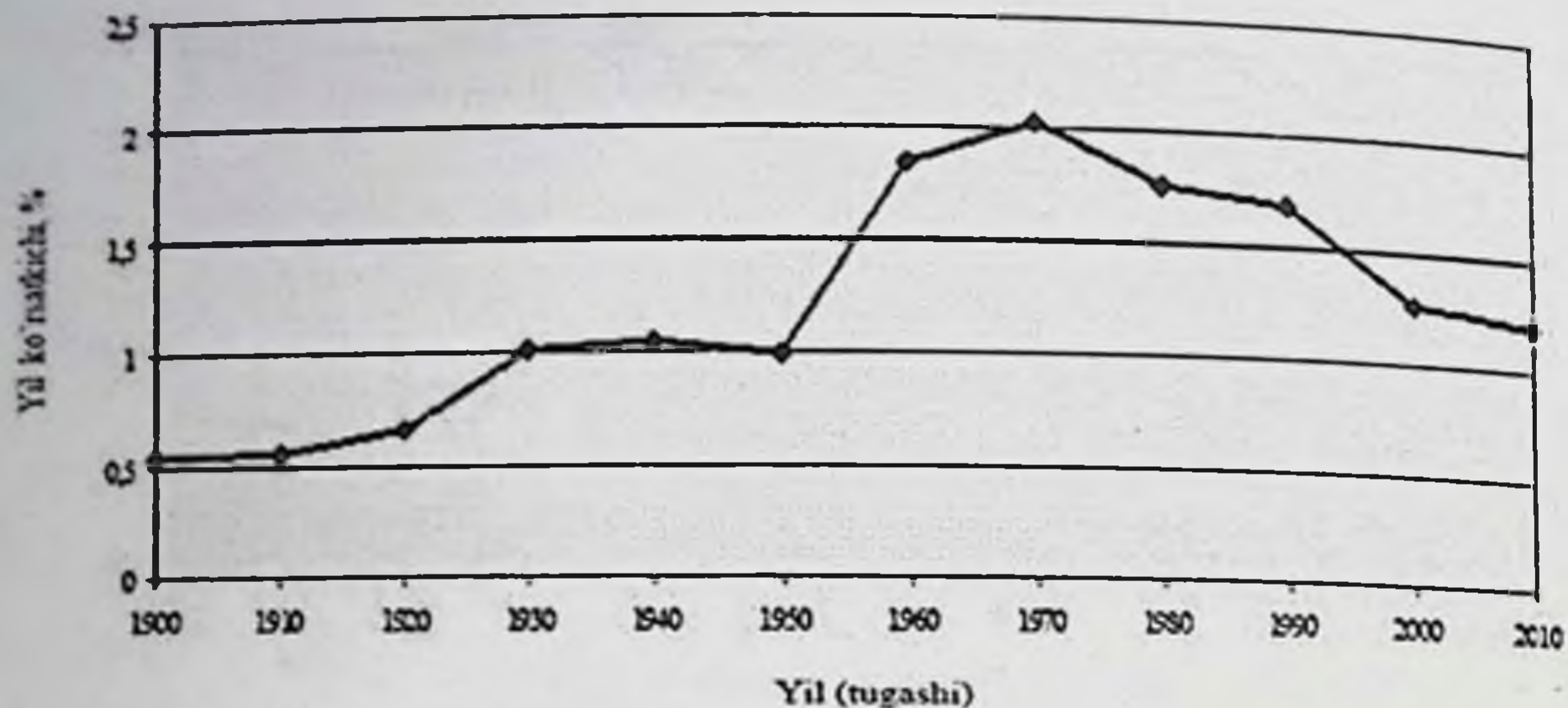
№ п.п.	Год (окончание)	Численность населения, млрд.
1	0	0.285
2	200	0.223
3	400	0.198
4	500	0.2
5	600	0.206
6	700	0.208
7	800	0.222
8	900	0.24
9	1000	0.265
10	1100	0.32
11	1200	0.455
12	1300	0.396
13	1400	0.362
14	1500	0.483
15	1600	0.562
16	1650	0.55
17	1700	0.64
18	1750	0.795
19	1800	0.969
20	1850	1.265
21	1900	1.656
22	1910	1.75
23	1920	1.87
24	1930	2.07
25	1940	2.3
26	1950	2.540807495
27	1951	2.586957085
28	1952	2.632787502
29	1953	2.678896551
30	1954	2.725766615

31	1955	2.773762631
32	1956	2.823131978
33	1957	2.874013095
34	1958	2.926452535
35	1959	2.981394663
36	1960	3.036978803
37	1961	3.094237385
38	1962	3.153380494
39	1963	3.214727506
40	1964	3.278555015
41	1965	3.345008017
42	1966	3.414025267
43	1967	3.485254803
44	1968	3.558117546
45	1969	3.632007495
46	1970	3.706609481
47	1971	3.781872344
48	1972	3.857602433
49	1973	3.933417605
50	1974	4.008989361
51	1975	4.084105387

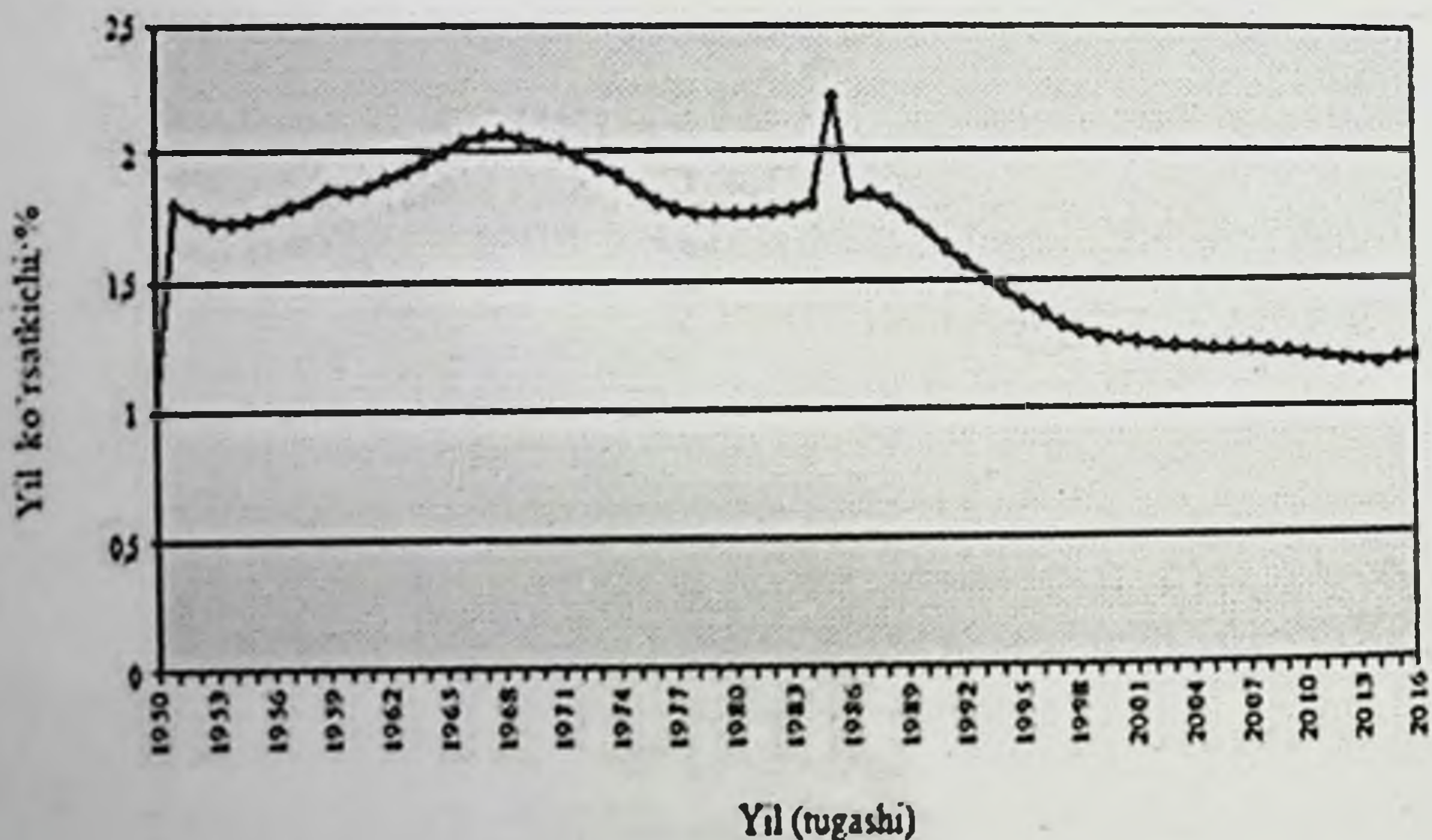
52	1976	4.158756254
53	1977	4.233302166
54	1978	4.308410980
55	1979	4.384771573
56	1980	4.462682114
57	1981	4.542088143
58	1982	4.62313168
59	1983	4.706216901
60	1984	4.791660298
61	1985	4.898970836
62	1986	4.98961623
63	1987	5.081956782
64	1988	5.174616988
65	1989	5.266183401
66	1990	5.355950662
67	1991	5.443722939
68	1992	5.529621549
69	1993	5.613760957
70	1994	5.696335791

71	1995	5.777414187
72	1996	5.856964684
73	1997	5.935153167
74	1998	6.012508224
75	1999	6.089825349
76	2000	6.167406568
77	2001	6.245218155
78	2002	6.323402931
79	2003	6.402104428
80	2004	6.481482361
81	2005	6.561634842
82	2006	6.642621707
83	2007	6.724367437
84	2008	6.806802897
85	2009	6.889811477
86	2010	6.973271757
87	2011	7.057184484
88	2012	7.141539483
89	2013	7.22615473
90	2014	7.310679524
91	2015	7.397776362
92	2016	7.486520598
93	2017	7,577 (оценка)

Va birinchi jahon urushi tugaganidan keyin aholining o'sish sur'ati yana 2-4 baravar oshdi (rasm. 2) va 2017 yil oxiriga kelib, er yuzidagi odamlar soni taxminan 7,6 milliardga etishi kutilmoqda (jadval. 1).



Ammo global demografik vaziyat o'zgarishining ba'zi ijobiy tendentsiyalari mavjud: 1968 yildan keyin sur'at sekinlasha boshladi (3-rasm).



3-rasm. 1950-2016 yillarda er yuzidagi aholi sonining o'zgarishi darajasi, %/yil

Biz 1986 yilga yaqin o'sish sur'atlarining g'alati xatti-harakatlariga e'tibor qaratmagunimizcha, bu statistik ma'lumotlarni shakllantirish tartibining o'zgarishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Ammo, ehtimol, bu ba'zi muhim qonuniyatlarning namoyon bo'lishining belgisidir: 1985-1986

yillarda dunyoda nima sodir bo'lganini eslash va bu tug'ilishning o'sishiga qanday turtki bo'lishi mumkinligini taxmin qilish kifoya. Yana bir muhim narsa: 1968 yildan keyin dunyo aholisining umumiy sonining o'sish sur'atlari pasaygan, ammo ular ijobiy bo'lib qolmoqda. Ya'ni, er yuzidagi odamlar soni kamroq bo'lsa ham o'sishda davom etmoqda.

Shunday qilib, agar yangi davr boshlanganidan beri 1900 yil ichida odamlar soni taxminan 5,8 baravar ko'paygan bo'lsa, keyingi 117 yil ichida u 4,6 baravar ko'paygan. Ushbu davrlarda o'sish sur'ati taxminan 13 baravar oshdi. Vaziyat portlovchi xususiyatga ega. Agar dunyodagi umumiy aholi dinamikasining matematik modellarini ko'rib chiqsak, portlash o'xshashligi yanada kuchayadi. Mavjud matematik modellar va ularni tanqidiy tahlil qilish dunyodagi n populyatsiyasining dinamikasini tavsiflovchi eng mashhur matematik model 1960 yilgacha ma'lum bo'lgan statistik ma'lumotlarni qayta ishlash asosida mor, Forster va Emiot tomonidan ishlab chiqarilgan evolyutsiyaning giperbolik qonuni modelidir.:

$$N = C/(T1 - t), \quad (1)$$

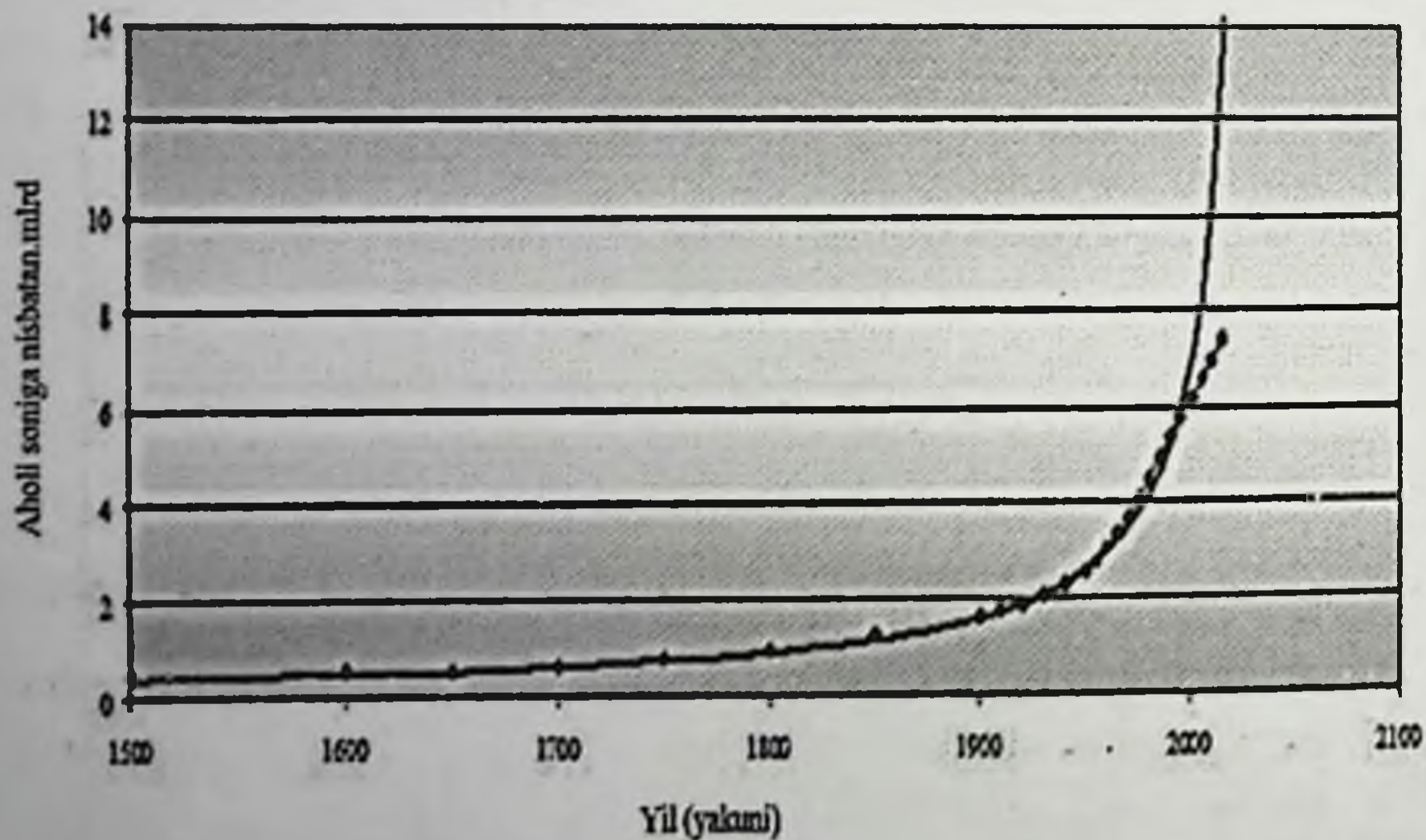
bu erda t-yangi davr boshidan hisoblangan yillardagi vaqt(ya'ni, bizga tanish bo'lgan yil raqami); C-qiymati N ning qaysi birliklarda o'lchanganiga bog'liq bo'lgan doimiy: agar-milliard kishi bo'lsa, u holda C model mualliflari tomonidan 200 milliard kishi baholandi. T1-boshqa doimiy, "yil" o'lchamiga ega va 2026,8685 yilga teng. Faqatgina 2 ta doimiy C va T1 mavjud bo'lgan ushbu giperbolik matematik model (biz uni "model 1" deb ataymiz) nafaqat asrlar, balki ming yillar davomida aholi dinamikasini tavsiflash uchun juda sodda, ammo hayratlanarli darajada aniqdir. Agar biz o'zimizni faqat yangi davr bilan cheklasak, unda C va T1 qiymatlarini aholining model va haqiqiy qiymatlari o'rtasidagi nomuvofiqliklarning nisbiy qiymatlari kvadratlari yig'indisini minimallashtirish shartidan aniqlash mumkin. Ushbu ma'lumotlar jadvalda keltirilgan. 2 statistik qator boshlanishining turli qiymatlari uchun.

2-Jadval.Model 1(1960 yilgacha)

Parametr	t_0 yil boshidagi ma'lumot							
	0	500	1000	1500	1600	1700	1800	1900
O'rtacha nisbiy mos kelmaslik $\Delta_c, \%$	14,23	9,67	9,56	4,25	3,37	2,62	2,4	1,73
C, mlrd Odam x yil	281,73	267,45	255,54	230,3	224,44	222,77	226,3	210,1
T1. yillar	2061,15	2054,52	2049,22	2038,56	2036,19	2035,52	2036,9	2030,74

4-rasm

Masalan, agar statistik ma'lumotlar seriyasining boshlanishining 10 yili 1500 ga teng bo'lsa, demak, C va T1 jadvaldan 1500-1960 yillar davomida aniqlangan. 2 ko'rinib turibdiki, mos kelmaslikning o'rtacha kvadratik nisbiy qiymatlari bir necha foizni tashkil qiladi. Va agar statistikaning boshlanishi nol yilda (yangi davrning boshlanishi) tanlangan bo'lsa, unda taxminan 14% olinadi. Bundan tashqari, ushbu usulda olingan C va T1 qiymatlari 1-model mualliflari taklif qilgan qiymatlarga yaqin deb taxmin qilishimiz mumkin. 1500-2100 yillar oralig'i uchun $N(t)$ vaqtga bog'liqlik 4-rasm. Shu bilan birga, 1950-2017 yillarda aniqlik uchun aholining haqiqiy qiymatlariga mos keladigan markerlar har bir yil uchun emas, balki faqat raqamlari to'liq 5: 1950, 1955, 1960, 1965 va boshqalarga bo'lingan markerlar uchun belgilanadi. Xuddi shunday-boshqa modellarga mos keladigan boshqa shunga o'xshash chizmalar uchun. Endi qiziqarli qism boshlanadi. Gap shundaki, model 1 maxsus nuqtaga ega $T1 = 2026,8685$, bu model mualliflarining hisob-kitoblariga ko'ra 2026 yil 13-noyabrga to'g'ri keladi. (1) formulaga ko'ra, bu kun yerdagi aholi soni cheksiz bo'lishi kerak. Ma'lumotlar jadvali. 2 ushbu xususiyat tubdan o'zgarmaydi: agar siz 1900 yildan beri raqamlarga e'tibor qaratsangiz (jadvalning o'ng ustuni. 4), keyin 2026 yil 13-noyabr o'rniga u 2030 yil 27 sentyabrda chiqadi.



4-rasm. Yerdagi aholi sonining dinamikasi (1- model)

Yaqinda tarqatilishi kerak bo'lgan nazoratdan chiqib ketgan yadroviy reaktor bilan o'xshashlik paydo bo'ladi. Shuning uchun, maxsus nuqtaning mavjudligi 1-modelning eng jiddiy kamchiliklari hisoblanadi. S. P. Kapitsa 1-modelda hisobga olinmagan muhim omil insonning hayoti va reproduktiv qobiliyatining boshlanishi deb hisoblagan. U ushbu ikkita omilni bitta parametr bilan modellashtirdi τ quyidagicha. Birinchidan, (1) differentsial shaklda yozilgan:

$$dN/dt = C/(T_2 - t)^2 \quad (2)$$

va keyin maxrajda almashtirildi

$$(T_1 - t)^2 \text{ na } (T_2 - t)^2 + \tau^2$$

Bu erdan differentsial tenglama kelib chiqadi

$$dN/dt = C/\{(T_2 - t)^2 + \tau^2\}, \quad (3)$$

shartni bajarish davomida

$(T_2 - T)/\tau \rightarrow \infty$ (ya'ni uzoq o'tmishda) $N \rightarrow 0$, $N(t)$ uchun oddiy analitik ifodani olish mumkin:

$$N = (C/\tau) \times \text{arcctg}\{(T_2 - T)/\tau\} \quad (4)$$

(4) da C , T_2 va τ konstantalari, shuningdek, model va haqiqiy qiymatlar o'rtasidagi nisbiy nomuvofiqliklar kvadratlari yig'indisini minimallashtirish shartidan aniqlanishi kerak. Buning uchun 3 o'zgaruvchining funktsiyasini optimallashtirish muammosini raqamli usul bilan hal qilish kerak.

Biroq, matematikani sevuvchilar uchun alohida ta'kidlash mumkin: bu muammoni 2 o'zgaruvchining funktsiyasini minimallashtirishga kamaytirish mumkin, bu esa hal qilish tartibini biroz soddalashtiradi va aniqlikni oshiradi. S. P. Kapitsa o'z modeli parametrlarining quyidagi qiymatlarini taklif qildi, keyinchalik ular "model 2" deb nomlanadi (n milliard odam bilan o'lchanadi):

$$C = 186 \text{ млрд. odam.} \times \text{yilda}; T_2 = 2007; \tau = 42 \text{ yilda.}$$

Keyingi ishida [6] u ushbu parametrlar to'plamiga aniqlik kiritdi:

$$C = 172 \text{ млрд. odam.} \times \text{yil}; T_2 = 2000; \tau = 45 \text{ yilda}$$

Agar 1-jadvalda ko'rsatilgan ma'lumotlar to'plami bilan 1-model uchun bo'lgani kabi operatsiyani bajaring, shunda siz 3-jadvalni olasiz. Bu raqamlar S. P. Kapitsa baholariga yaqin. 2-modelning haqiqiy ma'lumotlarga mos kelmasligi ham juda kichik. 2-model bo'yicha hisoblangan aholi soni dinamikasi to'g'risidagi ma'lumotlar 5-rasm. 3-Jadval. Model 2 (2000 yilgacha)

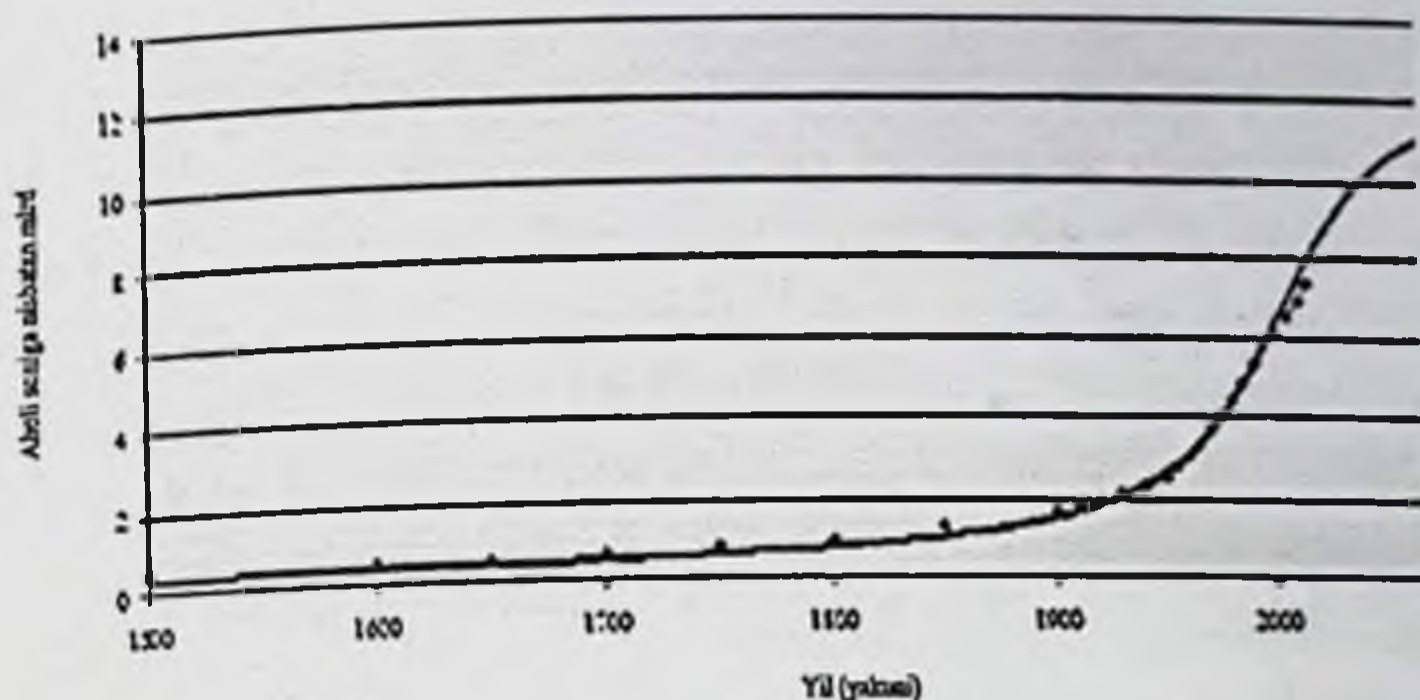
Parametr	t_0 yil boshidagi ma'lumot							
	0	500	1000	1500	1600	1700	1800	1900
O'rtacha nisbiy mos kelmaslik $\Delta_0, \%$	11,758	8,395	7,67	4,432	3,944	3,594	3,448	2,411
C, mlrd Odam x yil	258,332	248,476	238,476	215,266	208,08	200,32	189,94	161,676
T1, yillar	2041,07	2038,63	2032,38	2026,52	2023,11	2019,5	2014,8	202,67
T, yillar	0	0	0	23,86	27,694	30,871	33,913	38,125
N_{max} mlrd. odam	-	-	-	28,344	23,605	20,386	17,6	13,322

Kichik t bilan 1-modelga o'tadigan 2-model, unga nisbatan 2 ta muhim afzalliklarga ega. Birinchidan, u haqiqatga mos keladigan muhim nuqtaga ega emas. Ikkinchidan, 2-modeldan N_{max} chegarasi mavjud bo'lib, unga insoniyat soni asimptotik tarzda intiladi:

$$N_{max} = \pi \times C / \tau$$

2-model jadval hisob-kitoblariga ko'ra, bu chegara 12 milliard kishiga teng.

3-jadvalda 13,322 milliard kishi.



5-rasm. Yerdagi aholi sonining dinamikasi (2-model)

Aholi sonining o'zishi tabiatidagi ushbu o'zgarish uchun maxsus ibora – global demografik o'tish ixtiro qilindi. Fizikada 2-turdagi fazali o'tishga o'xshash narsa bor. 2-modelning asosiy kamchiligi parameter ma'nosining noaniqligidadir τ : agar u o'rtacha umr ko'rishni aniqlasa, unda 42-45 yil kam, agar avlodlar o'zgarishi tezligi ko'p bo'lsa; buning uchun 15-25 yil raqami ko'proq mos keladi. Ammo asosiy narsa bu ham emas. Agar τ vaqtni kechiktirishning bir turi sifatida qaralsa, unda aholi sonining dinamikasining differentsial tenglamasini (3) shaklida emas, balki quydagicha yozish mantiqan to'g'ri bo'ladi.

$dN/dt = C/(T_2 + \tau - t)^2$, bu juda aniq (1) bo'lib chiqadi, unda $T_1 = T_2 + \tau$ va tanqidiy nuqta yo'qolmaydi. Bundan tashqari, u bir xil joyda qoladi. Shuning uchun o'ziga xoslikni yo'q qilish muammosi hal qilinmaydi. Parametr τ faqat kechikish vaqti sifatida qaralishi mumkin $t \approx T_2$. Haqiqatan ham, chunki

$$\begin{aligned} (T_2 + \tau - t)^2 &= (T_2 - t)^2 + 2 \times (T_2 - t) \times \tau + \tau^2, \text{ to } (T_2 + \tau - t)^2 \\ &\approx (T_2 - t)^2 + \tau^2 \end{aligned}$$

faqat T_2 dan ozgina farq qilganda. Boshqa barcha holatlarda τ vaqtni kechiktirish deb hisoblash mumkin emas. Eng yaxshi holatda, bu vaqt o'lchoviga ega bo'lgan, ammo aniq jismoniy ma'noga ega bo'lmagan ba'zi modellashtirish parametridir. Va shuning uchun u mantiqiy ravishda muzlaydi, matematik mavhumlikka aylanadi, 2 – model uchun global

demografik o'tish tushunchasi muhim, uning harakatlantiruvchi omillari aniq emas. Ko'rib chiqilgan 1,2 modellar uchun (1-4) iboralardan ko'rinib turibdiki, ular ming yillar davomida yer aholisining sonining o'sishi faqat N populyatsiyasining o'ziga bog'liq va boshqa tashqi omillar bilan bog'liq emas: atrof-muhit parametrlari, texnologiyalar, resurs cheklovlari va boshqalar. Bu "demografik imperativ" deb yaxshi nomlangan.

Nomi albatta, chiroyli, ammo etarli darajada konstruktiv emas. Yer aholisining o'sishining boshqa mumkin bo'lgan modellari ko'rib chiqilgan. Ushbu yondashuvlarning asosiy vazifasi, ularning aksariyati juda aqlli, so'nggi o'n yilliklardagi hodisani tushuntirishga urinishdir. 1967-1968 yillarda aholi sonining o'sish sur'atlarining pasayishi katta urushlar va epidemiyalar bo'lmagan, katta asteroidlar erga tushmagan va o'sish sur'ati to'satdan pasayishni boshlagan. Demografik imperativ nuqtai nazardan, bu tushunarsiz va shuning uchun uning izdoshlari uchun yoqimsiz.

Yuqorida ko'rib chiqilgan yondashuvlardan M. Kremer, A. V. Podlazov modellarini, asar mualliflarining o'zlari modelini ajratib ko'rsatish mumkin. Tug'ilishning pasayishini aholining savodxonlik darajasi bilan bog'lashga urinishlar ham qiziq. To'g'ri, sabab qaerda va natija qaerda bu ham aniq emas: agar oilada 10 ta qora tanli yoki ettita do'kon bo'lsa, unda bu qandaydir tarzda yaxshi ma'lumot olishni rag'batlantirmaydi. O'sish sur'atlarining pasayishini tushuntirish uchun ko'pchilik mualliflar 2 va 3-darajali yordamchi modellarni yaratishni taklif qilishadi. Ularning fikriga ko'ra, bu asl muammoni hal qilishga yordam beradi, va bizning fikrimizcha, bu tadqiqotchilar metodik tuzoqqa tushib qolishadi.

Haqiqat shundaki, quyi tizim darajalarining matematik modellari ularni hisoblash uchun katta hajmdagi dastlabki ma'lumotlarni talab qiladi. Va ular etarli emas. Bu ma'lum bo'lgan ekonometrik dilemma-matematik modelning oqilona murakkabligini mavjud faktik ma'lumotlarga mos ravishda tanlash: ko'pincha matematik modelni soddalashtirish kerak, chunki etarli va murakkab modellar uchun dastlabki ma'lumotlarning miqdori va sifati etarli emas. Shuning uchun, quyida yangi omillarni hisobga olish uchun, lekin ayni paytda modellarning o'zlarini juda murakkablashtirmaslik uchun 1 va 2 boshlang'ich modellarining bunday modifikatsiyalariga urunib ko'rilgan. Ular mavjud dastlabki ma'lumotlarga mos kelishi uchun. Aholi dinamikasining dastlabki tenglamasini

o'zgartirishga asoslangan matematik modellar asosida quyidagicha oddiy savol beraylik: nega 1-model ming yillar davomida aholi dinamikasini to'g'ri tasvirlab berdi va keyin to'satdan so'nggi 50 yil ichida muvaffaqiyatsizlikka uchradi? Nima uchun bu sodir bo'ldi, so'nggi yarim asrda nima o'zgardi? Savolning birinchi qismiga javob berishga harakat qilaylik: nima uchun model 1 oldingi yillardagi odamlarning umumiy sonining dinamikasini juda yaxshi tasvirlab berdi? Kichik interpolatsiya xatolarini ta'minlaydigan formulalarni olish oddiy masala: masalan, birinchi kurs talabalari Lagranjning interpolatsiya formulasi bilan tanishadilar, bu umuman interpolatsiya polinomining haqiqiy qiymatlari va qiymatlari o'rtasidagi barcha nomuvofiqliklarning qiymatlarini nolga tenglashtiradi. Bashorat qilish uchun haqiqat (ya'ni. interpolatsiya oralig'idan tashqarida mustaqil o'zgaruvchining qiymatlari uchun) bunday polinomdan foydalanish mumkin emas-bu katta xatolar tufayli bunga mos kelmaydi. Bundan tashqari, polinom darajasi qanchalik yuqori bo'lsa, bashorat qilish xatosi shunchalik katta bo'ladi.

Ehtimol, bu erda ham xuddi shunday: kuzatuv oralig'ida xatolar kichik va undan keyin ular keskin o'sib boradimi? Yo'q, bunday emas: interpolatsiya polinomida ko'plab koeffitsientlar mavjud, 1 – modelda esa faqat 2. Ikki daraja erkinlik bilan kichik nomuvofiqliklarni faqat taxminiy funktsiya ko'rib chiqilayotgan jarayonning asosiy qonunlariga mos keladigan taqdirdagina olish mumkin. Shuning uchun, tan olish kerakki, 1-model hech bo'lmaganda 1960 yilgacha mo'l-ko'llik dinamikasini obyektiv ravishda tavsiflaydi.

Keling, berilgan savolga ko'plab tarafdorlari bo'lgan demografik imperativ nuqtai nazaridan javob berishga harakat qilaylik. Ushbu yondashuvga ko'ra, sababni faqat bitta – n populyatsiyada izlash kerak. So'nggi 50 yil ichida bu keskin oshdi. Boshqacha qilib aytganda, dN/dt o'sish sur'atlarini va uning sonini $N > 3,5$ milliardga o'zgardi. Bundan tashqari, ular shunday o'zgartirildiki, kichik N bilan eski, ming yillar davomida sinovdan o'tgan sxema ishlaydi va so'nggi o'n yilliklarda n ning o'sishi tufayli u boshqa, umumiyroq sxemaga aylandi. Bu kichik N bilan o'zining cheklangan holati bilan eski sxemaga ega. Endi biz yuqoridagilarni matematik formulalarning aniqroq tilida bayon qilamiz. N ni aniqlash uchun (1) va (2) iboralarni asos qilib oling, ularni differentsial nisbat sifatida emas, balki differentsial tenglama sifatida yozish mumkinligini ko'rish oson:

$$dN/dt = N^2 / C \quad (5)$$

Odatda, tirik organizmlar sonining o'sish sur'ati N ga mutanosib. Nima uchun odamlarda bunday emas? A. V. Podlazov hayotni tejaydigan texnologiyalarni rivojlantirish nuqtai nazaridan tushuntirish beradi. Bundan tashqari, bu atama juda keng ma'noga ega. Hayotni tejaydigan texnologiyalari oziq-ovqat ishlab chiqarishdan tortib diniy axloqiy me'yorlarga qadar qanday erishilishidan qat'i nazar, hayotni uzaytirish va o'limning oldini olish texnologiyalarigacha.

Keyingi bosqich-hayotni tejaydigan texnologiyalarni rivojlantirish va yangilash muhim ijtimoiy ixtirolar orqali amalga oshiriladi, ularning soni n tirik odamlar soniga mutanosibdir: odamlar qancha ko'p bo'lsa, ular orasida potentsial ixtirochilar, shuncha ko'p bo'ladi. Va bu ixtirolarning natijalari keyinchalik butun insoniyat tomonidan takrorlanib, ishlatila boshlandi. Boshqacha qilib aytganda, bu taxminda (5) ifodasi quyidagicha yozilishi mumkin:

$$dN/dt = (N/\alpha) \times (N/\beta) = (N/\alpha) \times (N \times \alpha/C), \quad (5)$$

muvofiqlikni ta'minlash uchun (5) va (6) tengliklarni

$$\alpha \times \beta = C \cdot B \quad (6)$$

birinchi omil biologik tur sifatida er yuzida yashovchi odamlar sonining dinamikasi, ikkinchisi esa hayotni tejaydigan texnologiyalarni takomillashtirish dinamikasi sifatida belgilanadi. Ammo hayotni tejaydigan texnologiyalar, ehtimol (6) da qayd etilganidek, n ning o'sishi bilan cheksiz rivojlana olmasligi aniq ularning samaradorligi uchun W jismoniy va biologik chegaralar mavjud. Odatda W parametrining dinamikasi differentsial tenglamadan aniqlanadi:

$$dW = (1 - W) \times \eta \times dN \quad (7)$$

(7) tenglama shuni ko'rsatadiki:

- ba'zi harakatlarning maksimal samaradorligi (bu holda hayotni tejaydigan texnologiyalar) 100% yoki o'lchovsiz ifodada-1;
- vaqtning har bir nuqtasida samaradorlikning o'zgarishi hal qiluvchi omilning o'zgarishiga mutanosibdir, bu holda- N ;
- bundan tashqari, vaqtning har bir daqiqasida samaradorlikning o'zgarishi potentsial imkoniyatlarga mutanosibdir ($1 - W$) uni keyingi o'zgartirish uchun: bu qanchalik kichik bo'lsa, hali amalga oshirilmagan

bo'lsa, qoldiqni o'zgartirish shunchalik qiyin bo'ladi. (7) tenglamaning echimi borligi deyarli aniq

$$W = 1 - \exp(-\eta \times N), \quad (8)$$

bu ham aniq shartni qonoatlantiradi: $N=0$ da, shuningdek $W=0$.

$$\text{Kichik } W = 1 - \exp(-\eta \times N) \approx \eta \times N$$

Endi aholining o'sish sur'atini belgilaydigan o'zgarishini hisobga olish uchun (5) va (6) ni qanday o'zgartirish kerakligi aniq bo'ladi: (6) o'miga siz quyidagi tenglikni yozishingiz mumkin.

$$dN/dt = (N/\alpha) \times \{1 - \exp(-N \times \alpha/C)\} \quad (9)$$

Kichik n uchun bu differentsial tenglama (5) tenglamaga o'zgaradi. Ammo katta N bilan, eksponent o'zining chiziqli bo'lmagan xususiyatlarini namoyish qilganda, (9) echimda yagona nuqta yo'q. Bundan tashqari, t ortishi bilan n ning cheksiz o'sishi davom etadi, ammo endi giperbolik emas, balki eksponensial qonun bo'yicha. Bu juda muhim uslubiy xususiyatdir (9). Oldingi tenglamalardan farqli o'laroq, differentsial tenglamani (9) analitik tarzda hal qilib bo'lmaydi.

Buning uchun raqamli usullar kerak bo'ladi, masalan, kichik vaqtli Eyler usuli bilan qadamning qiymati 1-oyga teng, ya'ni 1/12 yil. Bundan tashqari, dastlabki shartni belgilashingiz kerak. Bu tabiiy ravishda quyidagicha yoziladi:

$N(t_0) = \gamma \times ML[j(t_0), 2]$, bu yerda $j(t_0)$ - aholi statistikasi t_0 yiliga to'g'ri keladigan ML massividagi qator raqami; γ -tuzatuvchi o'lchovsiz parametr. Raqamli echim (9) natijasida berilgan t_0 qiymati uchun quyidagi funktsional bog'liqlik o'rnatiladi $N(t) = N(t, \alpha, C, \gamma)$ bundan tashqari, kuzatuv oralig'ida aholi soni bo'yicha Δ model va haqiqiy qiymatlarning o'rtacha kvadratik nisbiy nomuvofiqligi aniqlanadi: (10) keyingi bosqich a_0, C_0 parametrlarining bunday to'plamini aniqlashdir, γ_0 , bu $\Delta(a, C, \gamma)$ ni minimallashtiradi, ko'rib chiqilayotgan vaqt oralig'ida dunyodagi aholi soni bo'yicha haqiqiy ma'lumotlar to'plamiga mos keladi:

$$(\alpha_0, C_0, \gamma_0) = \text{Arg} \{ \Delta_0 = \min \Delta(\alpha, C, \gamma) \} \quad (11)$$

Ushbu optimallashtirish muammosida $\Delta(\alpha, C, \gamma)$ minimallashtiriladigan maqsad funksiyasi rolini o'ynaydi. Shunday qilib oxirgi bosqichda har qanday t uchun qiymatlar hisoblanadi

$N(t) = N(t, \alpha_0, C_0, \gamma_0)$. Keling, differentsial tenglamaga asoslangan matematik model (9), keyinchalik uni "model 3" deb ataymiz, haqiqatga qanday mos kelishini ko'rib chiqaylik, ya'ni mavjud dastlabki ma'lumotlar. Tegishli hisob-kitoblarning natijalari jadvalda keltirilgan. 4 model 1 va model 2 rasmlari bilan bir xil shaklda.

Jadval4. Model 3 (1960 yilgacha)

Parametr	t_0 yil boshidagi ma'lumot							
	0	500	1000	1500	1600	1700	1800	1900
O'rtacha nisbiy mos kelmaslik $\Delta_n, \%$	14,289	9,601	9,483	3,955	3,059	2,243	2,13	1,499
$\alpha_0, \text{ yil}$	2,745	1,635	0,9	0,975	2,1	3,0625	2,6125	3,35
$\beta_0, \text{ mlrd. odam. - yil}$	103,962	163,303	283,417	234,77	106,12	71,938	85,67	61,567
γ_0	0,48625	0,8601	0,9184	0,8826	0,91425	1,0358	0,9848	0,97
$C_0, \text{ mlrd. Odam. - yil}$	285,375	267	255,08	228,9	222,85	220,31	223,81	206,25

Olingan C_0 qiymatlari 2-jadvalning tegishli qiymatlariga juda yaqin bo'lganligi ajablanarli emas: 1- model va 3-model bitta asosga ega. Bundan tashqari, nima uchun 3 – model o'rtacha kvadratik nomuvofiqlikda biroz kamroq xatolarga olib kelishi aniq unda 2 emas, balki 3 ta parametr mavjud. Shuning uchun uning dastlabki ma'lumotlar to'plamiga moslashish qobiliyati 1-modelga qaraganda yuqori, ya'ni differentsial tenglamaning raqamli integratsiya xatolarining aniqligi bilan mos kelmaslikning o'rtacha qiymati past bo'lishi kerak.

Ammo 3-modelning asosiy afzalligi shundaki, unda $n \rightarrow \infty$ bo'lgan yagona nuqta yo'q. Quyidagi matematik modellarning tavsifiga o'tishdan oldin bitta tushuntirish kerak. Optimallashtirish muammosi (11) unchalik yaxshi aniqlanmagan vazifadir. Gap shundaki, γ_0 va C_0 parametrlari juda aniq o'rnatiladi, ammo parametrlar haqida

α_0 va $\beta_0 = C_0/\alpha_0$ buni aytish qiyin: faqat ularning mahsuloti aniq o'rnatiladi, ya'ni. Shuning uchun, 4-jadvaldan ko'rinib turibdiki, α_0 va β_0 ning optimal qiymatlari juda o'zgaruvchan. Va shuning uchun siz ushbu parametrlardan birining haqiqiy qiymatlarini, masalan, α_0 parametrini alohida ko'rib chiqishingiz kerak. O'zingiz o'ylab ko'ring inson yaxshi yashashi uchun barcha sharoit mavjud $W = 1 - \exp(-\eta \times N) = 1$, , ya'ni inson hayotini uzaytiradigan texnologiyalar maksimal darajada ishlab chiqilganda, hech bo'lmaganda 2100 yilgacha bo'lgan davr uchun qulay

sharoitlarda yer aholisining o'sish vaqtining doimiyligi. Keyingi baholarning aniqligi uchun, bu odamlarning o'rtacha umr ko'rish davomiyligi 80 yilga to'g'ri keladi va ular nafaqat nevaralarini, balki chevaralarini ham ko'rishlari mumkin. Bundan tashqari, uy-joy, bolalar bog'chalari, maktablar, pensiya ta'minoti va boshqalar bilan bog'liq muammolar mavjud emas.

Oilaning daromadi ham etarli. Shuning uchun har bir oila o'zining qulay hayoti uchun og'ir bo'lmagan darajada ko'p farzand ko'rishi va tarbiyalashi mumkin. Ammo "qulay hayot" tushunchasi har kimning o'ziga xos xususiyatiga ega. Ota-onalar bolalari etarli ekanligiga ishonishlariga imkon bering va ularning tarbiyasidan qolgan shaxsiy vaqt ish, dam olish, o'zini takomillashtirish uchun ketishi kerak. Ularning farzandlari va nabiralari ham xuddi shunday fikrda bo'lsin. Keyin 1-avlod ota-onalarining aholi sonining o'sishida ishtirok etish darajasi quyidagicha baholanishi mumkin:

$k + k^2/2 + k^3/4 = k \times \{1 + (k/2) + (k/2)^2\}$ va 4 ga bo'linish boshqa shunga o'xshash oilalarning ota-onalari bilvosita nasl tug'ilishida ishtirok etganligi sababli amalga oshiriladi. 80 yillik hayotdan keyin 1-avlod ota-onalari vafot etgandan so'ng, ularning ishtirokida tug'ilganlar soni $k \times \{1 + (k/2) + (k/2)^2\} - 2$ yoki 1-avlodning 1-ota-onasiga to'g'ri keladi:

$$(k/2) + (k/2)^2 + (k/2)^3 - 1$$

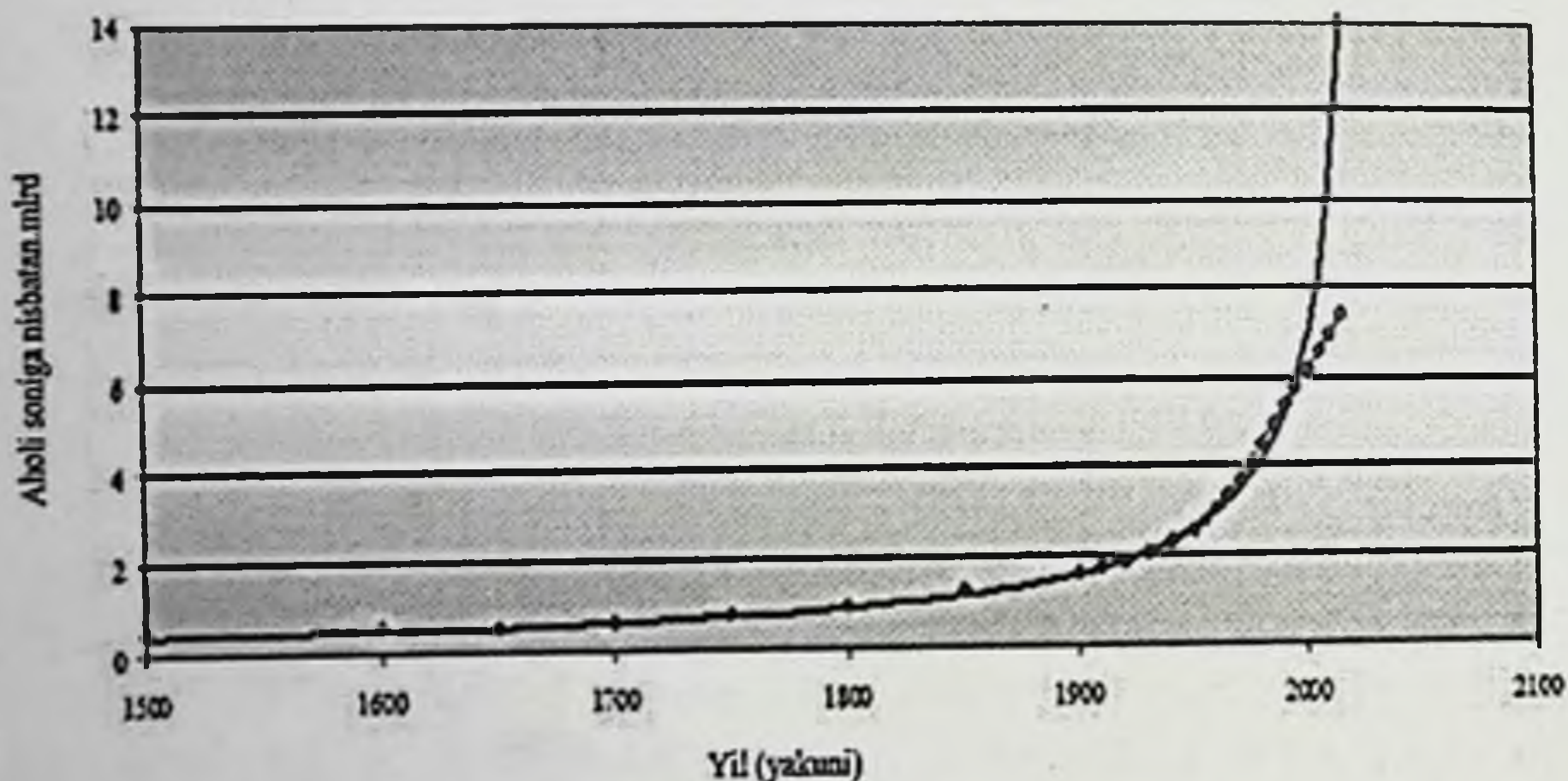
Keyin α qiymatining minimal qiymati uchun taxminan

$$\alpha \approx 80 / \{(k/2) + (k/2)^2 + (k/2)^3 - 1\}$$

$K=3$ da α parametrining minimal qiymati 13,06 yil deb taxmin qilinadi. Ushbu baholashning taxminiy xususiyatini hisobga olgan holda, (11) turdagi Δ ni minimallashtirish muammolari $a \geq 13$ 1-yil chegarasi bilan hal qilinadi – shuning uchun voqelikka muvofiqlik aniqroq bo'ladi. 5-Jadvalda bunday qarorning natijalari keltirilgan. Jadval ma'lumotlarini taqqoslashdan. 4 va 5 ko'rinib turibdiki, maqsad funktsiyasining minimal qiymati juda oz o'zgargan, bu kutilgan edi. Shaklda 6 statistik qator 1500 yildan boshlanadigan holat uchun $n(t)$ vaqtga bog'liqlik grafigi, ya'ni $t_0 = 1500$ da taqdim etiladi.

15-Jadva. 3-Model (1960 yilgacha; $\alpha \geq 13$ 1-yil)

Parametr	t_0 yil boshidagi ma'lumot							
	0	500	1000	1500	1600	1700	1800	1900
O'rtacha nisbiy mos kelmaslik $\Delta_0, \%$	14,589	9,988	9,794	4,159	3,173	2,328	2,282	1,565
α_0, yil	14,5	13,9	13	13	13	13	13	13
$\beta_0, \text{mlrd. odam.}$	19,155	18,808	19,132	17,052	16,574	16,352	16,487	15,006
γ_0	0,478	0,8525	0,9103	0,8773	0,9088	1,03	0,9808	0,9684
$C_0, \text{yiliga mlrd. Odam.}$	277,75	261,438	248,713	221,675	215,46	212,58	214,33	195,08



6-rasm. Yerdagi aholi sonining dinamikasi (3-model)

Umuman olganda, bu grafik 4-rasmga o'xshaydi, lekin u $N(t)$ cheksizlikka aylanadigan maxsus nuqtaga ega emas. $t > 1967$ yilda o'sish sur'atlarining pasayishini ko'rsatmasa ham 3-model takomillashtirilishi kerak. Masalan, o'ng tomonga (9) kechikish kiritilishi mumkin τ — odamlarda bolalar tug'iladi va hayotni tejaydigan texnologiyalar ixtirosi tug'ilgan paytdan boshlab emas, balki ma'lum bir yoshdan boshlab boshlanadi τ . Keling, bunday modifikatsiyani 4-model deb ataymiz. 4-modeldagi aholi sonining dinamikasi tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$dN(t)/dt = \{N(t-\tau)/\alpha\} \times \{1 - \exp(-N(t-\tau) \times \alpha/C)\} \quad (12)$$

Bunday tenglamaning echimlari murakkablashadi, chunki siz hozirgi emas, balki kechiktirilgan n qiymatlarini hisobga olishingiz kerak, buning uchun hisoblash dasturida qo'shimcha qator hosil bo'ladi. Endi $\Delta(a, C, \gamma, \tau)$ funksiyaning minimallashtirishi 4 o'zgaruvchiga bog'liq

$$(\alpha_0, C_0, \gamma_0, \tau_0) = \text{Arg} \{ \Delta_0 = \min \Delta(\alpha, C, \gamma, \tau) \} \quad (13)$$

$\alpha \geq 13$ cheklovi bilan optimallashtirish muammosini (13) $t_0 = 1900$ va t_k ning statistik qator tugashining turli vaqtlari bilan 6- jadvalda keltirilgan qiymatlarni olamiz.

6-Jadval.4- Model (1900 yildan; $a \geq 13$ 1-yil)

Параметр	t_k ma'lumotlar tugagan yil		
	1967	2000	2017
O'rtacha nisbiy nomuvofiqlik	2,111	2,895	3,997
α_0 , yil	13	41,13	57,65
β_0 , mlrd. odam	13,845	3,0582	1,53
γ_0	0,9515	0,9062	1,53
C_0 , mlrd.odam *yil	179,99	125,78	88,2
τ_0 , yillar	0	0	0

Vaqt qiymatlari τ_0 nolga teng bo'lib chiqadi, bu esa 4-modeldan foydalanish murakkabligini ko'rsatadi. Va α_0 va C_0 qiymatlari turli xil t_k qiymatlaridan sezilarli darajada farq qiladi. Aslida, bunday bo'lmasligi kerak, bu qiymatlar turli xil t_k lar uchun taxminan bir xil bo'lishi kerak. Shuning uchun 1967-1968 yillarda aholi sonining o'sish sur'atlarining pasayishini tushuntirish mumkin emas.

Shunga qaramay, o'sish tendentsiyasining o'zgarishi mexanizmini ko'rib chiqish kerak. Dunyo bo'ylab aholi sonini cheklash bo'yicha haqiqiy ma'lumotlar keyingi tahlillar 1967-2017 yillar davomida aholi sonining o'sish sur'atlarining pasayishining asosiy harakatlantiruvchi omili bir qator mamlakatlar tomonidan uning o'sish sur'atlarini cheklash bo'yicha

ko'rilayotgan chora-tadbirlar ekanligi haqidagi taxminga asoslanadi. Turli mamlakatlarda bunday choralar o'ziga xos milliy xususiyatlarga ega.

Hindistonda aholining o'sishi va demografik siyosat masalalarini muhokama qilish mamlakat mustaqillikka erishgunga qadar boshlandi, 1938 yilda o'tish davri hukumati milliy rejalashtirish qo'mitasi huzurida aholi bo'yicha kichik qo'mita tuzdi. 1952 yildan boshlab davlat tug'ilishni kamaytirish siyosatini amalga oshirishni boshladi. Ommaviy, davlat tomonidan homiylik qilingan, ayollarni sterilizatsiya qilish va tanlangan abortlar amalga oshirildi. Indira Gandi hukumati sterilizatsiya uchun pul mukofotlarini joriy qildi va keyin ikki farzandli erkaklarni majburan sterilizatsiya qilishga qaror qildi.

Kampaniya bir necha yil davomida maxsus sharoitda o'tkazildi. 1960-yillarning oxiridan boshlab, bir rivojlanayotgan mamlakat boshqa bironing tajribasini o'z milliy sharoitlariga moslashtirib, oilani rejalashtirish dasturlarini qabul qildi. 1978-2016 yillarda Xitoyda rasmiy statistik ma'lumotlarga ko'ra, 400 milliondan ortiq tug'ilishning oldini olgan "bitta oila – bitta bola" dasturi mavjud edi. To'g'ri, 2016 yildan keyin ushbu dastur bekor qilindi va 2 farzand ko'rishga ruxsat berildi, bu ham cheklovdir. Bir bolaning siyosati nazorat, rag'batlantirish va jazo choralarini o'z ichiga olgan. Agar er-xotinning allaqachon 2 farzandi bo'lsa, ayol (yoki kamdan-kam hollarda erkak) sterilizatsiya qilinishi kerak edi. Oldindan rasmiy ruxsatisiz har qanday homiladorlik abort bilan to'xtatilishi kerak edi. Majburiy kampaniyalar 1983 yilda 21 million sterilizatsiya, 14 million abort amalga oshirilganda avjiga chiqdi.

Ruxsat etilgan bolalar sonidan oshib ketish jazo choralarini, shu jumladan katta jarimalar, ish haqi yoki ishdan bo'shatish, oilaviy uy yoki mulkni musodara qilish yoki yo'q qilish, siyosiy ta'qiblarni keltirib chiqardi. Rag'batlantiruvchi paketga doimiy ravishda yolg'iz bolalar uchun nafaqalar, sog'liqni saqlash va ta'lim xizmatlaridan ustuvor foydalanish, ota-onalarning yaxshi ish topishdagi afzalliklari kiritilgan. Natijada, shaharlarda umumiy tug'ilish darajasi har bir ayolga 1,4 bolaga kamaydi. 1984 yildan hukumat qishloq joylarida bitta bola siyosatini o'zgartira boshladi. 18 viloyatda, agar qiz birinchi bo'lib tug'ilgan bo'lsa, ayollarga 2-farzand ko'rishga ruxsat berildi. 5 ta viloyatda barcha qishloq turmush qurgan juftliklarga 2 ta farzand ko'rishga ruxsat berildi.

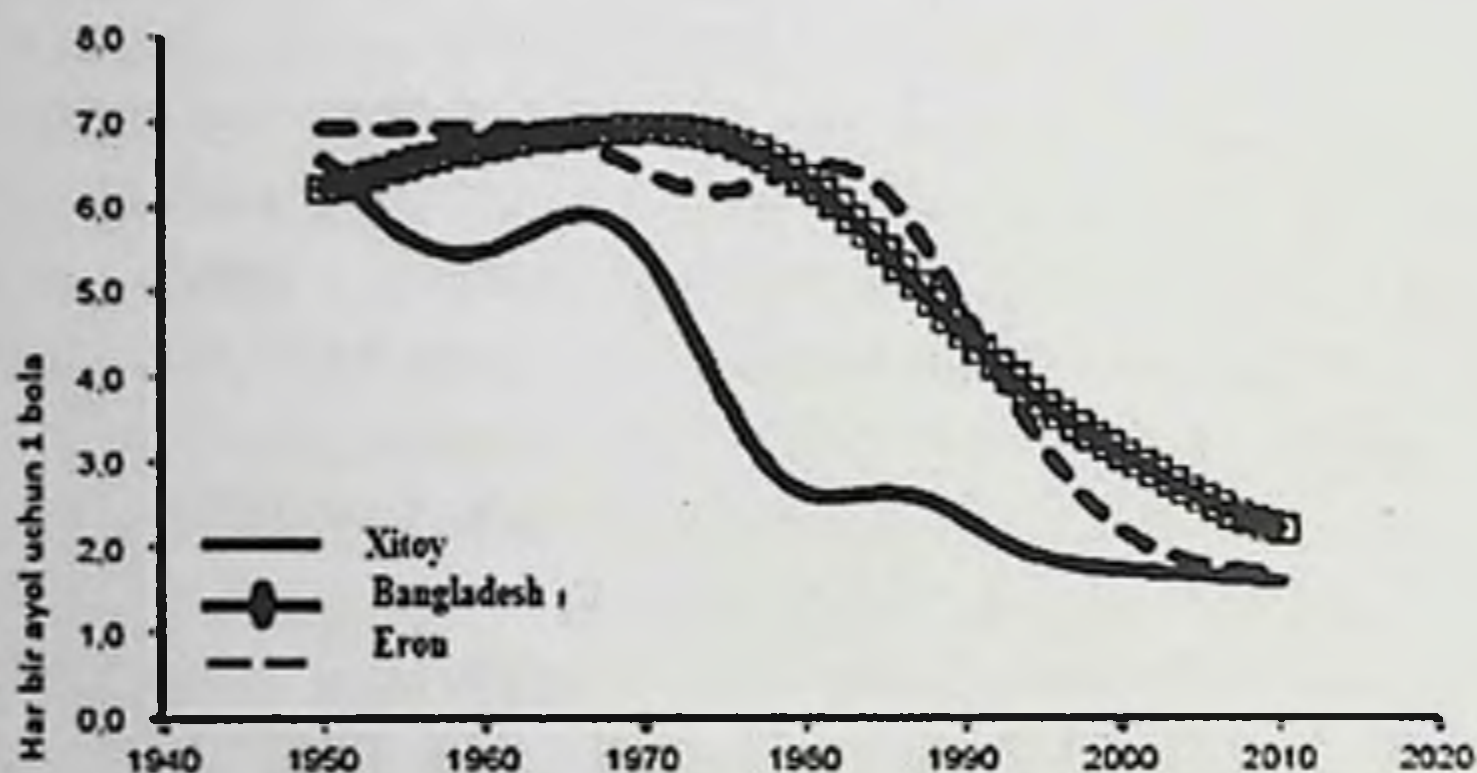
Etnik ozchiliklar hukmron bo'lgan boshqa 5 ta viloyatda 3 yillik chegara o'ratildi. Viloyat maqomiga ega bo'lgan 2 ta viloyat va 4 ta tumanda 1 ta norma qoldirilgan. Qishloq joylarda umumiy tug'ilish koeffitsientining aniq qiymati noma'lum, ammo har bir ayolga 2 bola to'g'ri keladi. Bangladeshda juda yomon iqtisodiy sharoitlarda oilani rejalashtirish bo'yicha muvaffaqiyatli dasturning namunasi amalga oshirildi. 1970-yillarda Matlab qishloq hududida oilani rejalashtirish va reproduktiv salomatlik xizmatlarini kompleks taqdim etish bo'yicha tajriba boshlandi. Ayollarga turli xil usullar, yuqori malakali mutaxassislarning maslahatlari va zamonaviy akusherlik va ginekologik yordam taklif qilindi. Tajriba zonasida kontratseptsiya vositalaridan foydalanish keskin oshdi va tug'ilish darajasi pasaydi, bu nazorat zonasida kuzatilmadi.

Mamlakat hukumati MATLAB tajribasini butun mamlakat bo'ylab kengaytirishga qaror qildi va katta muvaffaqiyatlarga erishdi. Eronda 1979 yilda e'lon qilingan Islom Respublikasi dastlab monarxiya tizimida boshlangan oilani rejalashtirish dasturlarini Islom va mamlakat katta aholiga muhtojligi sababli bekor qildi. Nikohning minimal yoshi o'g'il bolalar uchun 9 yoshga, qizlar uchun 12 yoshga tushirildi. Tug'ilish darajasi har bir ayolga bitta bolaga oshdi. 1989 yilda Ayyatullo Xomeyni vafotidan keyin Xamenei Rafsajani hukumati tug'ilish chegaralarini keskin o'zgartirib yubordi, chunki aholining tez o'sishi uni oziq-ovqat, ta'lim, uy-joy va ish bilan ta'minlash imkoniyatlarini tezda tugatadi. Islom faqat 2 yoshli oilalarga baraka beradi, deb e'lon qilindi.

Sog'liqni saqlash vazirligi kontratseptiv vositalarning keng tanlovini taklif qiluvchi butun mamlakat bo'ylab oilani rejalashtirish dasturini amalga oshirdi. 1993 yilda parlament uchinchi bolalar va bolalarni oziq – ovqat markalari va ijtimoiy subsidiyalar va ularning onalarini tug'ruq ta'tilidan mahrum qilgan qonunlarni qabul qildi. Oilani rejalashtirish bo'yicha o'quv kursidan o'tish nikohning sharti bo'ldi. Natijada, zamonaviy kontratseptsiya vositalaridan foydalanish darajasi 1975 yildagi 26% dan 2002 yilda 59% gacha ko'tarildi va umumiy tug'ilish darajasi 1970-yillarning boshlarida har bir ayolga 6,2-6,5 boladan 2002 yilda har bir ayolga 2 bolaga kamaydi (rasm. 7). Hozirgi vaqtda Xitoy, Hindiston, Bangladesh va Eronda dunyo aholisining 40% dan ortig'i istiqomat qiladi. Shu sababli, ushbu mamlakatlar tomonidan ko'rilgan choralar juda muhimdir. 2009 yilga kelib,

rivojlanayotgan 136 davlatdan faqat 9 nafari oilani rejalashtirish dasturlarini to'g'ridan-to'g'ri davlat tomonidan qo'llab-quvvatlamagan.

Umuman olganda, ushbu dasturlar o'zlarini aholi portlashini susaytirishning samarali vositasi va ayollar, chaqaloqlar va yosh bolalarning sog'lig'ini yaxshilash vositasi sifatida isbotladilar. Hisob-kitoblarga ko'ra, 1985-2010 yillarda dasturlarni amalga oshirish.rivojlanayotgan mamlakatlarda tug'ilishning 1960-1965 yillarda har bir ayolga 6 boladan 2-3 bolaga, ya'ni 2,5-3 baravar kamayishini ta'minladi.



7-rasm. 1950-2010 yillarda Xitoy, Bangladesh va Eronda tug'ilishning umumiy koeffitsienti ([8]) dunyo aholisini cheklash jarayonini rasmiylashtirish dunyo aholisini cheklash jarayonini qanday rasmiylashtirish va uni dinamikaning matematik modellarida hisobga olish kerak? Siz umumiy sxema bo'yicha (8) 1967 yildan beri dunyoda aholi sonining o'sish sur'atlarini kamaytirish bo'yicha olib borilayotgan chora-tadbirlar samaradorligi W^* ko'rsatkichini kiritishingiz mumkin.:

$$W^* = 1 - \exp\{-\omega \times (t - 1967)\} \quad (14)$$

(14) tenglik turining asoslanishi (8) tenglik bilan bir xil. Bu erda samaradorlikni belgilovchi omil t vaqtidir. 1967 yil mos yozuvlar nuqtasi sifatida qabul qilingan, bu yil sonlarning maksimal o'sish sur'atlaridan oldingi yil. Amalga oshirilayotgan tadbirlarning samaradorligi namoyon bo'lishi uchun biroz kechikish bo'lishi kerakligi aniq. Keyin yangi

cheklovlar sharoitida aholi sonining o'sishining v darajasi quyidagicha bo'ladi

$V = V_0 \times (1 - W^*) = V_0 \times \exp\{-\omega \times (t - 1967)\}$, bu erda ω -o'sish tezligining pasayish sur'ati, uning qiymati keyinchalik aniqlanadi. Shunday qilib, aholi soni dinamikasining asosiy tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$dN(t)/dt = U(t) \times \{N(t-\tau)/\alpha\} \times \{1 - \exp(-N(t-\tau) \times \alpha/C)\}, \quad (15)$$

bu erda (15) differentsial tenglama dastlabki shart bilan birlashtirilishi kerak

$$N(t_0) = \gamma \times ML[j(t_0), 2],$$

bu erda t_0 -statistik qator boshlangan yil. Keling, ushbu dizayn sxemasini "model 5" deb ataymiz. $T_0 = 1950$ ga tayanib, aholi sonining

$$N(t) = N(t, \alpha, C, \gamma, \tau, \omega) \quad (16)$$

shaklida bog'liqligini olish mumkin. $T = t_0 - 2017$ uchun statistik qatorga eng mos keladigan $\alpha, C, \gamma, \tau, \omega$ parametrlarining yig'indisini aniqlash uchun biz yana Δ funksiyasini tuzamiz, bu belgilangan oraliqda aholining model va haqiqiy qiymatlari o'rtasidagi o'rtacha kvadratik nisbiy nomuvofiqlikni aniqlaydi. Biz buni batafsil yozamiz:

(16) maqsad funksiyasi $\Delta(\alpha, C, \gamma, \tau, \omega) - 5$ o'zgaruvchining funksiyasi. Statistik qatorga eng mos keladigan $\alpha_0, C_0, \gamma_0, \tau_0, \omega_0$ parametrlari to'plami optimallashtirish muammosining raqamli echimi natijasida aniqlanadi

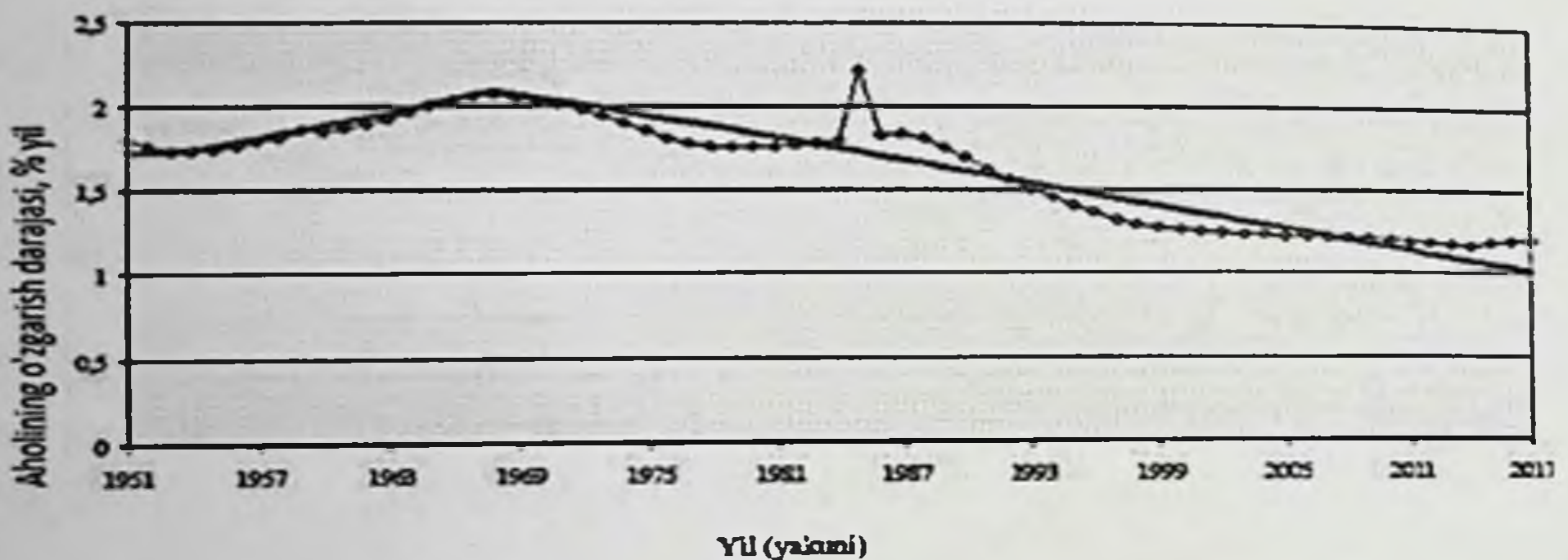
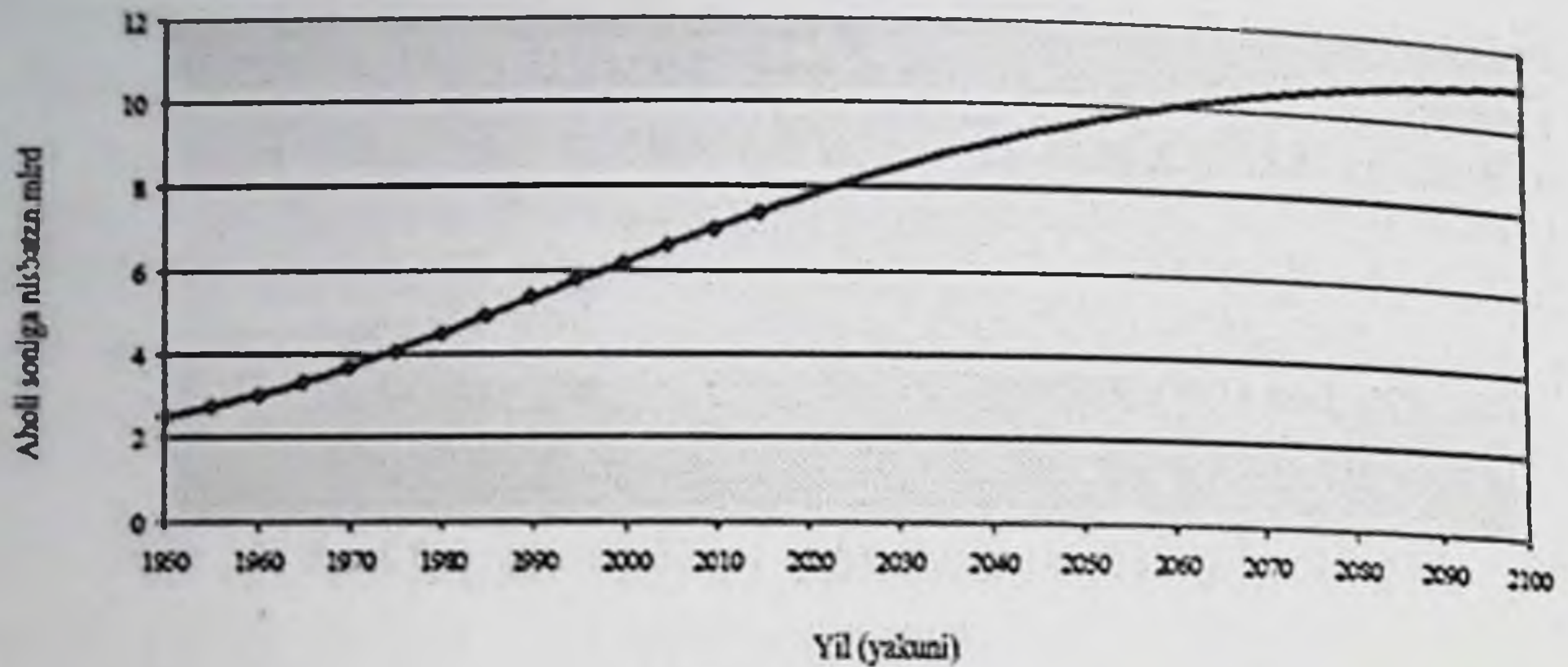
$$(\alpha_0, C_0, \gamma_0, \tau_0, \omega_0) = \text{Arg} \{ \Delta_0 = \min \Delta(\alpha, C, \gamma, \tau, \omega) \} \quad (17)$$

$\alpha \geq 13$ chegarasi bilan biz quyidagi qiymatlarni olamiz:

$$\alpha_0 = 20,5278 \text{ yil}, C_0 = 113,287 \text{ milliard kishi} \times \text{yil},$$

$$\gamma_0 = 1,001, \tau_0 = 2,8468 \text{ yil}, \omega_0 = 0,025 \text{ 1-yil}.$$

Bundan tashqari, 68 ta mos yozuvlar nuqtasi uchun Δ_0 ning minimal qiymati atigi 0,328% ni tashkil qiladi. Ya'ni 5-model haqiqatni to'g'ri aks ettiradi, hech bo'lmaganda 2017 yilgacha 5-model parametrlari soni nisbatan kichik bo'lib, uning etarliligi haqidagi taxminni kuchaytiradi. Modellashtirish natijalari grafik shaklda keltirilgan. 8, 9 shundan siz allaqachon aytib o'tilgan haqiqiy va hisoblangan ma'lumotlarning yaxshi mosligini ko'rishingiz mumkin va bu, er yuzida aholi sonining o'sishi chegarasi 11-12 milliard kishi borligini ko'rsatadi.



9-rasm. Yer aholisining o'sish sur'ati (5-model) ikkinchisi aniqlashtirishni talab qiladi: natijada er yuzida yashovchi odamlar soni bo'yicha zamonaviy statistik ma'lumotlarga mos keladi. Bundan tashqari, u global miqyosda mamlakatlar tomonidan amalga oshirilgan tug'ilishni cheklash choralarining samaradorligini baholashga imkon beradi. Bu tenglik

$$1 - \exp\{-\omega_0 \times (2017 - 1967)\} = 1 - e^{-1,25}$$

Boshqacha qilib aytganda, tug'ilishning cheklanishi aholining o'sish sur'atini $e^{-1,25} = 0,28$ marta kamaytirishga imkon berdi. Har holda, aniqlik uchun: ko'rsatilgan qiymat 1967-1968 yillarga nisbatan emas, balki cheklov choralari bo'lmagan taqdirda 2017 yilda bo'ladigan miqdorga nisbatan sonlarning o'sish sur'atlarining pasayishini aniqlaydi. Bu tug'ilishni cheklash siyosatini amalga oshirish samaradorligining boshqa mustaqil baholariga mos keladi. Xulosa yer aholisi sonining dinamikasini tahlil qilish

ilgari ishlab chiqilgan matematik modellarni umumlashtirish ketma-ketligiga asoslangan edi. Natijada mavjud dinamikani etarli darajada aks ettiradigan etarlicha aniq model paydo bo'ldi.

Yangi matematik model so'nggi o'n yilliklarda sezilarli darajada namoyon bo'la boshlagan omillarni hisobga olishga imkon beradi. Taklif etilayotgan modelning o'ziga xos xususiyati ma'lum bir analitik nisbatda emas, balki dunyo aholisi dinamikasi tenglamasini raqamli echish algoritmidagi. Aholining o'sishi 12 milliardga yaqin chegaraga ega ekanligi aniqlandi, bu S. P. Kapitsa hisob-kitoblariga mos keladi. Biroq, ushbu chegaraning mavjudligini tushuntirish demografik imperativga emas, balki xalqaro tashkilotlar ko'magida demografik va iqtisodiy siyosatini amalga oshirish doirasida ko'plab mamlakatlar tomonidan qabul qilingan tug'ilishni cheklashning yanada tushunarli, keng tarqalgan va samarali choralarini hisobga olish va rasmiylashtirishga asoslangan.

Shuning uchun taklif etilayotgan matematik modelda global demografik o'tish tug'ilishni cheklash bo'yicha aniq choralar bilan bog'liq.

3.6. Qon aylanish modellari

O. Frank tomonidan taklif qilingan qon aylanish tizimining gidrodinamik modelini ko'rib chiqing. Etarli darajada sodda bo'lishiga qaramay, bu qonning zarba hajmi (yurak qorinchasi tomonidan bitta sistolada chiqarilgan qon hajmi), qon aylanish tizimining periferik qismining gidravlik qarshiligi x_0 va arteriyalardagi bosimning o'zgarishi o'rtasidagi bog'liqlikni o'rnatishga imkon beradi. Qon aylanish tizimining arterial qismi elastik (elastik) rezervuar bilan modellashtirilgan (11.1-rasm bilan belgilangan). Qon elastik rezervuarda joylashganligi sababli, uning hajmi istalgan vaqtda quyidagi nisbatda p bosimiga bog'liq:

$$V=V_0+kp, \quad (11.1)$$

Bu erda

k - qon to'plangan joyning egiluvchanligi, (bosim va hajm o'rtasidagi mutanosiblik koeffitsienti);

V_0 - bosim bo'lmagan taqdirda qon oqimining hajmi ($P=0$). Farqlash (11.1), biz olamiz:

$$dV/dt = k dP/dt \quad (11.2)$$

Qon yurakdan elastik rezervuarga (arteriyalarga) kiradi, qon oqimining hajm tezligi Q . elastik rezervuardan qon oqadi



Rasm: 11.1

Tomirdagi qon oqimining tezligi Q_0 periferik tizimga (arteriolalar, kapillyarlar). gidravlik qarshiligi doimiy deb taxmin qilamiz. Bu "qattiq" naycha bilan modellashtirilgan tomirdagi qon oqimining chiqishida siz juda aniq tenglamani yaratishingiz mumkin (11.1-rasmga qarang):

$$Q = \frac{dV}{dt} + Q_0 \quad (11.3)$$

Bu shuni ko'rsatadiki, yurakdan qon oqimining volumetrik tezligi elastik rezervuardan qonning chiqib ketish tezligining elastik rezervuar hajmining o'sish tezligiga teng. Puazeylya tenglamasi (9.8) va formula (9.9) asosida tizimning periferik qismi uchun yozilishi mumkin:

$$(P - P_B)/X_0 \quad (11.4)$$

Bu erda p - elastik rezervuardagi bosim; P_b - venoz bosim, u nolga teng bo'lishi mumkin, keyin (11.4)o'miga:

$$Q = P/X_0 \quad (11.5)$$

(11.3) ni (11.2) va (11.5) ga almashtirib olamiz:

$$Q = k \frac{dP}{dt} + \frac{P}{X_0} \text{ yoki}$$

$$Qdt = kdp + \frac{P}{X_0} dt. \quad (11.6)$$

Biz birlashtiramiz (11.6). Vaqt bo'yicha integratsiya chegaralari 0 dan T_n gacha bo'lgan puls davriga (yurak qisqarish davri) to'g'ri keladi .

Ushbu vaqt chegaralari bir xil bosimlarga mos keladi, minimal diastolik bosim

T_n :

$$\int_0^{T_n} Q dt = k \int_{P_A}^{P_n} dp + \frac{1}{X_0} \int_0^{P_n} P dt. \quad (11.7)$$

Teng chegaralarga ega integral nolga teng, shuning uchun (11.7) tenglikni quydagicha yozamiz:

$$\int_0^{T_n} Q dt = \frac{1}{X_0} \int_0^{T_n} P dt \quad (11.8)$$

Arteriya bosimining vaqtga bog'liqligini ko'rsatadigan eksperimental egri chiziq sek. 11.2 (qalin chiziq).

Rasmda puls davri, sistol T_c va Diastol T_d davomiyligi, T_s - maksimal sistolik bosim ko'rsatilgan. Tenglamaning chap tomonidagi integral (11.8) qon hajmiga teng bo'lib, u bitta qisqarish orqali yurakdan chiqariladi. Uni eksperimental ravishda topish mumkin. Tenglamaning o'ng tomonidagi integral (11.8) egri chiziq va vaqt o'qi bilan chegaralangan shaklning maydoniga to'g'ri keladi (11.2- rasmga qarang), uni ham topish mumkin. Integrallarning ko'rsatilgan qiymatlaridan foydalanib, (11.8) qon aylanish tizimining periferik qismining gidravlik qarshiligini hisoblash mumkin. Sistol paytida (yurakning qisqarishi) elastik rezervuarning kengayishi, systoldan keyin, diastol paytida - qonning periferiyaga chiqishi, $Q = 0$. Ushbu davr uchun (11.6) tenglikni biz:

$$0 = k dp + \frac{P}{X_0} dt \text{ или } \frac{dp}{p} = - \frac{dt}{kX_0}. \quad (11.9)$$

Integratsiyalashgandan so'ng (11.9) biz systola orqasidagi rezervuar bosimning vaqtga bog'liqligini olamiz:

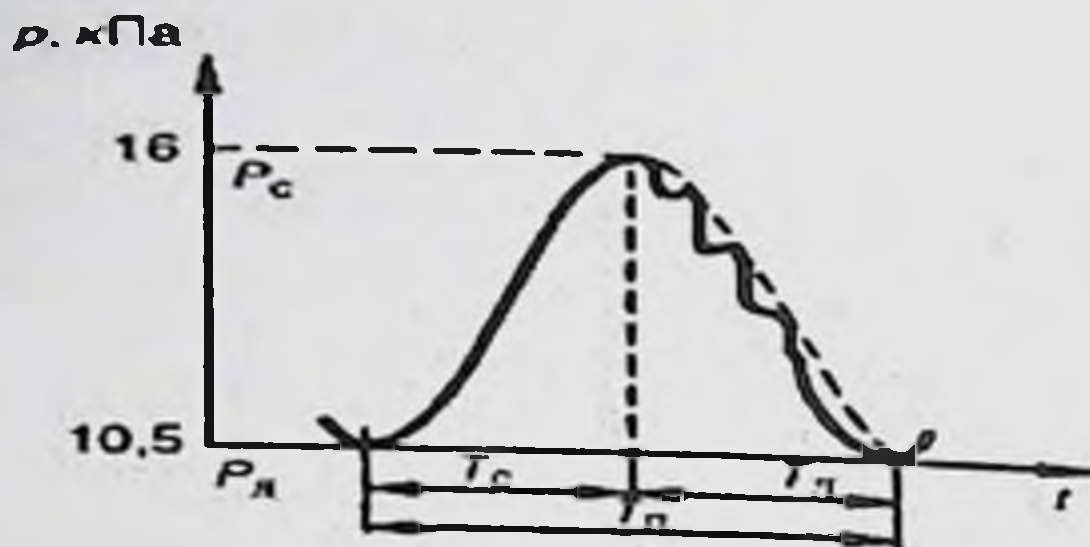
$$P = P_c \exp[-t/(kX_0)] \quad (11.10)$$

Tegishli egri chiziq rasmdagi shtrix chizig'i bilan ko'rsatilgan. 11.2-rasm.

(11.5) tenglik asosida biz qon oqimi tezligining vaqtga bog'liqligini olamiz:

$$Q = Q_c \exp[-t/(kX_0)] \quad (11.11)$$

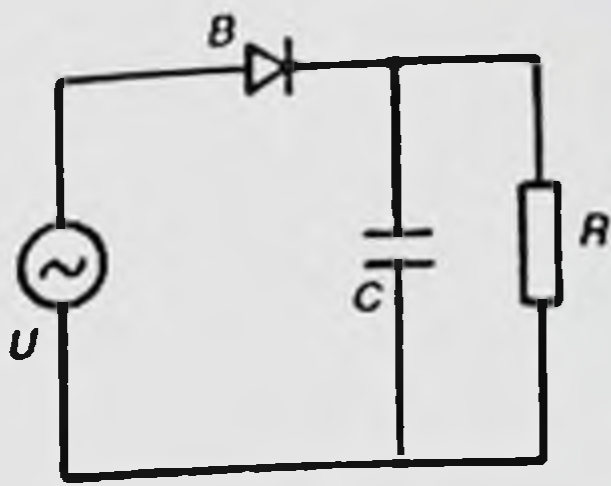
Bu erda $Q = P_c/X_{0-}$ - sistol oxirida (diastol boshida) elastik rezervuardan qon oqimining tezligi. (11.10) va (11.11) bog'liqlik egri chiziqlari eksponentlardir. Garchi ushbu model haqiqiy hodisani juda qo'pol tasvirlasa ham



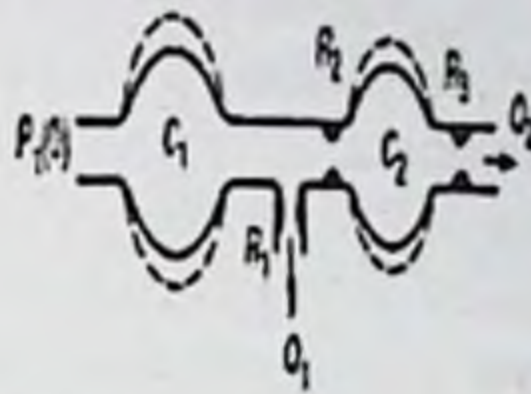
11.2-rasm:

bu juda sodda va diastola oxirigacha bo'lgan jarayonni to'g'ri aks ettiradi. Shu bilan birga, ushbu model yordamida diastol boshidagi bosim o'zgarishi tavsiflanmaydi. Mexanik model asosida analogiya bo'yicha elektr modeli qurilishi mumkin (11.3-rasm). Bu erda sinusoidal bo'lmagan o'zgaruvchan elektr kuchlanishini ta'minlaydigan « u » manbai yurakning analogi bo'lib xizmat qiladi rektifikator ichida yurak klapanlari. Kondensator C yarim sikl davomida zaryadni to'playdi va keyin R rezistoriga zaryadlanadi, shu bilan rezistor orqali oqadigan oqim tekislanadi.

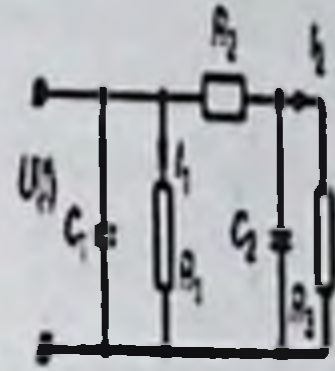
Kondensatorning harakati arteriolalar va kapillyarlarda qon bosimining o'zgarishini tekislaydigan elastik rezervuar (aorta, arteriya) ta'siriga o'xshaydi. Rezistor periferik qon tomir tizimining elektr analogidir. Modelni qurishda qonning inertial xususiyatlarini hisobga olish uchun aortaning yuqoriga va pastga shoxlarini modellashtiradigan elastik rezervuar turli xil egiluvchanlikka ega deb taxmin qilingan. 11.4-rasm. Roston modelining tasviri turli xil egiluvchanlik (elastiklik) va rezervuarlar orasidagi turli xil gidravlik qarshilikning elastik bo'lmagan bo'g'inlari bo'lgan ikkita rezervuardan iborat. Ushbu model rasmda ko'rsatilgan elektr sxemasiga mos keladi. 11.5-rasm. Bu erda oqim manbai bosim analogi bo'lgan pulsatsiyalanuvchi kuchlanish $U(t)$ ni o'rnatadiar(t): C1 va C2 sig'implari K1 va k2 elastikliklariga mos keladi; R1, R2 va R3 ning x1, X2 va X3 gidravlik qarshiliklariga elektr qarshiliklari; I1 va I2 oqim kuchlari Q1 va Q2 qon ketish tezligida. Bunday model birinchi darajali ikkita differensial tenglamalar tizimi bilan tavsiflanadi, ularning yechimi birinchi va ikkinchi kameralarga mos keladigan ikkita egri chiziqni beradi. Ikki kamerali model qon tomir kanalida sodir bo'ladigan jarayonlarni yaxshiroq tavsiflaydi, ammo u diastolning boshida bosimning o'zgarishini ham tushuntirmaydi. Bir necha yuz elementni o'z ichiga olgan modellar taqsimlangan parametrlarga ega modellar deb ataladi.



11.3-Rasm



11.4-Rasm



11.5-Rasm

3.7. Saraton kasalligini davolashning matematik simulyatsiyasi

Tuxumdon - bu ekzokrin (tuxum shakllanishi) va intrakretor (ayol jinsiy gormonlarini ishlab chiqarish) funktsiyalarini bajaradigan juftlashgan organ. U epiteliya bilan qoplangan oval shaklga ega. Tuxumdon saratoni patogenezining asosiy gipotezalaridan biri shuni ko'rsatadiki, saraton tuxumdon yuzasini qoplaydigan o'zgartirilgan mezotelial hujayralarning yagona qatlamidan tashkil topgan sirt epiteliysidan rivojlanadi. Malignizatsiyaga tuxumdonning o'zi emas, balki uning stromasi emas, balki uni qoplaydigan mezotelial ta'sir qiladi. Ko'pgina kuzatuvlarda invaziv o'sishning boshlanishini aniqlash mumkin emas.

Tuxumdon saratoni reproduktiv malignite orasida uchinchi o'rinda turadi va barcha ginekologik kasalliklar orasida eng past omon qolish darajasiga ega. 2018 yilda vafot etganlar sonining nisbati Rossiya uchun ham, Evropaning aksariyat mamlakatlari uchun ham 1,6 ni tashkil etdi.

Tuxumdon saratoni tashxis qo'yish uchun eng qiyin o'sma hisoblanadi. Ayollarning taxminan 70% klinik ko'rinishlar paydo bo'lganda kasallikning III va IV bosqichlarida mutaxassislarga murojaat qilishadi. Kasallikning beparvoligi uning dastlabki bosqichlarida asemptomatik bo'lganligi bilan bog'liq.

Agar malign neoplazma shubha qilingan bo'lsa, ultratovush diagnostikasi qo'llaniladi. Tuxumdon saratoni diagnostikasi ko'krak va qorin bo'shlig'i organlarining kompyuter tomografiyasi (KT) va tos a'zolarining magnit-rezonans tomografiyasi (MRI) yordamida optimal sitoreduktiv operatsiyani bajarish imkoniyatini baholash uchun tomir ichiga kontrast bilan amalga oshiriladi. O'simta belgilarining darajasi aniqlanadi (sa-125). Tuxumdon shikastlanishining metastatik xususiyatini va birlamchi fokusning mavjudligini istisno qilish uchun mammografiya, EGDS, kolonoskopiya amalga oshiriladi.

Shishlarni matematik modellashtirishda asosiy e'tibor o'smaning o'sish tezligini baholashga qaratilgan. Matematik tahlil va modellashtirish usullaridan foydalangan holda kasallanish statistikasi va davolash usullarini, shuningdek kasallikning qaytalanish vaqti va umumiy omon qolish prognozi modelini nazariy o'rganish ochiq manbalarda mavjud emas. Hozirgi vaqtda klinik amaliyotda faqat muayyan amaliyotlarning ma'lumotlarini qayta ishlashning statistik usullari keng qo'llaniladi. Turli xil davolash dasturlari, davolash usullari va qo'llaniladigan dorilar spektrini baholashda mutaxassislar yagona yondashuv va konsensusga ega emaslar.

Barcha xavfli o'smalarning o'sishi ko'plab mitozlar, xromosoma kasalliklari bilan tavsiflanadi, benign va malign shakllanishlar va nekrozlarning o'zgaruvchan zonalari, kameralar va tugunlarning paydo bo'lishi va atrofdagi to'qimalarga kirib borishi bilan birga keladi. Ushbu turdagi o'sma juda tajovuzkor bo'lib, kasallikning III va IV bosqichlariga xosdir. Birlamchi davolanishdan so'ng tuxumdon saratoni ko'pincha 3 yil ichida takrorlanadi. O'simta o'sishi uchun oddiy epiteliya hujayralari iste'mol qiladigan ovqatlanish kerak. O'simta o'sishi zonasida oziq-ovqat iste'molining ko'payishi neoangiogenez bilan ta'minlanadi, bu o'simta o'sishi va metastaz uchun zarur shartdir. O'simta hajmini oshirish uchun uning hujayralari faol ravishda turli xil moddalarni ishlab chiqarishni boshlaydi, ular qon tomirlari sonining o'sishini qo'zg'atadi va o'smaning ovqatlanish bilan to'yinganligiga hissa qo'shadi, ya'ni xatarli o'simta hujayralari ko'proq ovqatlanishni iste'mol qila boshlaydi va shu bilan epiteliyning normal hujayralari tomonidan ovqatlanish iste'molini kamaytiradi.

Davolash. Tuxumdon saratonining barcha bosqichlarini davolashni bachadonni qo'shimchalar bilan olib tashlash, katta omentumni olib tashlash va o'sma jarayonining ko'rinadigan namoyon bo'lishini o'z ichiga olgan optimal sitoreduktiv operatsiyani bajarish bilan boshlash maqsadga muvofiqdir. Agar birlamchi optimal sitoreduktiv operatsiya mumkin bo'lmasa, diagnostik laparoskopiya peritoneal kanseromatoz indeksini (Peritoneal saraton indeksi — PCI), kasallikni tekshirish uchun multifokal o'simta biopsiyasini baholash uchun amalga oshiriladi. Keyin paklitaksel va karboplatin preparatlari bilan poliximoterapiya bo'yicha bir necha kurslar o'tkaziladi, so'ngra intervalli optimal sitoreduktiv operatsiya o'tkaziladi. Kimyoterapiya yordamchi terapiya sifatida kasallikning bosqichiga va o'smaning gistologik turiga qarab qo'llaniladi. Radiatsiya terapiyasi o'smaning ushbu davolash usuliga befarqligi sababli deyarli qo'llanilmaydi.

Relapslarni davolashning asosiy usuli kimyoviy terapiya hisoblanadi. Tuxumdon saratonini davolashda erishilgan yutuqlarga qaramay, optimal davolash masalalari hal qilinmagan.

3.8. Xatarli o'smaning matematik modeli

Epiteliya yuzasida paydo bo'lgan o'simta hujayralari (bo'linadigan hujayralar) oddiy epiteliya hujayralari kabi qon tomirlaridan oziqlanadi. O'simta rivojlanishining dastlabki bosqichlarida o'simta hujayralari asta-sekin normal hujayralarga qaraganda ko'proq ovqatlanishni rag'batlantiradigan jarayonlarni boshlaydi. Shunday qilib, funktsional bo'shliqni o'simta hujayralari bilan to'ldirish odatdagidan tezroq sodir bo'ladi. Shuning uchun ikki turdagi hujayralarning birgalikda o'sishi jarayonini funktsional makonda interferencesiya raqobati deb hisoblash mumkin. Ushbu taxminlarni hisobga olgan holda, normal va bo'linadigan hujayralarning o'sish modelini uchta differentsial tenglamalar tizimi sifatida tasavvur qilish mumkin.

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = \mu^u u \left(1 - \frac{u+vz}{K}\right), \\ \frac{dv}{dt} = \mu^v v \left(1 - \frac{v+u}{K}\right), \\ \frac{dz}{dt} = -\mu^z uz, \end{cases} \quad (1)$$

unda u -bo'linadigan hujayralar soni, v -normal, μ^u va μ^v -bo'linadigan va normal hujayralarning o'ziga xos ko'payish tezligi, K -hajmi

"funktsional bo'shliq" (tuxumdon yuzasiga joylashishi mumkin bo'lgan maksimal hujayralar soni). (1) dagi $z(t)$ funktsiyasi o'simta hujayralarining o'sish omillarini tavsiflaydi, bu ularning raqobatdan "chiqib ketish" tezligiga ta'sir qiladi

oddiy hujayralarni quvvat manbalaridan "orqaga qaytarish". μ^z parametri bo'linadigan hujayralarning o'sish omillariga ta'sirini tavsiflaydi. $Z = 1$ da model (1) raqobat modelidir va $z = 0$ da oddiy hujayralar bo'linadigan hujayralarga ta'sir qilmaydi va bo'linadigan hujayralar normal hujayralardan funktsional makonning bir qismini "oladi".

Bo'linish hujayralari paydo bo'lgan paytda raqobat paydo bo'lganligi sababli, quyidagi shartlar boshlang'ich sifatida qabul qilinadi:

$$u = \varepsilon, v = K - \varepsilon, z = 1,$$

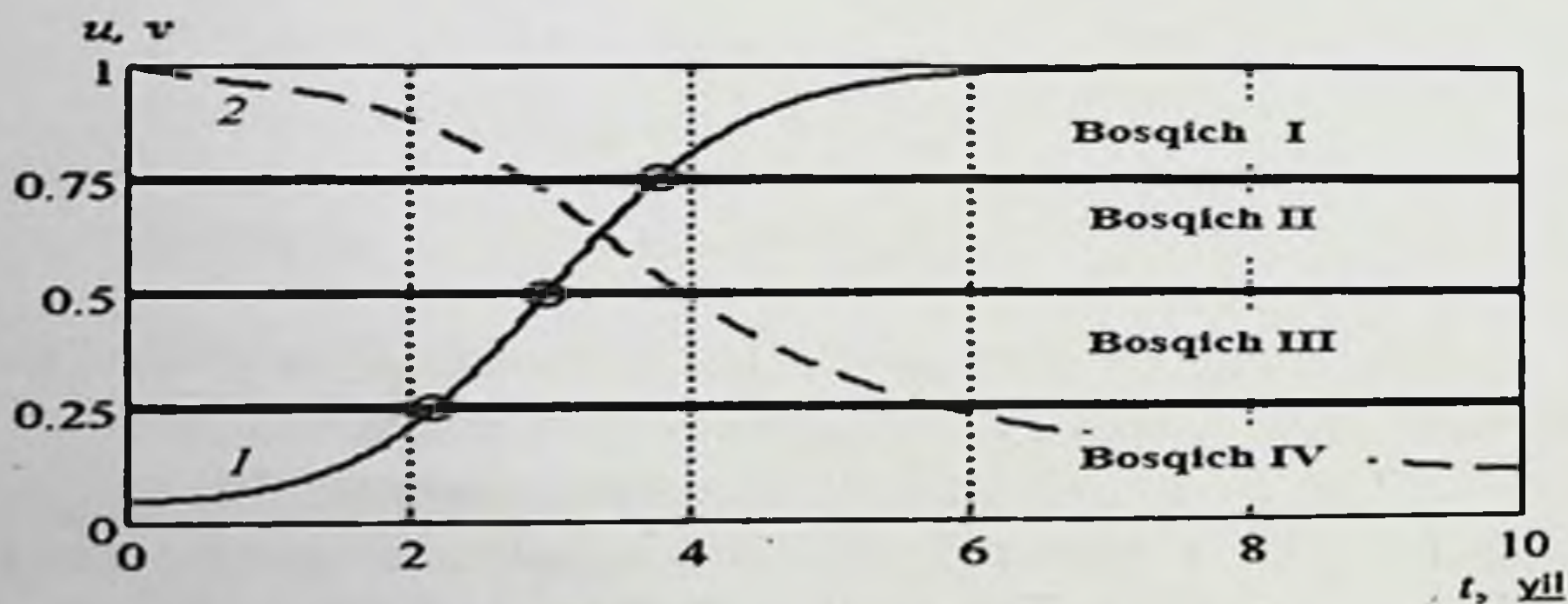
bu yerda $\varepsilon = K$.

Bunday shartlar shuni anglatadiki, vaqtning dastlabki nuqtasida normal hujayralarning funktsional makonida oz miqdordagi bo'linadigan hujayralar paydo bo'ladi va bo'linadigan hujayralar tomonidan ovqatlanishni rag'batlantirish darhol boshlanadi.

Tenglamalar tizimi (1) yagona trivial bo'lmagan statsionar nuqtaga ega $u = K, v = 0, z = 0,$

Ushbu statsionar holatda normal hujayralar mavjud emas va shunga mos ravishda (1) model xavfli o'smaning modeli sifatida qaraladi.

μ^u va μ^v parametrlari hujayra populyatsiyasining ikki baravar ko'payishi vaqti ma'lumotlari asosida tanlanadi. Masalan, da keltirilgan ma'lumotlardan u ma'lum bir organizmga bog'liq va bir necha oydan bir necha yilgacha o'zgarishi mumkin. Ushbu ishda davr taxminan 180 kun, ya'ni. $\mu^u = \mu^v = 0.0038$ 1/kun. Kasallikning bosqichlari bo'linadigan hujayralar egallagan funktsional bo'shliqning ulushiga qarab belgilanadi: I bosqich-agar $0 < u^{TM} < 0.25 K$, II bosqich-agar $0.25 K < u^{TM} < 0.5 K$, III bosqich-agar $0.5 K < u^{TM} < 0.75 K$, IV bosqich-agar $0.75 K < u$.



1-Rasm: 1. (1) va (2) funktsiyalarining t vaqtiga bog'liqligi

3.9. Davolash modeli-kimyoterapiya

Tuxumdon saratonini davolash turli xil kimyoviy moddalar (paklitaksel, karboplatin, sisplatin, gemitabin va boshqalar) yordamida amalga oshiriladi. U har biri 21-28 kun davom etadigan o'rtacha 6 ta kursdan iborat. Davolash kurslarining bunday chastotasi bilan, modeldagi o'smaning o'sish davomiyligini hisobga olgan holda, dorilar butun kurs

davomida doimiy ravishda funktsional maydonga kirib borishini qabul qilish mumkin. Davolash davri bo'linadigan hujayralarga ta'sir qiluvchi dorilarni qabul qilishni to'xtatish bilan tugaydi. Dori vositalarining tanaga ta'sirining e'tiborsiz qoldiramiz.

O'simtani davolashning matematik modelida z omilining ta'sirini to'xtatish, unga ko'ra bo'linadigan va normal hujayralarni tenglashtirish, bo'linadigan hujayralarni yo'q qiladigan dori yuborish kerak.

$t = t_0$ vaqtida tashxis qo'yilsin va davolanish jarayoni boshlansin. Bu vaqtda bo'linadigan hujayralar soni $u = u_0$, normal hujayralar soni esa $v = v_0$. $t = t_0$ vaqtigacha o'smaning o'sishi (1) tenglamalar tizimi bilan tavsiflanadi va davolanish boshlanganidan keyin va uning butun davri uchun — tenglamalar bilan

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = \mu^u u \left(1 - \frac{u+vz}{K}\right) - aDrug(t)u, \\ \frac{dv}{dt} = \mu^v v \left(1 - \frac{v+u}{K}\right), \\ \frac{dz}{dt} = \beta_z(1-z)Drug(t). \end{cases}$$

Bu yerda $Drug(t)$ - bu funktsional bo'shliqdagi dori miqdori. Uning vaqtga bog'liqligi davolash dasturi bilan belgilanadi. Uchinchi tenglamadagi multiplikator $z(1-z)$ dorilar tomonidan bo'linadigan hujayralar faolligini bostirish tezligini tavsiflaydi. Ushbu modelda funktsional maydonga kiradigan barcha dorilar bo'linadigan hujayralarni yo'q qilishga sarflanadi va parchalanmaydi deb taxmin qilinadi. O'lik hujayralar bir zumda funktsional bo'shliqdan chiqariladi.

Dastlabki shartlar ($t = t_0$) da (2) tenglamalar tizimi uchun

$$u = u_0, v = v_0, z = z_0, Drug = Drug(t_0).$$

Dori vositalarining doimiy ta'siri uchun ($Drug(t) = Drug_0 = const$), (2) ning uchinchi tenglamasidan ko'rinib turibdiki, $z(t)$ funktsiyasi $z = 1$ qiymatiga ko'tariladi. Shunday qilib, bo'linadigan hujayralarning qo'shimcha ovqatlanishga ogohlantiruvchi ta'siri bostiriladi. Bu holda (2) tenglamalar tizimining statsionar nuqtasi bo'ladi

$$u = 0, v = K, z = 1.$$

Bu nuqta barqaror bo'ladi, chunki (2) tenglamalarning o'ng tomonidagi Matritsaning uchta o'ziga xos qiymati manfiy bo'ladi:

$$\lambda_1 = -aDrug,$$

$$\lambda_2 = -\beta Drug,$$

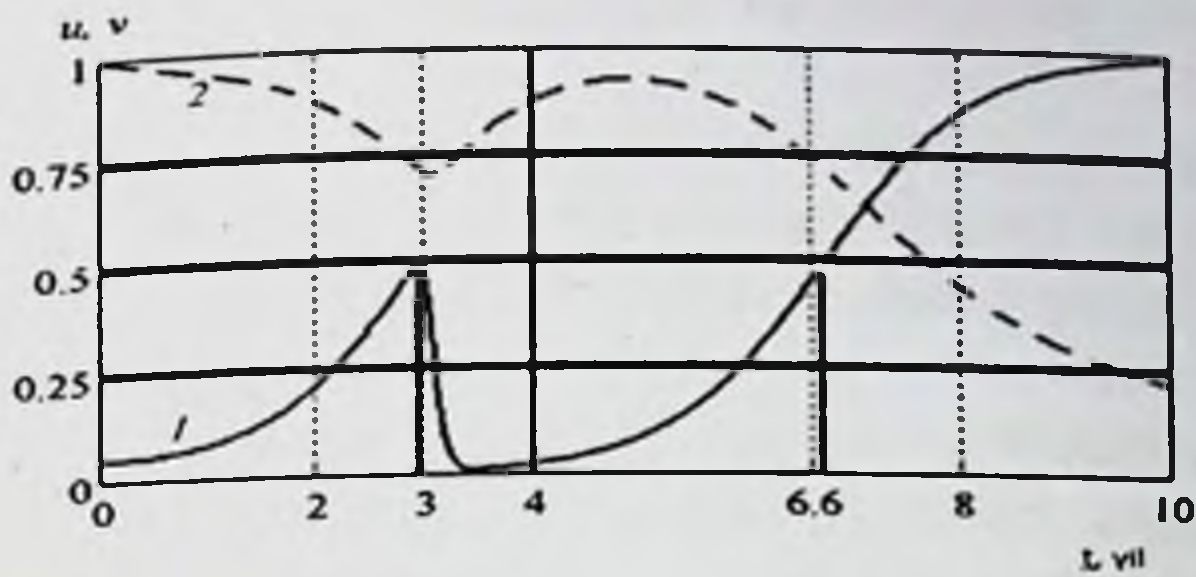
$$\lambda_3 = -\mu v.$$

Agar ma'lum bir vaqtdan boshlab $t = t_0$ da "davolash" to'xtasa ($Drug(t)=0$), u holda bo'linadigan hujayralar populyatsiyasining o'sishi (1) tenglamalarga muvofiq tiklanadi.

ma'lumotlariga ko'ra, birinchi marta III bosqich kasalligi bo'lgan odamlarning taxminan 40% va IV bosqichining taxminan 20% tibbiy yordamga murojaat qilishadi. Ushbu statistik ma'lumotlarni hisobga olgan holda, davolash usullari III bosqichda boshlanadi deb qabul qilinadi. Kimyoviy moddalar bo'linadigan hujayralar diagnostik jihatdan aniqlanmaguncha qo'llaniladi. Keyin davolanish to'xtatiladi. 2-rasmda "davolash" ning namunaviy versiyasini taqdim etadi: bo'linadigan hujayralar populyatsiyasi ko'paymoqda, o'sishning uchinchi yilida u funktsional makonning yarmini egallaydi ("kasallik" III bosqichi boshlanadi). Ayni paytda ularni yo'q qilish tartibi boshlanadi, bu bir yil davom etadi. To'rtinchi yilda o'sma endi sezilmaydi-davolash to'xtaydi. Afsuski, o'smaning diagnostik jihatdan ajratib bo'lmaydigan qismi yana o'sishni boshlaydi va 3,5 yil ichida kasallikning qaytalanishi sodir bo'ladi.

3.10. Kasallik bosqichlari modeli

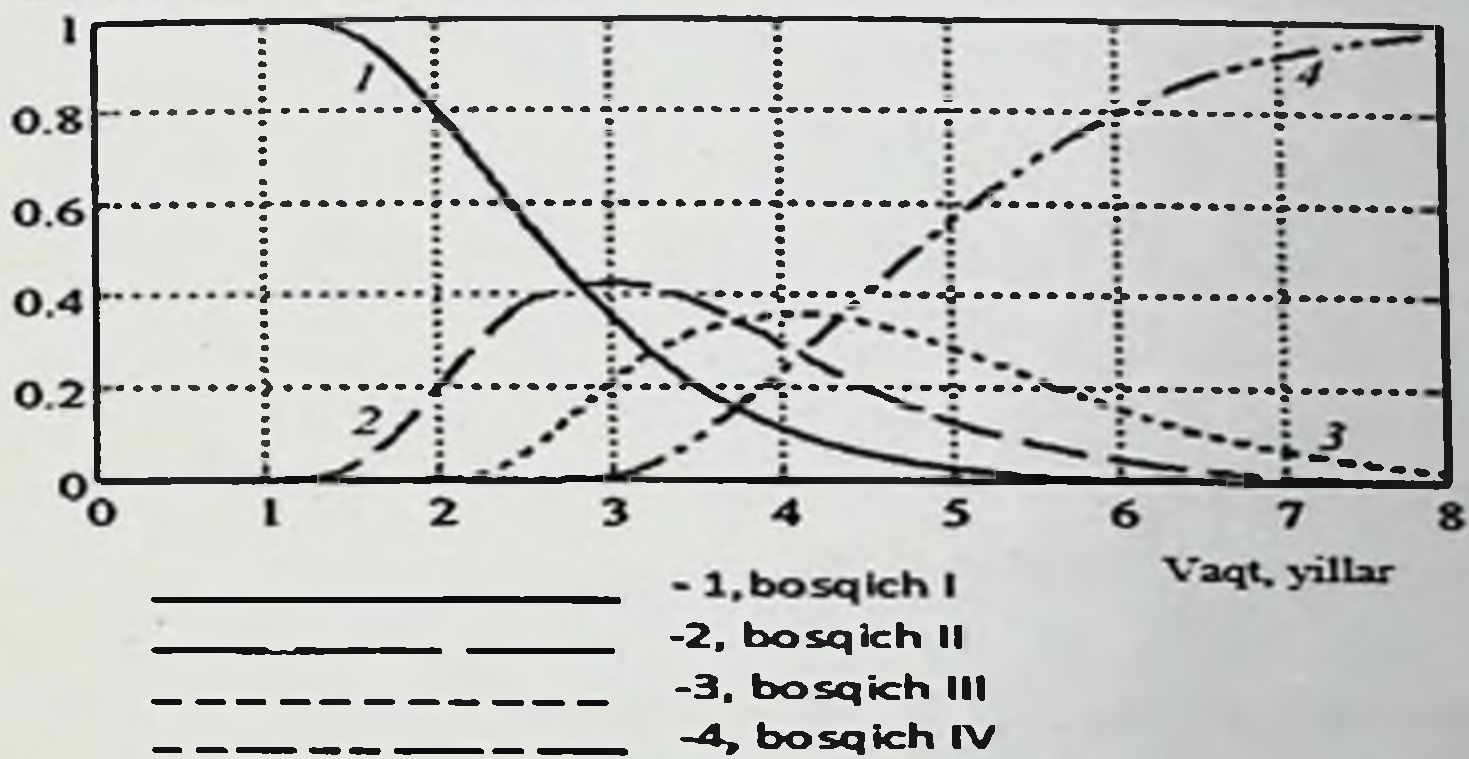
Tenglamalar tizimi (1) to'rtta parametрни o'z ichiga oladi: μ^u , μ^v , μ^z va K . Ularning har xil qiymatlarida (1) tenglamalar tizimining yechimi sifatida $u(t)$ funktsiyasining qiymatlari har xil bo'ladi. Ushbu parametrlarning to'plamlari shartli "bemorlar"ning jismoniy xususiyatlari bilan aniqlanishi mumkin. Ular ma'lum bir vaqtda qabul qiladigan funktsiyalarning qiymatlari kasallikning bir bosqichida. Ular ma'lum bir bemorning kasallik bosqichlari bilan taqqoslanadi. Parametrlarni tasodifiy N marta tanlashda, $u(t)$ funktsiyalarining qiymatini (1) tenglamalarning N echimlariga taqsimlashda, "bemorlar" kasallik bosqichlari bo'yicha taqsimlanadi. 3-rasm uchun $N = 110,000$ (2019 yil uchun Rossiya Federatsiyasida populyatsion saraton registrida ro'yxatdan o'tganlar soni) funktsiyalar qiymatlarining kasallik bosqichlari bo'yicha taqsimlanishi ko'rsatilgan. Parametrlar va boshlang'ich shartlar tasodifiy tanlangan, $u(t)$ dan 3 baravar ko'p bo'lmagan. Kasallik bosqichlari bo'yicha olingan natija (3-rasm) 2019 yilgi statistik ma'lumotlarga mos keladi – ko'pgina mamlakatlarda bemorlarning 40 foizi I va II kasallik bosqichlariga, 38 foizi III va 20 foizi IV bosqichlariga tayinlangan.



2-rasm. Uchinchi yildan to'rtinchi yilgacha davom etgan kasallikni davolash uchun u (1) va v (2) funksiyalarining t vaqtiga bog'liqligi

Natijalarni tahlil qilishdan ko'rinib turibdiki (rasm. 2 va 3), yillik davolanish kursini tugatgandan so'ng umumiy omon qolish darajasi 1 yildan 8 yilgacha o'zgarishi mumkin.

Bemorlarning ulushi



3-rasm. Vaqtga qarab "kasallar" sonining o'zgarishi

Kasallikning qaytalanishi takroriy kimyoterapiyaga deyarli javob bermaydi. Shuning uchun davolanish tugaganidan kasallikning takrorlanishigacha bo'lgan vaqtni kasalliksiz omon qolish deb hisoblash mumkin. Bo'linadigan hujayralarning ikki baravar ko'payishi (180 kun) va III bosqichda kasallikni davolashning boshlanishi bilan bemorlarning 50 foizida relaps davolanish tugaganidan 2-3 yil o'tgach sodir bo'lishi kerak va umumiy omon qolish darajasi: 4 yil — 80% "bemorlar", 5 yil — 40%, 6 yil — 20%. (1), (2) modellar doirasida olingan ushbu natijalar ixtiyoriy hamdo'stlik mamlakatlarning populyatsion saraton registrlari va Evropa mamlakatlarning populyatsion saraton registrlari ma'lumotlariga mos

keladi: bir yillik omon qolish darajasi taxminan 60%, uch yillik — 40%, besh yillik — 35 %.

Onkologik kasalliklarning va ularni davolashning matematik modellari nafaqat o'smalarning o'sish dinamikasini tavsiflash uchun, balki bemorlarning kasallanish bosqichlari bo'yicha tarqalishini, davolanish tugaganidan keyin mumkin bo'lgan vaqtni va umumiy omon qolishni baholash uchun ham muvaffaqiyatli qo'llanilishi mumkin. Hisob-kitob va aniq taqsimotlarni yaxshi muvofiqlashtirish bilan, ishlab chiqilgan modellar asosida fuqarolarning turli guruhlar bilan kasallanishni kamaytiradigan yoki ularning umr ko'rish davomiyligini oshiradigan chora-tadbirlarni aniqlash mumkin.

3.11 . Yuqumli kasallikning oddiy modellari. Sil kasalligining matematik modellari.

Kengaytirilgan model endi yashirin yuqtirgan shaxslarni sil kasalligi to'g'risida xabardorlik darajasi bo'yicha tasniflaydi (aholining sezgir kichik guruhi uchun bo'lgani kabi) va sil kasalligini aniqlash darajasiga ijobiy ta'sir ko'rsatishi mumkin bo'lgan asosiy omillar sonini yanada kengaytiradi. Ushbu aniqlangan omillarning modelni ko'paytirishning bog'liq soniga ta'siri ko'rib chiqiladi. Tizimning teskari bifurkatsiya hodisasiga duchor bo'lishi mumkinligi ko'rsatilgan, agar modelning tegishli ijro etish soni birdan kam bo'lsa; muayyan holatda, ekzogen qayta infeksiyaning teskari bifurkatsiya hodisasiga ta'siri asosan yashirin yuqtirgan shaxslarning xabardorlik darajasi bilan belgilanadi.

Modelning sifatli va miqdoriy tahlili sil kasalligi dinamikasiga aniqlangan asosiy omillarning ta'sirini ko'rsatdi, shu bilan birga sil kasalligi haqida ma'lumot berish dasturlari, holatlarni faol aniqlash strategiyalari va sil kasalligining ehtimoliy holatlarini aniqlash va uzoq vaqt davomida axborot kampaniyalarini davom ettirish uchun faol yo'talni aniqlashdan foydalanishga jiddiy e'tibor qaratdi asosiy model ushbu bo'limda «Okuonghae va Omosigo» (2011) modellari qisqacha tasvirlangan . Biz taxmin qildik, qabul qiluvchi odamlar kasallik haqida xabardorlik darajasiga (va har qanday davolash siyosatiga) qarab ikki guruhga bo'linadi: yuqori xavfli guruh (past xabardorlik), S va "ma'lumotli", past xavfli (yuqori darajadagi xabardorlik).xabardorlik guruhi, S. sinf Sokuonhe va Omosigo (2011) aholi jon boshiga α_1 ko'rsatkichi bo'yicha "o'qitiladi" va keyin S sinfga o'tadi tuberkulyoz infeksiyasi kirib borishi mumkin bo 'lgan S1 va S2 sinflar dastur "samaradorligi" ga qarab infeksiya ehtimolini kamaytiradi deb taxmin qilinadi. σ marta ($0 \leq \sigma \leq 1$). $\sigma = 0$ holati to'liq samarali

dasturini anglatadi, $\sigma = 1$ esa dastur to'liq samarasiz bo'lgan vaziyatni modellashtiradi.

Keyinchalik, "vaksina" (samarali dasturi) aholi jon boshiga θ hisobida vaqtinchalik immunitetni rivojlantiradi deb taxmin qilingan. $\theta = \infty$ holati immunitet mutlaqo yo'q bo'lgan holatga to'g'ri keladi, $\theta = 0$ esa umrbod immunitetga mos keladi. Shuning uchun θ S2 sinfidagi odamlarning S1 sinfiga qaytish tezligini o'lchaydi, chunki samarali dasturining doimiy ta'siri yo'qligi sababli unutulchanlik, kasallik esa jamiyatda saqlanib qoladi. Biz β kasallikning yuqish tezligi taxmin qildik. Shuningdek, biz, E, Я, J va T o'zgaruvchilari mos ravishda "birlamchi" yashirin, aniqlangan yuqumli (*DOTS – Directly Observed Treatment, Short-course – sil kasalligi epidemiyasiga qarshi kurash*) kasallikni davolash uchun va samarali davolangan shaxslarni ifodalaydi deb taxmin qildik ("birlamchi" kechikish deganda yuqtirgan sezgir shaxslarni nazarda tutamiz).

Birinchi, oldingi holatdan tuzalgandan keyin qayta infeksiya yuqtirib davolangan shaxslar sifatida qaraladi). Ushbu guruhlarga qo'shimcha ravishda, muvaffaqiyatsiz davolanish yoki o'z-o'zini davolash natijasida tanada infeksiya saqlanib qolgan shaxslarni hisobga olish uchun alohida sinf (R(t)) qo'shildi (biz bu holatni "ikkinchi darajali" kechikish deb ataymiz).

H parametri j sinfidagi yuqtirgan shaxslarning nisbiy infeksiyasini hisobga olish uchun modifikatsiya parametri ($0 \leq \eta \leq 1$) sifatida ishlatilgan. Shuningdek, biz taxmin qilishimizcha ϵ bu samarali davolangan odamlarning qayta yuqtirish ehtimolining qisqarishi, bu erda $0 \leq \epsilon \leq 1$. Bundan tashqari, biz $0 < p < 1$ ni vaqt birligida sil kasalligini tez rivojlantiradigan yangi yuqumli kasalliklarga chalinganlarning ulushi sifatida qabul qildik, bu erda Λ infeksiyalanmagan yangi tug'ilgan chaqaloqlar va muhojirlarni qabul qilish darajasi past xavfli sinfga kiradi. Soddalashtirish uchun biz populyatsiyadagi barcha ishtirokchilar s guruhiga o'tishini taxmin qildik. Shuningdek, biz m tabiiy o'lim darajasi, d esa sil kasalligidan kelib chiqqan o'lim darajasi deb taxmin qildik. Yashirin infeksiyalangan shaxslarning ekzogen qayta infeksiyasini hisobga olish uchun biz β^* ni infeksiyalangan shaxslar guruhi o'rtasida yuqish tezligi deb taxmin qildik. Shuningdek, k infeksiya yuqtirgan shaxslarning yashirin bosqichda faol silga o'tish tezligi deb qaraladi.

Faol sil kasalligi bo'lgan shaxslarni 2 haftadan ortiq davom etadigan surunkali yo'tal yordamida A2 darajasida aniqlash mumkin va samarali davolash uchun dots doirasida sil kasalligini davolash dasturiga murojaat qilish mumkin (Okuonhe va Omosigo, 2011, A2 yo'talni aniqlash ko'rsatkichi sifatida tanilgan).

Shunga qaramay, ushbu aniqlangan holatlarning bir qismi oxir-oqibat xarajatlar omilini hisobga olgan holda davolanish dasturiga kiradi. Shuning uchun xarajatlarni yaxshilash koeffitsienti (v : $0 < v \leq 1$) davolanish boshlangan aniqlangan holatlarning haqiqiy soniga ta'sir qiladi. Xarajat omili yuqumli bemorni davolanishga topshirishda tibbiy testlar va davolanishning haqiqiy qiymati tibbiy yordam ko'rsatuvchilarga ta'sirini hisobga oladi.

Agar $v=0$ bo'lsa, tibbiy tekshiruvlar va davolanish xarajatlari juda katta va $v \rightarrow 1$ sil kasalligi bilan og'rikan odam parvarish qiluvchilar yoki oila a'zolarining moliyaviy xarajatlari tufayli sil kasalligini davolash dasturiga kirmasligini anglatadi. 2 DOTS doirasida (*DOTS (Directly Observed Treatment, Short-course)*) — bu "qisqa kursda to'g'ridan-to'g'ri nazorat ostida davolash". Hozirgi vaqtda DOTS sil kasalligi epidemiyasiga qarshi kurashning barcha strategiyalaridan eng samarali hisoblanadi) aniqlangan sil kasalligi davolanishni boshlaydigan holatlarining ulushi sifatida qabul qilindi.

Nigeriya kabi rivojlanayotgan mamlakatlarning aksariyatida sil kasalligi bo'yicha tibbiy testlar hali ham pul talab qilishi kuzatilganligi sababli, ayniqsa kasallik yuqtirgan odam davolanishni boshlamoqchi bo'lganida (Okunhe va Omosigo, 2010), bu shuni anglatadiki $v \approx 1$; $0 < v < 1$ oralig'ida yotadi. Umuman olganda, $v \rightarrow 1$ sil kasalligini tekshirish va davolash xarajatlari mavjudligini anglatadi. Bu yrda r_2 bu dots sxemasi bo'yicha aniqlangan yuqumli shaxslar uchun davolash o'lchovidir, dots sxemasi bo'yicha muvaffaqiyatli davolangan aniqlangan holatlarning ulushi n ni tashkil etdi, $m = 1$ davolash muvaffaqiyatsiz bo'lgan va keyinchalik "ikkilamchi" davolanishga o'tganlarning nisbati. Aniqlanmagan sil kasalligi holatlari D tezligida o'ladi yoki o'z-o'zini davolaydi va r_1 tezligida "ikkilamchi" yashirin holatga (r) qaytadi.

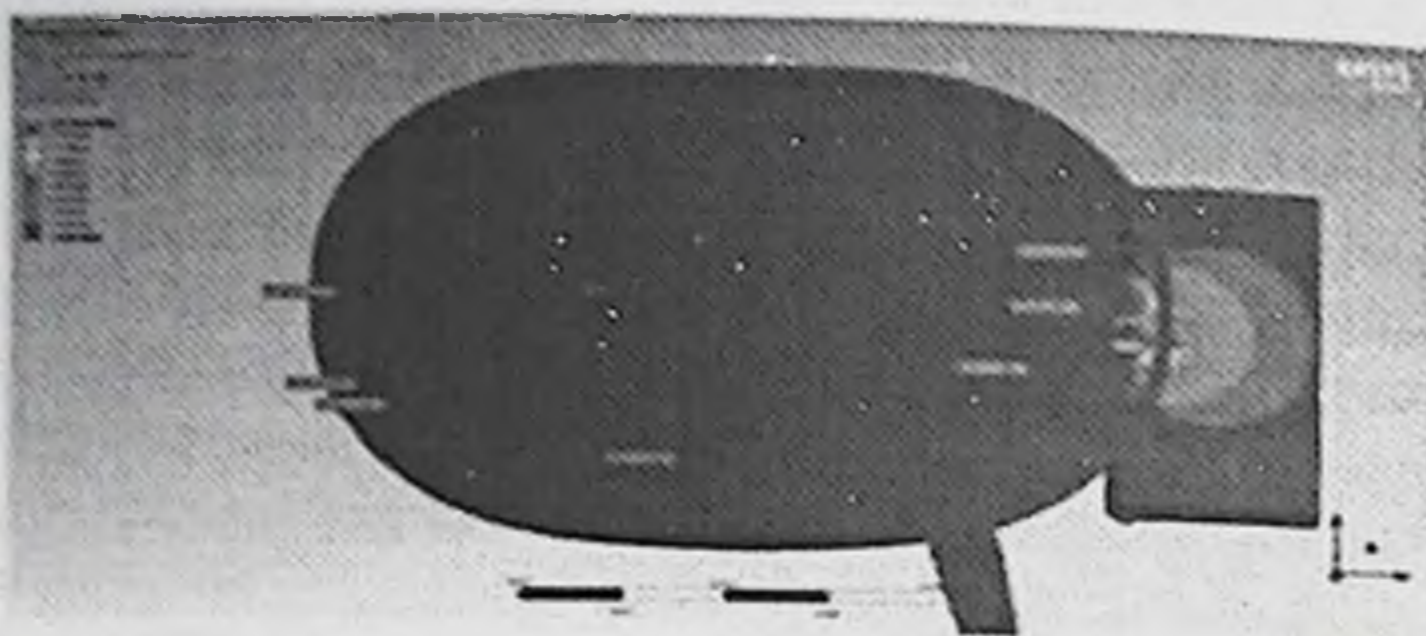
3.12. Miyaning shikastlanishdan keyingi holatini memologik modellashtirish

Miya shikastlanishi odamga tashqi ta'sir qilish bilan yuzaga keladigan tez-tez uchraydigan patologiyalardan biridir. Adabiyotda mahalliy va xorijiy mualliflarning ko'plab asarlari ushbu turdagi jarohatlarga bag'ishlangan. Shunga qaramay, miya shikastlanishining mexanizmlari ko'pincha tadqiqotchilarda ko'plab savollar va turli xil talqinlarni keltirib chiqaradi. Bu, ayniqsa, yiqilib tushganda miya shikastlanishining travmatik "zarbaga qarshi" o'choqlarini shakllantirish imkoniyati bilan bog'liq. Matematik modellashtirish usuli bilan boshning qattiq jismga urilganda va

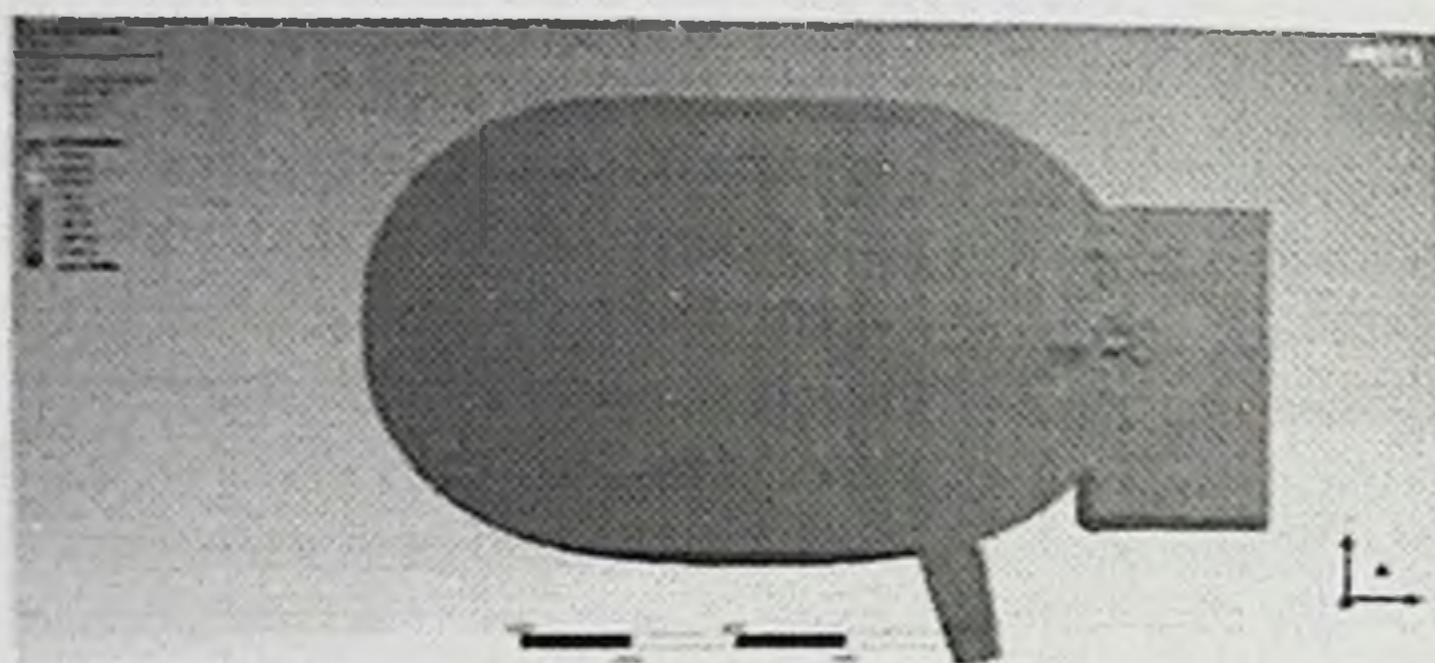
yiqilib tushganda miya shikastlanishining shakllanishi paytida yuzaga keladigan kuch kuchlanishlarining taqsimlanish xususiyatlarini aniqlang va olingan ma'lumotlarga asosan, miya shikastlanishining shakllanish mexanizmining nazariy asoslanishini o'rming.

Belgilangan vazifalarga muvofiq, cheklangan elementlar usuli bilan beton blokning boshning oksipital mintaqasi bilan ta'sir o'tkazish va boshning oksipital mintaqasi tomonidan beton blokga tushish jarayonini matematik modellashtirish amalga oshirildi. Biz bosh modelini o'lchamlari $125 \times 105 \times 90$ mm va qalinligi 30 mm bo'lgan cho'zilgan sferoidga soddalashtirdik, uning ichida miya 1 mm qalinlikdagi miya omurilik suyuqligi qatlami bilan o'ralgan. Modelning pastki qismida sferoidda asimmetrik ravishda katta oksipital teshikka mos keladigan teshik qilingan. Miya moddasi modelidagi teshik orqali medulla oblongatasini taqlid qiladigan paxsa bilan silindr hosil bo'ladi.

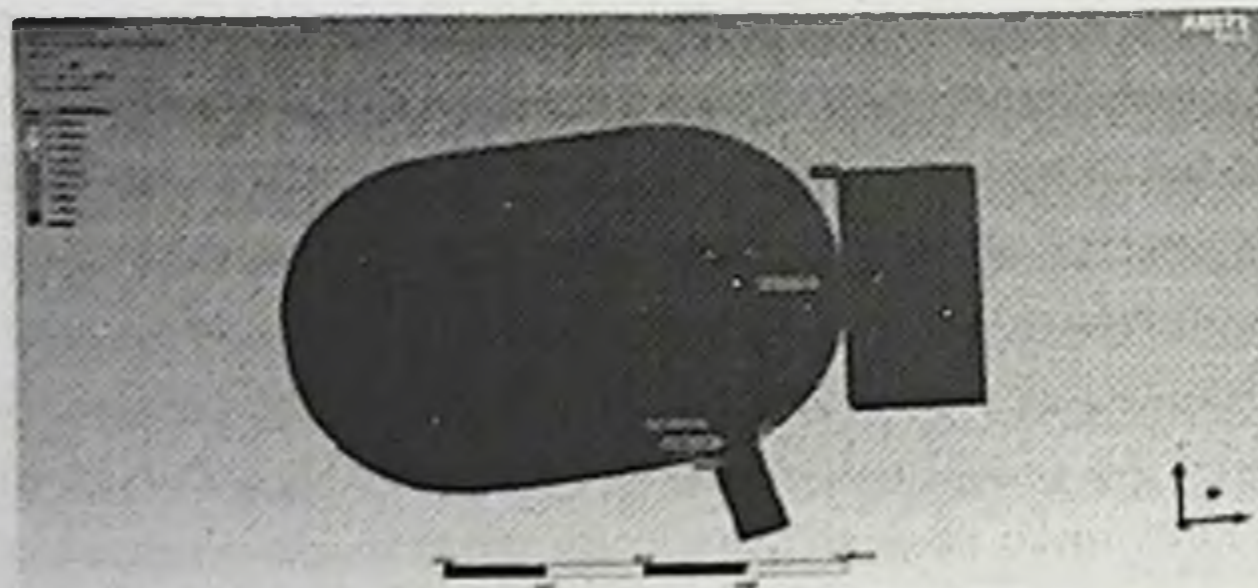
Beton blok o'lchamlari $60 \times 60 \times 40$ mm bo'lgan parallelepiped shaklida modellashtirilgan. Ushbu muammoni hal qilish uchun cheklangan elementlarni tahlil qilish usuli qo'llanilgan. ANSYS R19.0 dasturiy qobig'i yordamida Bosh suyagi, miya omurilik suyuqligi, miya va beton blokning matematik 3D modellari Solid cheklangan elementlardan foydalangan holda olingan. Bosh suyagi materiali bo'lgan ixcham moddaning elastik moduli - 19,2 gPa, Jung moduli - 20 gPa, Poisson koeffitsienti - 0,3. Medulla elastik moduli - 10,36 gPa, Jung moduli - 300 MPa, Poisson koeffitsienti - 0,3. Suyuqlik va beton materiallari bo'lgan suvning elastik modullari mos ravishda 10,34 gPa va 23 gPa, qolgan parametrlar ANSYS R19.0 dasturining Explicit Materials kutubxonasiidan olingan. Eksperimental tadqiqotlar davomida o'zaro ta'sirning uchta sharti yaratildi: - "okspital oblastyu" boshining bo'shashgan modeli 0,2 m/s tezlikda blok yuzasiga perpendikulyar ravishda beton blokga erkin tushadi. Boshning "okspital mintaqasi" ga beton blok perpendikulyar ravishda 0,2 m/s tezlikda uriladi. x, y, z o'qlari bo'ylab "katta oksipital teshik" sohasidagi harakatlarni cheklash; - beton blok blok yuzasiga perpendikulyar ravishda 2 m/s tezlikda mahkamlangan bosh modelining "okspital mintaqasiga" uriladi. Yaratilgan model x, y, z o'qlari bo'ylab "katta oksipital teshik" sohasidagi harakatlarni cheklash bilan bog'liq. Cheklangan elementlar usuli bilan miya shikastlanishi jarayonini matematik modellashtirish quyidagilarni ko'rsatdi.



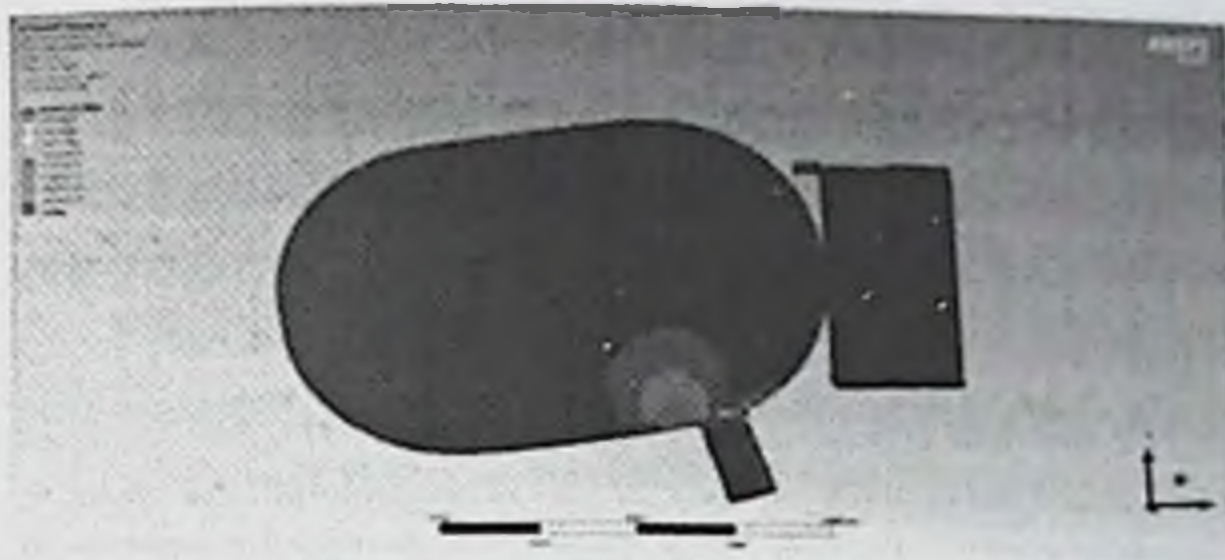
1-Rasm. Bosh miya sohasiga Mises bo'ylab ekvivalent kuchlanish natijasida beton blokni kelib urilgan tasviri



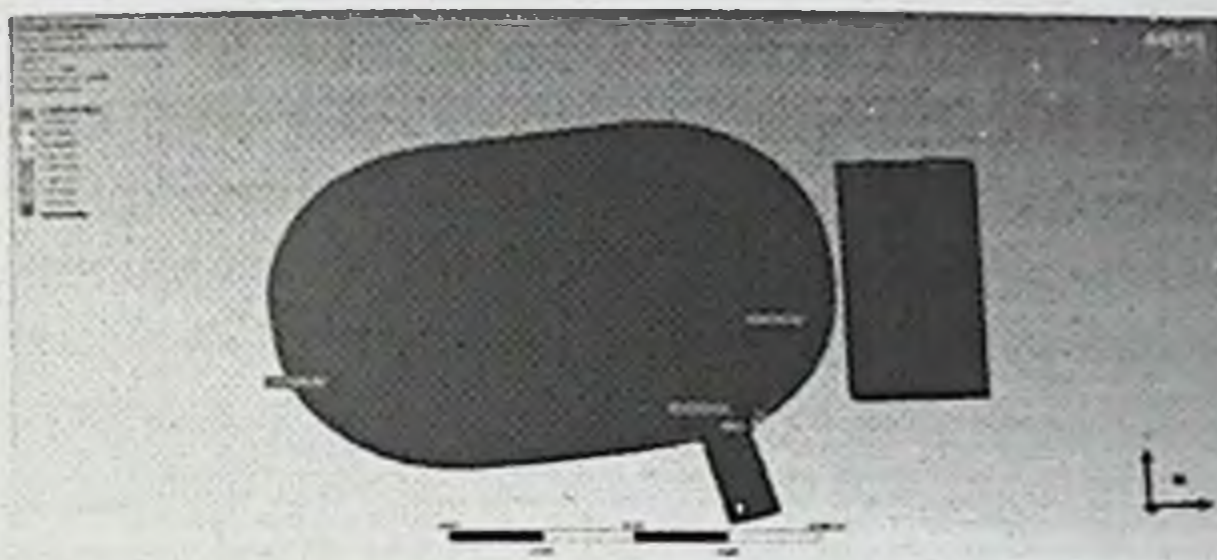
2-Rasm. Bosh miya va beton blokdagi kesish kuchlanish zonalarining tasviri



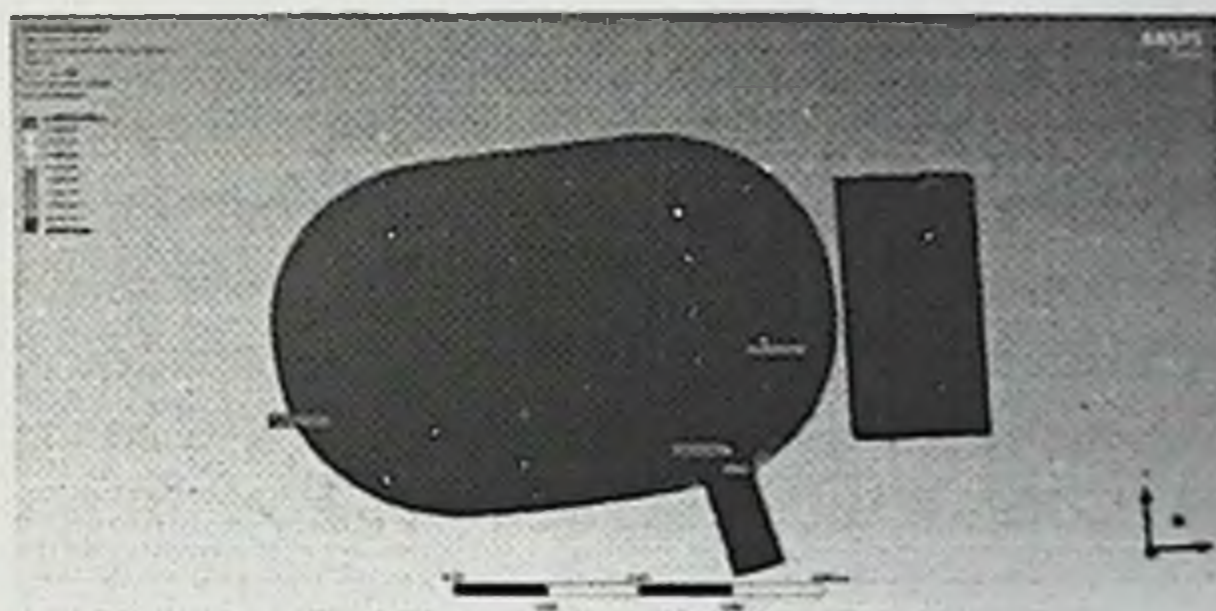
3-Rasm. Bosh miyaning orqa sohasiga Mises bo'ylab ekvivalent kuchlanish natijasida beton blokni 0.2 m/s tezlikda urilish tasviri



4-Rasm. Bosh miyaning orqa sohasiga Mizes bo'ylab ekvivalent cho'zilish natijasida beton blokni 0.2 m/ s tezlikda urilish tasviri



5-Rasm. Bosh miyaning orqa sohasiga Mizes bo'ylab ekvivalent kuchlanish natijasida beton blokni 2 m/s tezlikda urilish tasviri



6-Rasm. Bosh miyaning orqa sohasiga Mizes bo'ylab ekvivalent kesish kuchlanish natijasida beton blokni 0.2 m/s tezlikda urilish tasviri

Bo'shashgan bosh modelining "okspital mintaqa" bilan o'zaro ta'siri bilan, beton blokga erkin tushganda, blok yuzasiga perpendikulyar ravishda 0,2 m/s tezlikda, Mises bo'ylab ekvivalent kuchlanish zonalari (yashil maydon) hosil bo'ladi, bu shikastlanish kuchini qo'llash joyida aniqroq bo'ladi. Beton blokga maksimal tarqalish (1-rasm.). Ekvivalent kuchlanishning Mises bo'yicha taqsimlanishini tahlil qilishda "miya yarim

korteksi" sohasidagi kuchlanish kontsentratsiyasi travmatik kuch qo'llaniladigan joyning qarama-qarshi tomonida va "bosh suyagi poydevori" bo'ylab, asosan kesish stresslari tufayli qayd etilgan (2-rasm.). Beton blokning mahkamlangan bosh modelining "oksipital mintaqasiga" ta'sir qilganda, blok yuzasiga perpendikulyar ravishda 0,2 m/s tezlikda "katta oksipital teshik" va unga qo'shni "miya" to'qimalarida ekvivalent kuchlanish zonalari hosil bo'ladi (yashil maydon) Mises bo'ylab (3-rasm.).

Miya to'qimalarining maksimal kuchlanish zonalari kuchlanish deformatsiyasi tufayli katta oksipital teshik sohasida va undan oldin hosil bo'ladi (4-rasm.). Beton blokning mahkamlangan bosh modelining "oksipital mintaqasi" ga ta'siri bilan blok yuzasiga perpendikulyar ravishda 2 m/s tezlikda "katta oksipital teshik" va unga qo'shni "miya" to'qimalarida ekvivalent kuchlanish zonalari (yashil maydon) hosil bo'ladi, shuningdek "miya yarim korteksi" sohasida shikast etkazuvchi kuch qo'llaniladigan joyning proektsiyasida. Shuni ta'kidlash kerakki, travmatik obyektning ta'sir qilish tezligini 10 baravar oshirish travmatik kuch qo'llaniladigan joyda miya to'qimasidagi ekvivalent kuchlanishni taxminan 50 baravar oshiradi. Shunga qaramay, "katta oksipital teshik" va miya to'qimalari sohasida ekvivalent kuchlanishning maksimal qiymatlari, asosan, kesish deformatsiyalari tufayli aniqlanadi (6-rasm.).

Ushbu turdagi taqsimot o'zaro ta'sirida shikast etkazuvchi kuch qo'llaniladigan joyning qarama-qarshi tomonidagi "miya yarim korteksi" sohasidagi misesdagi ekvivalent kuchlanishning kontsentratsiyasi qayd etilmagan. Matematik modellashtirish ma'lumotlarini tahlil qilish va talqin qilish shuni ko'rsatadiki, boshning va beton blokning oksipital mintaqaga tushishi va urilishi bilan o'zaro ta'siri miya shikastlanishining tubdan farq qiladigan mexanizmiga ega va o'ziga xos namoyonlarga ega. Bo'shashgan boshning oksipital mintaqaga tomonidan tushishi va ta'sirchanligi bilan, beton blokga erkin tushishi bilan, blok yuzasiga perpendikulyar ravishda, miya moddasida shikastlanish kuchini qo'llash joyiga mos keladigan kuchlanish zonalari hosil bo'ladi, shuningdek teng ravishda teng kuch qo'llaniladigan joyning qarama-qarshi tomonida va miyaning ildiz qismida, asosan kesish stresslari tufayli. Beton blokning oksipital blokning oksipital qismiga blok yuzasiga perpendikulyar ravishda ta'sir o'tkazganda, katta oksipital teshik va miya to'qimalarida Mises bo'ylab ekvivalent kuchlanish zonalari hosil bo'ladi, ular cho'zilish deformatsiyasi tufayli medulla oblongatasining oldingi qismlariga ustunlik bilan zarar etkazadigan o'murtqa shikastlanishga mos keladi.

O'zaro ta'sir tezligining oshishi bilan miya moddasida travmatik kuch qo'llaniladigan joyda medulla oblongata va miya yarim korteksining asosiy shikastlanishi bilan ekvivalent kuchlanish miqdori sezilarli darajada oshadi. Ushbu turdagi travmatik ta'sir bilan miya yarim korteksidagi ekvivalent kuchlanish kontsentratsiyasi travmatik kuch qo'llaniladigan joyning qarama-qarshi tomonida qayd etilmagan. Shikast miya shikastlanishi paytida miya moddasiga zarar etkazilishining shakllanishi omillar to'plami bilan izohlanadi, ular: bosh va teng obyekt o'rtasidagi o'zaro ta'sir mexanizmi, ta'sir impulsining katta energiyasi, kuch kuchlanishlarining maxsus taqsimlanishi, bu miyaning stvolovogo mintaqasida siljishni keltirib chiqaradi.

Yiqilish paytida, asosan, siljish stresslari tufayli, miya moddasida shikastlanish kuchini qo'llash joyiga mos keladigan kutish joylari hosil bo'ladi, shuningdek, travmatik kuch qo'llaniladigan joyning qarama-qarshi tomonida va miyaning ildiz qismida teng ravishda. Belgilangan boshning oksipital mintaqasiga shikast etkazuvchi obyekt yuzasiga perpendikulyar ravishda ta'sir qilganda, katta oksipital teshik va qo'shni miya to'qimalarida o'murtqa shikastlanishga mos keladigan shikastlanish joylari hosil bo'ladi, bu esa cho'zinchoq miyaning oldingi qismlariga "zarbaga qarshi shikastlanish" o'choqlarini hosil qilmasdan cho'zish deformatsiyasi tufayli. Miya moddasining shikastlanish kuchini qo'llash joyidan ijobiy tomonga shikastlanishi klassik "siqish" sxemasiga muvofiq shakllanmasligi mumkin – uzilish "va sxema bo'yicha" ko'p yo'nalishli siljish". Matemati modellash tirish yordamida cheklangan elementlar usuli yordamida tadqiqot davomida, to'mtoq narsalar oksipital mintaqaga urilganda va erkin yiqilib tushganda miya shikastlanishining paydo bo'lish mexanizmini aniqlash imkoniyati o'rnatildi. Tadqiqotlar natijasida olingan ma'lumotlar nafaqat miya moddasini yo'q qilishning ma'lum mexanizmlarining xilma-xilligini kengaytiradi, shuningdek, ular klinik shifokor va mutaxassisga shikast etkazuvchi kuchni qo'llash joyi va usuli to'g'risida ma'lumotlarning mavjudligi, miya moddasining shikastlanishining lokalizatsiyasi va xususiyatini aniqlash imkoniyatini beradi.

3.13. Yurak-qon tomir tizimini tartibga solish mexanizmlarini matematik modellash tirish.

Adabiyotda mavjud va tavsiflangan qon aylanishining matematik modellarining ko'pligi va xilma-xilligiga qaramay, ularning keyingi rivojlanishi dolzarb bo'lgan bir qator muammolar mavjud. Xususan, mikrosirkulyatsiya tarmog'idagi avtoregulyatsiya jarayonlarini tahlil qilish

qon tomir devorining hujayra qatlamlarining faol reaksiyasini va birinchi navbatda qon tomir ohangini tartibga solishning miyogen mexanizmini hisobga oladigan modellarni yaratishni talab qiladi. Ushbu ish doirasida qon tomirining kichik segmentining matematik modeli taklif etiladi, bu qon tomir devorining elastiklik darajasini faol tartibga solish mexanizmlari ishining eng xarakterli namoyon bo'lishini sifatsiz darajada takrorlaydi. Modelni sinovdan o'tkazishda olingan natijalar uning ishlashini ko'rsatadi. Shunday qilib, qo'llaniladigan bosimning oshishiga javoban tomir diametrining pasayishi kuzatildi, bu esa o'z navbatida oqimni barqarorlashtirishga yordam beradi. 100 ta ketma-ket ulangan segment modellaridan tashkil topgan tizimda puls to'lqinining tarqalish jarayonini simulyatsiya qilishda uning tezligining modelning birinchi segmentiga berilgan bosim impulsi miqdoriga chiziqli bo'lmagan bog'liqligi aniqlanadi.

Inson va hayvonlarning yurak-qon tomir tizimidagi qon aylanish qonuniyatlarini tushunishga an'anaviy yondashuv gidrodinamik (aniqrog'i gemodinamik) parametrlari ularning diametri va elastiklik darajasi bilan belgilanadigan dallanadigan elastik naychalarning ("vaskulyar daraxt" deb ataladigan) ierarxik tuzilishi sifatida qon tomir tizimi tushunchasiga asoslanadi. Ushbu paradigma doirasida, ayniqsa, katta tomirlardagi qon oqimini va birinchi navbatda aorta qon oqimini o'rganishda bir qator ta'sirchan natijalar mavjud, bu ayniqsa tibbiy dasturlar uchun juda muhimdir. Biroq, zamonaviy fiziologik bilimlarga ko'ra, odatdagi arterial tomir bosim va oqim o'zgarishiga shunchaki "elastik naycha" dan kutilgandan ko'ra ancha murakkab javobni namoyish etadi, hatto devor egiluvchanligining chiziqli bo'lmagan xususiyatini hisobga olgan holda. Shunday qilib, transmural (tomirni kengaytiruvchi) bosimning o'sishiga javoban uning diametri pasayishi mumkin va oqim tezligining oshishiga javoban idish doimiy bosim bilan kengayishi mumkin. Avvalo arterial tomirlarga xos bo'lgan bunday xatti-harakatlarning sababi uning hujayra tuzilmalari vositachiligida uning devorining egiluvchanlik darajasini (qon tomir tonusini) miogen (ya'ni mushak) tartibga solishning faol mexanizmlari mavjudligidadir.

Qon tomir tizimining funktsiyalarini matematik modellashtirish bo'yicha nashrlarning batafsil tahlili shuni ko'rsatadiki, ikkita alohida va bir-biriga zid bo'lgan mintaqalar mavjud bo'lib, ulardan biri gidrodinamik yondashuvga asoslangan, bu erda oqimni tavsiflovchi tenglamalarni echish uchun standart usul bu taxmindir. Tomir diametridagi juda kichik o'zgarishlar va natijada uning doimiy elastiklik darajasi. Ikkinchi sohadagi ishlar qon tomir tonusini tartibga solishning hujayra mexanizmlarini

o'rganishga qaratilgan bo'lib, ular o'z-o'zidan shunchalik xilma-xil va murakkabki, u kamdan-kam hollarda haqiqiy oqimni modellashtirishga to'g'ri keladi. Ushbu obyektiv sabablarga ko'ra, ikkala jihatni ham hisobga oladigan ishlar juda kam. Noyob misollarda qon tomirlari tuzilishidagi bunday jarayonlarning qonuniyatlarini aniq tushunmaslik bilan bog'liq qo'shimcha muammolar aniqlanadi. Shu bilan birga, bunday bilimlarga ehtiyoj bor.

Masalan, puls to'lqinining tarqalish tezligi o'lchovlari bo'yicha qon bosimini noinvaziv monitoring qilish usulini ishlab chiqishdagi qiyinchiliklar, bu erda kerakli natijaga hali erishilmagan, chunki qon tomir ohangini tartibga solish mexanizmlari nuqtai nazaridan tomirning elastikligi shunchaki chiziqli emas, balki vaqt o'zgaruvchisidir va ko'plab omillarga bog'liq, shu jumladan atrofdagi harorat va insonning hissiy holati. Ko'rinib turibdiki, bunday tadqiqotlardagi taraqqiyot qon tomir tizimining xatti-harakatlarini chiziqli bo'lmagan elementlarning murakkab tarmog'i sifatida tushunish darajasiga bog'liq. Misol tariqasida, asab tizimini tadqiq qilishda modellashtirishga o'xshash yondashuv neyronlar va ularning ansambllarining sezilarli darajada soddalashtirilgan, ammo funktsional jihatdan tegishli matematik modellari bilan ishlaydigan hisoblash nevrologiyasi (computational neuroscience) paydo bo'lishiga olib keldi. Mualliflarning fikriga ko'ra, hozirgi bosqichda shunga o'xshash yondashuv qon tomir tizimining funktsiyalariga nisbatan talabga ega bo'ladi. Yuqorida aytilganlarning barchasi chiziqli bo'lmagan turlar bilan birlashtirilgan model dinamik tizimlarning maxsus guruhi doirasida qon oqimini faol tartibga solish dinamikasining asosiy qonuniyatlarini o'rganishning dolzarbligiga ishoniradi.

Bizning modelimiz shu yo'nalishda amalga oshirildi, bu erda biz: – fiziologik ma'lumotlarni tahlil qilish, shuningdek, model tavsifining o'xshashligi va umumiyliги asosida biz tomirning funktsional segmentida qon oqimini avtoregulyatsiya qilishning umumlashtirilgan va o'lchovsiz modelini taklif etamiz;

-biz qon tomirining uzun segmentining modelini mahalliy tartibga solish davrlari bilan diskret bir o'lchovli chiziqli bo'lmagan muhit shaklida quramiz;

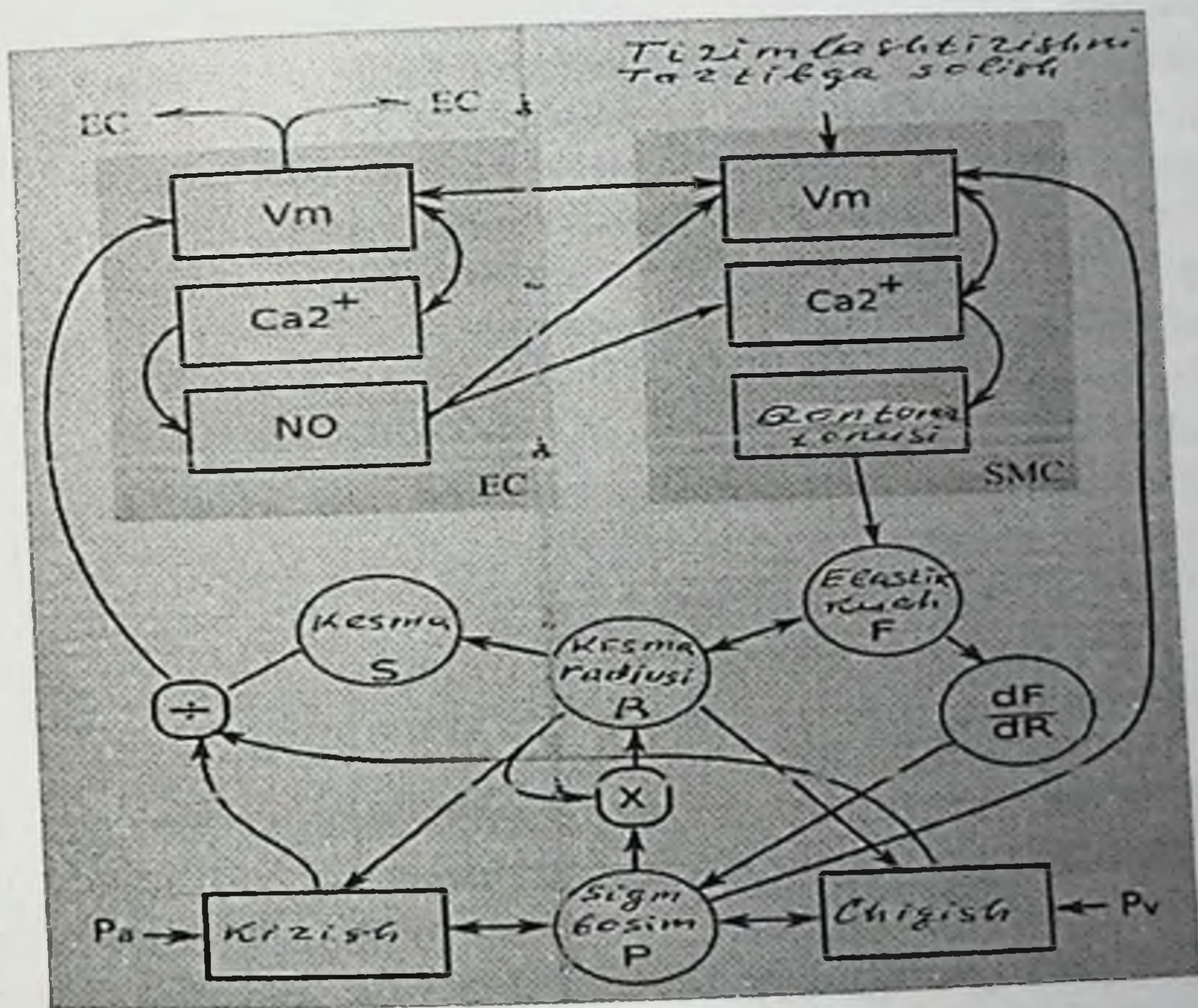
-biz taklif qilingan soddalashtirilgan va o'lchovsiz modelni fiziologik adabiyotlarda tasvirlanganlar bilan qon bosimi va tezligining oshishiga bo'lgan reaksiyalarining muvofiqligini tekshirish orqali tekshiramiz, shuningdek olingan puls to'lqinining tezligiga bog'liqligini tahlil qilamiz.

Tomirning model segmentining kirish qismida impuls parametrlari mavjud. e'tibor bering, bizning e'tiborimiz puls to'loqining pulsini tarqatish jarayonining o'zi emas, bu jismoniy muammo uzoq vaqtdan beri turli xil soddalashtirilgan taxminlar bilan hal qilingan. Bizning tadqiqotimizning maqsadi impuls tarqalish xususiyatlariga ikkita asosiy tartibga solish yo'lining ishlashi qanday ta'sir qiladi, ulardan biri oqim tezligi bilan boshqariladi, ikkinchisi esa tomirdagi bosim bilan boshqariladi. Biz olgan natijalar shuni ko'rsatadiki, to'rt o'lchovli dinamik tizim shaklida qon tomir tonusini mahalliy avtoregulyatsiya qilishning taklif qilingan modeli qon oqimining xususiyatlarining o'zgarishiga tomir reaksiyalarini sifat darajasida etarli darajada tavsiflaydi. Kichik arterial tomirning 100 segmentli modelidagi hisoblash tajribasi puls to'loq tezligining tomirdagi bosimga monoton bo'lmagan bog'liqligini aniqlashga imkon berdi, bu hech bo'lmaganda qon bosimini noinvaziv monitoring qilish uchun ushbu miqdorlarning o'zaro bog'liqligidan foydalanish imkoniyatlarini murakkablashtiradi. Bunday segmentning uzunligi (0,05 – 0,1 mm) bosimning pasayishi va qon oqimining boshqa xususiyatlari nuqtai nazaridan kichik deb hisoblanishi mumkinligi sababli, bunday diskretizatsiya modelning gemodinamik qismiga ham mos keladi.

Tomir segmentidagi avtoregulyatsiyaning asosiy yo'llari 1-sekundda qon tomirlari segmentining holatini mexanik va qon tomir devori hujayralari vositachiligida tartibga solishning asosiy usullari keltirilgan. P-bosimning oshishi R-tomir radiusining oshishiga olib keladi, va doimiy uzunlikdagi tomirni kengaytiradigan kuch bosim va radius mahsulotiga mutanosib ravishda o'sadi, chunki R o'sishi bilan bosim o'tkaziladigan maydon ham o'sadi.

Bu kuchga tomir devorlaridagi elastik tolalar (faqat R ga bog'liq bo'lgan passiv elastiklik) va kgm kontraktil tonusi (elastiklikning faol komponenti) tomonidan yaratilgan tomirning elastik kuchi qarshi turadi. O'z navbatida, kgm ohangi har ikkala turdagi hujayralarning v m elektr potentsialining o'zgarishi, Ca^{2+} kaltsiyning hujayra ichidagi konsentratsiyasining o'zgarishi, kimyoviy signalizatsiya moddalarini ishlab chiqarish (masalan, azo-tano oksidi) bilan bog'liq bo'lgan hujayra mexanizmlarining butun to'plamining ta'siri natijasida hosil bo'ladi. Ushbu zanjirning barchasi kgmning mexanik qisqarishiga olib keladi, ya'ni silliq mushak tonusining o'zgarishi. Diagrammaning pastki qismida P segmentidagi bosim balansi va bosim farqi ($r_a - P$) va ($P - P_v$) tufayli oqib chiqadigan va oqib chiqadigan ikkita oqim ko'rsatilgan. Bu kgm tonusining pasayishiga va shuning uchun tomirning kengayishiga olib keladi. O'z

navbatida, kgm kuchlanish tomirining o'sishiga sezgir bo'lib, ular qisqarish kuchining oshishi bilan javob beradi. Kema segmentidagi o'zaro ta'sirlarning tasvirlangan tasviri ke ning kema bo'ylab bir-biri bilan fazoviy elektr aloqasi yo'llari (Diagrammaning yuqori qismidagi er-xotin o'q), shuningdek, ushbu ish doirasida ko'rib chiqilmaydigan turli xil tizimli (tana darajasida) ta'sirlar bilan to'ldiriladi. Yuqoridagilardan kelib chiqadiki, hatto kichik tomir segmentining qon tomir ohangini tartibga solish yo'llari juda xilma-xildir va ularning barchasini hisobga olishga urinish muqarrar ravishda bir necha o'nlab differentsial tenglamalar va ko'plab parametrlarni o'z ichiga olgan modelga olib keladi. Funktsional modelni yaratishda asosiy vazifa minimal zarur bo'lgan (muayyan vazifaga mos keladigan) elementlar to'plamini va ularning o'zaro ta'sir yo'llarini tanlashdir. Bizning holatlarimizda, gemodinamikani modellashtirish sohasidagi ko'pgina ishlardan farqli o'laroq, oqim xususiyatlari biz uchun ikkinchi darajali hisoblanadi.



Rasm: 1. Segment holatini va qon tomir tonusining avtoregulyatsiya yo'llarini belgilaydigan miqdorlarning asosiy munosabatlari.

EC - endotelial hujayralar,
SMC – silliq mushak hujayralari

Shu sababli, biz segmentning soddalashtirilgan tavsifini bir xil gidrodinamik qarshilikka ega bo'lgan ikkita elastik bo'lmagan qism va gidrodinamik qarshilikka ega bo'lmagan elastik hajm o'zgarishining bitta elementi sifatida ishlatamiz. Ushbu turdagi modellar "windkessel" turiga kiradi, bu nemis tilida "havo sumkasi" degan ma'noni anglatadi. Kgm ohangini boshqaradigan hujayra mexanizmlarining o'zi ham iloji boricha soddalashtirilgan. Mualliflar quyida tavsiflangan modelning muhim jihatini chiziqli bo'lmagan xarakterni hisobga olish va tomir devorining elastiklik darajasini dinamik tartibga solish deb hisoblashadi, chunki bu hisoblash tajribasida tomirning bosim va oqim o'zgarishiga moslashish reaksiyasini kuzatish imkonini beradi, bu eksperimental ravishda qayd etilganlarga mos keladi. Model tenglamalari model tenglamalarini chiqarish quyidagi asosiy nisbatlarga asoslanadi:

Shu sababli, biz segmentning soddalashtirilgan tavsifini bir xil gidrodinamik qarshilikka ega bo'lgan ikkita elastik bo'lmagan qism va gidrodinamik qarshilikka ega bo'lmagan elastik hajm o'zgarishining bitta elementi sifatida ishlatamiz. Ushbu turdagi modellar "windkessel" turiga kiradi, bu nemis tilida "havo sumkasi" degan ma'noni anglatadi. Kgm ohangini boshqaradigan hujayra mexanizmlarining o'zi ham iloji boricha soddalashtirilgan. Mualliflar quyida tavsiflangan modelning muhim jihatini chiziqli bo'lmagan xarakterni hisobga olish va tomir devorining elastiklik darajasini dinamik tartibga solish deb hisoblashadi, chunki bu hisoblash tajribasida tomirning bosim va oqim o'zgarishiga moslashish reaksiyasini kuzatish imkonini beradi, bu eksperimental ravishda qayd etilganlarga mos keladi. Model tenglamalari model tenglamalarini chiqarish quyidagi asosiy nisbatlarga asoslanadi

$$\frac{dw}{dt} = j_{in} - j_{out}, \quad (1)$$

$$\mu \frac{d^2 R}{dt^2} + \gamma \frac{dR}{dt} + (F_{elastic} + F_{active}) = 2\pi RLP. \quad (2)$$

(1) tenglama qon hajmining saqlanish qonunini aks ettiradi va tomir segmenti hajmining o'zgarishini tavsiflaydi W mos ravishda j_{in} va j_{out} oqimlarining oqishi va oqishi o'rtasidagi farq. O'z navbatida, $W=PC$, bu erda p segmentning elastik elementida bosim mavjud va C — uning "muvofiqligi" qiymati, bu qiymat elastiklik koeffitsientiga teskari. Eng oddiy "windkessel" modellaridan farqli o'laroq, biz C ni vaqt o'zgaruvchisi deb hisoblaymiz, keyin $dW = D(PC) = CdP/dt + p dC/dt$. Tenglama (2) tomir

segmentining silindrsimon elastik elementining r radiusining harakatini inertsiya parametri m va yopishqoq ishqalanish koeffitsienti γ bo'lgan osilator sifatida tavsiflaydi. Ushbu nisbatni Nyutonning ikkinchi qonuni asosida muammoning eksenel simmetriyasini hisobga olgan holda osongina olish mumkin. Bu erda Felastic va Factive tomir devorining elastik elementlari va mos ravishda silliq mushak hujayralarining qisqarishi natijasida yuzaga keladigan elastik reaksiya va faol vazokonstriksiya kuchlarini bildiradi. 2nrlp ning kattaligi a segmentni kengaytiruvchi kuch, bu erda bosim P segmentning ichki yuzasi maydoniga qo'llaniladi 2nrl (l-oqim bo'ylab yo'nalishdagi uzunlik). Quyidagi model tenglamalarining keyingi xulosasi, birinchidan, o'lchovsiz o'zgaruvchilarga o'tish va elastiklik funksiyasining ma'lum bir turini belgilash, ikkinchidan, rasmda ko'rsatilgandek, tomir ohangini faol tartibga solish davrlarining mavjudligini hisobga olgan holda nisbatlar bilan to'ldirishni o'z ichiga oladi. 1. Yakuniy model 4 ta differentsial tenglamani o'z ichiga oladi:

$$CP' = j_{in} - j_{out} - P \frac{dc}{dr} r', \quad (3)$$

$$\tau_r r' = rp - (f_e(r) + f_a(m)), \quad (4)$$

$$\tau_r e' = \frac{v(j_{in}, j_{out})}{k_e + v(j_{in}, j_{out})} - e, \quad (5)$$

$$\tau_m e' = \frac{\alpha_p(P) - e}{K_m + \alpha_p(P)} - m, \quad (6)$$

$$j_{in} = r^4 \sigma_r (P_a - P), \quad j_{out} = r^4 \sigma_r (P - P_v), \quad (7)$$

$$f_e(r) = \frac{1}{2} K_e \ln \left\{ \frac{1 + (r - 1)}{1 - (r - 1)} \right\}, \quad (8)$$

$$f_a(m) = (K_a m) r, \quad (9)$$

$$c = \left(\frac{df_c}{dr} + \frac{df_a}{dr} \right)^{-1} = \left(\frac{K_e}{1 + (r - 1)^2} + K_a m \right)^{-1}, \quad (10)$$

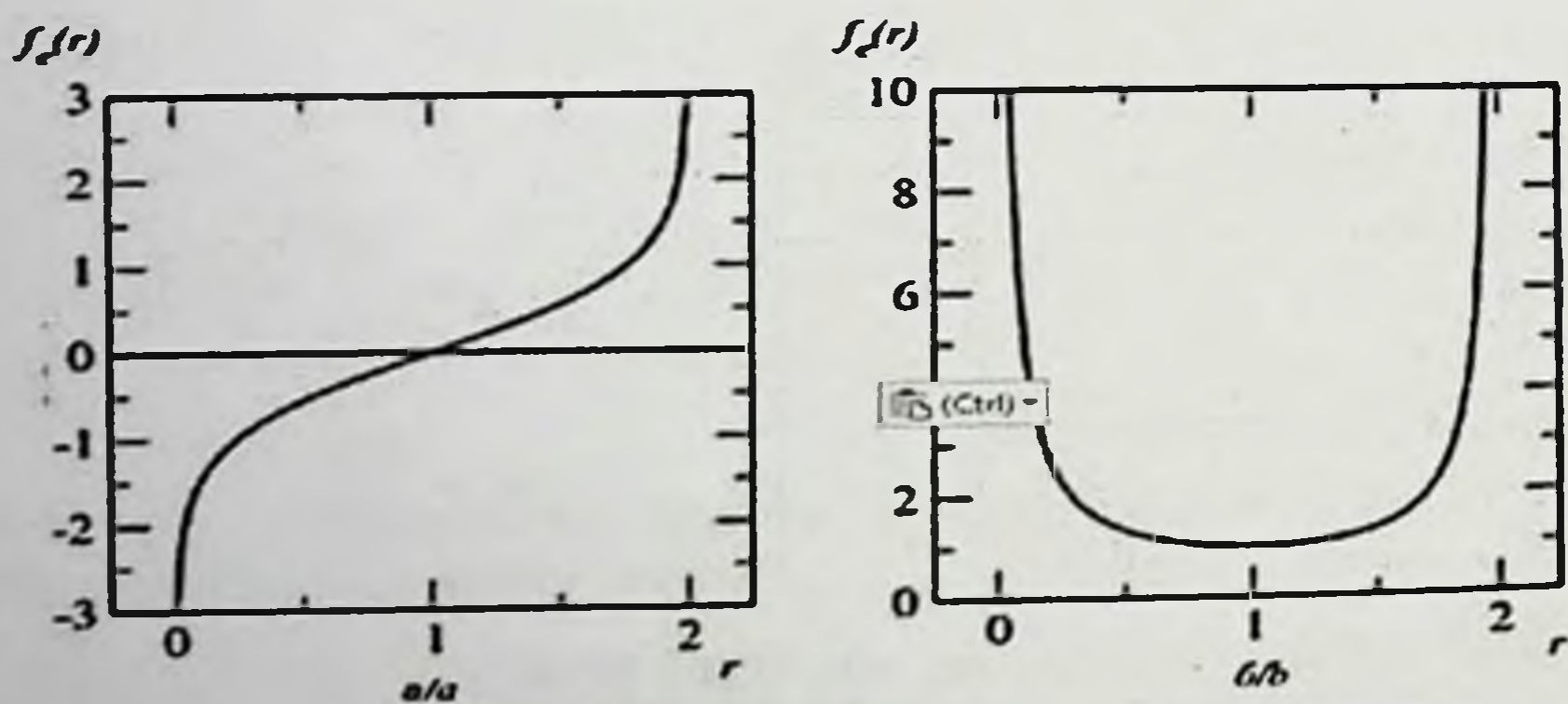
$$v(j_{in}, j_{out}) = 0.5(|j_{in}| + |j_{out}|) / \pi r^2, \quad (11)$$

$$\alpha_p(P) = \frac{1 + th(2p - 0.8)}{2}. \quad (12)$$

(3)–(6) tenglamalarda chiziq o'lchovsiz vaqt bo'yicha differentsiatsiyani bildiradi, p , r , c – bosim, radius va moslikning o'lchovsiz analoglari, masalan, $p = 0$

$r = r_0 = 1.0$, AC tenglama bilan berilgan. (3) tenglama to'g'ridan-to'g'ri analog (1) bo'lib, o'lchovsiz hajmning o'zgarishi p va c ning o'zgarishi bilan belgilanadi va oqim va oqim oqimlari (7) Poiseil qonuniga muvofiq beriladi, gidrodinamik qarshilik r shaklida yoziladi. 4 σ_r , chunki r model o'zgaruvchisi va parametr σ_r normallashtirish koeffitsientlarining qolgan konstantalari yig'indisini tavsiflaydi. Tenglama (4) o'lchovsiz radius r ning

o'zgarishini tavsiflaydi, u asl holatida birlikka teng deb hisoblanadi. Ushbu tenglama (2) asosida olinadi, bu erda inertsiya ta'siri e'tiborsiz qoldirilgan ($m=0$), bu eng katta tomirlardan tashqari ko'pchilik tomirlarga yaxshi mos keladi. Passiv (elastiklik tufayli) va faol (mushaklarning qisqarishi tufayli) elastiklik kuchlari $F_e(r)$ va $f_a(m)$ qiymatlari bilan ifodalanadi, ularning o'ziga xos turi (8) va (9) tenglamalar bilan beriladi va mos ravishda koeffitsientlar bilan o'lchanadi. Shaklda 2 elastiklik kuchining $f_e(r)$ va uning radiusdan hosilasi o'rtasidagi model bog'liqligi grafiklari keltirilgan. (8) tenglamada $(r-1)$ argumentdan areatangens funktsiyasi ko'rinishidagi o'ziga xos chiziqli bo'lmaganlikni tanlash uning mos shakli va hosilaning oddiy turiga bog'liq. Ya'ni, boshlang'ich holatda, $r=1$, $f_e(r)=0$ bo'lganda, elastik kuchlar bo'lmaydi. Radius kichikroq yoki kattaroq tomonga burilganda, passiv elastiklik kuchi $r=0$ ga yaqinlashganda keskin oshadi (idish to'liq siqilgan, lümen yo'q) yoki $r=2$ (idishning ikki marta cho'zilishi, biz uni yo'q qilmasdan maksimal darajada mumkin deb hisoblaymiz). Shunga ko'ra, (10) tenglamaga kiradigan $f_e(r)$ hosilasi ma'lum bir r uchun passiv elastiklik koeffitsientining qiymatini belgilaydi. qon tomir devorining o'changini faol tartibga solish (5) va (6) tenglamalar, shuningdek (9), (11) va (12) nisbatlar bilan ifodalanadi. Model tenglamalarini yozishda ikkita tartibga solish mexanizmining har birining ta'siri (rasmda kulrang bilan ajratilgan ikkita maydon). 1) birinchi darajali bitta chiziqli bo'lmagan differentsial tenglama yordamida tasvirlangan.



Rasm:2. $F_e(r)$ passiv elastiklik kuchining modelga bog'liqligi grafigi r - tomir radiusidan a va uning b hosilasi

3.14. Matematik modellashtirish va bashorat qilish-tibbiyot va biologiyani ilmiy bilish usullari sifatida (adabiyotlarni ko'rib chiqish)

Tibbiyotda, xususan morfologiyada matematik modellashtirish uzoq tarixga ega. 18 - asrning oxirida Otto Frank (1895) qon aylanish tizimining modelini yaratdi. O'tgan asrning 70-yillari boshlarida modellashtirishning turli jihatlari tibbiy-biologik bo'limga qat'iy va bimalol kirib bordi.

1974 yilda Nyu-Dehlida bo'lib o'tgan 26 – xalqaro fiziologiya fanlari Kongressida taniqli amerikalik neyropsixolog S. Korson o'z ma'ruzasida mamlakatimizda biotibbiyot va nazariy fiziologiyada matematik modellashtirish bo'yicha ishlarning rivojlanishining boshlanishi P. K. Anoxinning g'oyalari-funksional tizimlar nazariyasi va fiziologik funktsiyalarni o'rganishga tizimli yondashuv (8).

2007 yilda "ajoyib kashfiyotlar jamg'armasi" turkumidagi kitob nashr etildi, uning mualliflari kirish qismida tibbiy asbobsozlik sohasida sezilarli ilmiy-texnik taraqqiyotga qaramay, o'lchovlar muammosi mavjudligiga, biofizik jarayonlarni tavsiflash qiyinligiga e'tibor qaratdilar. Fiziologik organning asosiy xususiyatlarini aks ettiruvchi deyarli hech qanday model yo'q, ular o'lchovlarda standart sifatida qabul qilinishi mumkin. Shu munosabat bilan o'lchov samaradorligi muammosini hal qilish uchun fiziologiya va biologiya sohasidagi bilimlarning yangi paradigmasi zarur bo'lib, u har bir tizimning asosiy funktsiyalari darajasiga mavhum nazariy modellarga asoslangan bo'lishi kerak.

Bunday modellar aksiomalar maqomiga ega bo'lishi kerak, ularsiz nazariy tushunchalarni qurish mumkin emas. Ushbu muammoning echimi o'rganilayotgan biofizik jarayonlarning faraziy modellarini nazariy qurish orqali yotadi (2).

S. V. Antonenkoning so'zlariga ko'ra: "har qanday model teoremani ishlab chiqishdan boshlanishi kerak, uni yaratishda asosiy vazifa eksperiment natijalarida o'rganilayotgan hodisaning xarakterli xususiyatlarini aniqlashdir. Ushbu jarayon umumiyning uning tarkibiy qismlariga xos bo'lgan xususiyatlar darajasiga mavhumlashtirishdir. Tanlangan xususiyatlar hodisaning umumiy xususiyatlarini tavsiflash kontekstiga aniq mos kelishi kerak. Shunday qilib, differentsiatsiyani ishlab chiqarish natijasida nazariy dizayn, aniqrog'i o'rganilayotgan hodisaning asosiy xususiyatlarini aks ettiruvchi model olinadi (1).

Jon fon Neyman tomonidan 1981 yilda tirik organizmlarni modellashtirish masalasi bo'yicha teorema shakllantirilgan, unga ko'ra barcha biologik tizimlar, ularning murakkabligi va tushunish mumkin emasligi sababli, birinchi navbatda, ma'lum chegaralarda avtonom bo'lgan morfologik birliklarga bo'linishi kerak. Ikkinchidan, ushbu morfologik birliklar o'rtasida aloqalarni o'rnatish (4). Ushbu teoremaning asosiy

qoidalari tirik organizmlarni fizik-texnik funksional analogiya usuli bilan modellashtirish uchun asos bo'ldi, uning mohiyati quyidagicha edi: :

1) morfologiya va uning faoliyati davomida modellashtirilgan organning morfologik birliklari o'rtasidagi munosabatlar sinchkovlik bilan o'rganiladi (tuzilishi).;

2) tanlangan morfologik birliklarning funktsiyalariga o'xshash funktsiyalarni bajaradigan fizik-texnik obyektlar tanlanadi;

3) tanlangan texnik birliklardan morfologik birliklar va simulyatsiya qilingan organning ishlashi o'rtasidagi bog'liqlikni aks ettiruvchi dizayn sxemasi tuziladi;

4) tuzilgan hisoblash sxemasi asosida muhandislik va fizikada qo'llaniladigan va simulyatsiya qilingan organning ishlashini aks ettiruvchi differentsial va algebraik tenglamalar tizimi tuziladi;

5) koeffitsientlarning raqamli qiymatlari modellashtirilgan organning ishlashi to'g'risida to'plangan biofizik bilimlardan aniqlanadi va hisoblab chiqiladi;

6) tuzilgan tenglamalar tizimini raqamli echish dasturini tuzish uchun til muhiti tanlanadi;

7) tuzilgan tenglamalar tizimi bosqichma-bosqich hal qilinadi, har bir bosqichda keyingi bosqichda hal qilish uchun ishlatiladigan parametrlarning yangi qiymatlari almashtiriladi;

8) yechim morfologik birliklarni tizimga bog'laydigan tenglamalar, simulyatsiya qilingan organning ishlashi bilan aks ettirilgan barcha parametrlarning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi grafikalarini tuzish bilan birga keladi;

9) vaqt o'tishi bilan biologik organning simulyatsiya qilingan parametrlaridagi o'zgarishlarning olingan grafikolari simulyatsiya qilingan organ biologiyasidagi parametrlar bilan taqqoslanadi. Ushbu taqqoslash asosida olingan modelning aniqligi to'g'risida xulosa chiqariladi;

10) olingan natijalarning fiziologik ma'lumotlar bilan tafovutlari tahlil qilinadi va hisoblash sxemasi yoki tenglamalarning sonli koeffitsientlari tuzatiladi;

11) modellashtirilgan organning normal ishlashini aks ettiruvchi natijalarni olgandan so'ng, ruxsat etilgan aniqlik bilan uning patologiyalarini modellashtirish boshlanadi;

12) patologiyalarni modellashtirish uchun hisoblash sxemasini o'zgartirish, yangi bog'liqliklarni kiritish yoki tenglamalar koeffitsientlarini o'zgartirish orqali hisoblash sxemasining normal holat modelidan o'zgarishini aks ettiruvchi tenglamalarni qo'shish kerak;

13) tegishli patologiyani aks ettiruvchi tenglamalarni echishning yangi dasturini tuzing;

14) simulyatsiya qilingan patologiyani aks ettiruvchi norma va yangi parametrlarni hisobga olgan holda qiyosiy grafiklarni tuzing;

15) agar eksperimental ma'lumotlar mavjud bo'lganda mavjud organ modelida tavsiflanmagan faoliyatni hisobga olish zarurati tug'ilsa, unda ushbu organni hisobga olgan holda yangi hisoblash sxemasini tuzish kerak;

16) tegishli matematik tavsifni tuzing va ushbu organning eksperimental ma'lumotlari bo'yicha koeffitsientlarning qiymatlarini aniqlang va uni mavjud modelga kiriting.

Bunday holda, hatto juda qo'pol modellar ham juda yuqori tavsiflash tartibiga ega, ammo haqiqiy modellashtirish obyektlari o'zlarining mohiyatiga ko'ra qurilgan modellarga qaraganda ancha murakkab (bir necha buyurtma bo'yicha) (2).

Biologik obyektlarni matematik modellashtirish muammosi bo'yicha zamonaviy adabiy manbalarni tahlil qilib, masalan, V. V. Usik va R. B. Slobodskaya (2004) kabi mualliflarning ishlari o'rganildi, ular vertebra tanasining modelini uning geometriyasini hisobga olgan holda taklif qildilar. Bu kasallik yoki shikastlanish natijasida yuzaga kelgan vertebra tanalaridagi o'zgarishlarni tashxislashning aniqligini oshirishga, mutaxassis tomonidan kasallikning rivojlanishini bashorat qilishga va amalga oshirilayotgan terapevtik choralarga javobni o'rganishga imkon berdi.

D. S. Alekseyev (2009), u burun shilliq qavatidagi siliyer hujayralarning siliyer apparati modelini taklif qildi. Shu bilan birga, muallif taklif qilingan model sozlanishi parametrlarga va hatto Siliya tebranishlarining turlariga etarlicha moslashuvchanlikka ega ekanligini ta'kidladi, bu esa hisoblash vositalarining rivojlanishi bilan o'zboshimchalik bilan ko'payishi mumkin bo'lgan modelni yanada takomillashtirish va murakkablashtirishni talab qiladi (3).

B. K. Buzdov (2011) tomonidan biologik to'qimalarni (xususan terini) kriyodestruksiya qilish modeli taklif etilgan, u chiziqli bo'lmagan manbalar bilan ikki o'lchamli muammolarning o'lchamidan mustaqil bo'lgan to'liq raqamli tadqiqotga asoslangan.

Inson homilasining yoshini pastki oyoq-qo'l skeletining bo'laklari bo'yicha baholash uchun A. E. Strizkov (2011) matematik modellar tizimini ishlab chiqdi, bu esa inson homilasining biologik yoshini uning pastki oyoq-qo'lining bo'laklari bo'yicha yuqori aniqlik bilan baholashga imkon beradi (3). Ushbu modellar sud-tibbiyot ekspertizasi amaliyotidan keng amaliy foydalanishni topdi. Shuningdek, ular prenatal ontogenez davrida pastki

oyoq suyaklari o'sishining yosh dinamikasini matematik modellashtirish va oyoq-qo'llarning osteometriyasi natijalariga ko'ra homilaning biologik yoshini aniqlash algoritmini ishlab chiqish uchun asos bo'lib xizmat qildi (6).

O'rganilgan adabiyotlarda yurak-qon tomir tizimiga tegishli turli jarayonlarni modellashtirish bo'yicha ko'plab ishlar mavjud: ba'zi mualliflar (A. ya. Bunicheva, M. A. Menyailova, S. I. Muxin, N. V. Sosnin, A. P. Favorskiy, 2012) inson yurak – qon tomir tizimida qon oqimini raqamli modellashtirish muammosi bilan shug'ullanishgan. gravitatsion ta'sirlar. Ular tomonidan yurakning ishlash modeli va holat tenglamasi taklif qilindi va o'rganildi, ko'p tortishish ortiqcha yuklari sharoitida obyektning mumkin bo'lgan pozitsiyalarini modellashtirish uchun yurak – qon tomir tizimi grafigining modifikatsiyalari ko'rib chiqildi. Boshqalar-S. B. Ponomarev va hammualliflar (2000) mantiqiy algebra formulalari asosida matematik modellar doirasini oldilar va koronar kanal stenozlarining taxminiy lokalizatsiyasini maqbul aniqlik bilan aniqlashga imkon beradigan axborot-tahliliy tizimni ishlab chiqdilar. O'z tadqiqotlarida ular stenoz koronar angioskleroz bilan koronar Siti lezyonini aniqlashning aniqligini oshirish uchun invaziv bo'lmagan stressni keltirib chiqaradigan test ma'lumotlarini qayta ishlashda yuqori axborot texnologiyalaridan samarali foydalanish imkoniyatini aniq ko'rsatdilar. I. B. Buxarov 2005 yilda optimallikning energiya mezonidan foydalangan holda qon aylanish va tashqi nafas olish tizimlarining tarkibiy va funktsional tashkil etilishini o'rganish modelini ishlab chiqdi.

Yana bir olimlar guruhi fizik-texnik funktsional analogiya usuli asosida inson yurak-qon tomir tizimining gidromekanik modelini normal holatga keltirdilar (I. S. Lebedenko, 2009), qorincha septal nuqsoni modeli (E. V. Bloxina, 2009), stenoz modeli, mitral qopqoq etishmovchiligi (O. A. Bashkatova) va mitral qopqoq prolapsasi (A.V. Tomashvili, 2010), Fallo tetradasining modeli (V. N. Kireyeva, 2011) (5).

2012 yilda A. M. Denisov va hammualliflar tomonidan elektrokardiografiyaning teskari muammosini hal qilish asosida aritmiya nuqta o'chog'ining yurak yuzasiga proektsiyasini aniqlash usuli taklif qilindi. Ushbu nuqtaning holati to'g'risidagi ma'lumotlar aritmiya markazini yo'q qilish uchun jarrohlik operatsiyasini muvaffaqiyatli o'tkazish uchun muhimdir. Kerakli proektsiyani A. M. Denisov Laplas tenglamasi uchun Koshi muammosini umumlashtirish bo'lgan elektrokardiografiyaning teskari muammosini hal qilish asosida hisoblab

chiqdi. Elektrokardiografiyaning teskari muammosini hal qilish uchun chegara integral tenglamalari va Tixonovni tartibga solish usuli ishlatilgan.

V. A. Galkin va N. R. Urmantseva (2014) miya qonining gidrodinamik jarayonlarini matematik modellashtirishni taklif qilishdi. Shakllangan matematik model nafaqat qon tomirlari bo'ylab harakatlanishini tasavvur qilish, balki ko'p vaqt talab qiladigan tabiiy tajribalarga murojaat qilmasdan olish mumkin bo'lgan qon aylanish tizimi haqidagi bilimlar bazasini kengaytirishga imkon beradi. Sog'liqni saqlashda ushbu modelni amalga oshiradigan taklif qilingan model va dasturiy ta'minot tizimlaridan foydalanish rivojlanish nuqsonlari va yurak-qon tomir tizimi kasalliklarini tashxislash usullarini o'zgartirish va yaxshilashga imkon beradi.

"Tibbiyot" jurnalining 2013 yilgi ikkinchi sonida S. L. Plavinskiyning jinsiy yo'l bilan yuqadigan infeksiyalar tarqalishini matematik modellashtirish natijalari to'g'risidagi ma'lumotlari chop etilgan. Bunday modelning tibbiyot, xususan epidemiologiya uchun amaliy ahamiyati juda katta. Ushbu model epidemiyaning hajmini, uning rivojlanish xususiyatlarini baholashga va yuqumli jarayonning rivojlanish xususiyatlarini hisobga olgan holda profilaktika strategiyasini belgilashga imkon beradi.

Y. S. Nagornov (2013) elastik xususiyatlarni hisoblash va uning morfologiyasini baholash imkonini beradigan eritrotsitlar modelini taklif qildi. Kelajakda taklif qilingan model tirik obyektlar ichidagi elastik kuchlanishlarni aniqlash uchun atom kuchi mikroskopiyasining hisoblash usullarini yaratishga imkon beradi.

O. yu. Dolganova (2014) o'rganilayotgan tizimning o'sish jarayonida deformatsiyalangan holatini boshqarish imkoniyatini hisobga olgan holda o'sishning mexanik modeli asosida qurilgan o'sayotgan biologik tananing matematik modelini taklif qildi. Ushbu modeldan foydalanish tanglayning konjenital birlashuvi bo'lmagan bemorlarni davolashning jarrohlik bosqichiga qadar, ortopedik apparatlarning bir-biriga yaqinlashishi uchun ajratilgan Palatin bo'laklariga ta'sir qilish muddatini rejalashtirishga, ortopedik qurilmani individual sozlash parametrlarini (o'lchamlari, konfiguratsiyasi, mexanik xususiyatlari) shakllantirishga, davolash natijalarini tasavvur qilishga imkon beradi. boshlanishidan oldin (4).

P. S. Andreyev va hammualliflarning (2014) asarlarida rotatsion fleksion osteotomiyani matematik modellashtirish natijalari keltirilgan, ularning asosida asosiy mushak guruhini hisobga olgan holda kestirib qo'shilishning matematik modeli qurilgan. Topilmalar degenerativ-distروفik jarayonning lokalizatsiya bosqichi va shikastlanishning og'irligini hisobga

olgan holda proksimal femurning fazoviy patologik yo'nalishini uch tekislikli tuzatish kontsepsiyasi asosida zamonaviy rekonstruktiv-restorativ aralashuvlar yordamida Legg-Kalve-Pertes kasalligi bo'lgan bolalar va o'spirinlarni tibbiy rehabilitatsiya qilish natijalarini yaxshilashga imkon berdi (1).

V. Y. Yurchinskiyning (2015) ishi alohida qiziqish uyg'otadi, u diskriminant tahlildan foydalanib, timusning makrotak va mikromorfologik darajadagi dizayn xususiyatlarini aks ettiruvchi matematik modellarni qiyosiy morfologik seriyaning barcha vakillarida yaratdi. Timusning turli morfologik parametrlari o'zaro ta'sirining xususiyatini aniqladi va har bir morfologik ko'rsatkichning umuman timusning morfologik tuzilishiga ta'sir darajasini aniqladi. U olgan diskriminant modellar asosida umurtqali hayvonlarda timus tuzilishidagi farq va o'xshashliklarning ko'lamini aniqlash mumkin bo'ladi, ular tashkil etish darajasi, biologiya xususiyatlari va turli xil yashash sharoitlariga ixtisoslashuv darajasi bilan farq qiladi (6).

Shunday qilib, o'rganilgan adabiyotlarda turli xil biologik obyektlarni matematik modellashtirish muammosi bo'yicha juda ko'p sonli ishlar mavjud, funktsional morfologiyaga kelsak, bu erda bitta ish mavjud, ularning ma'lumotlari bir-biridan farq qiladi, aniqlashtirish va yanada takomillashtirishni talab qiladi.

Bizning davrimizda-fanlarning barcha sohalarini keng kompyuterlashtirish davri, o'rganilayotgan hodisa yoki jarayonning nazariy asoslarini yaratish tegishli kompyuter modelini yaratishni anglatadi. Ushbu jarayon biotibbiyot fanlari uchun alohida ahamiyatga ega, bu erda yangi kompyuter texnologiyalari olim-tadqiqotchilarga yordamga keladi, bu esa haqiqiy fiziologik tajribalarni kompyuter modellashtirish usullari yordamida amalga oshirilgan hisoblash tajribalari bilan almashtirishga imkon beradi. Ularning imkoniyatlari juda keng va ba'zida ular tadqiqotchiga haqiqiy fiziologik tajribalardan ko'ra ko'proq ma'lumot berishi mumkin. Fanning ma'lum bir sohasining nazariy asoslarini ishlab chiqish turli xil empirik faktlarning butun to'plamini umumlashtiradigan mukammal matematik modelni yaratishni va uni kompyuter modeli shaklida amalga oshirishni anglatadi. Ushbu model hisoblash tajribalari yordamida nafaqat haqiqiy fiziologik tajribani takrorlash, balki yangi faktlarni bashorat qilish, inson va hayvonlar organizmiga turli ekstremal ta'sirlarning oqibatlarini bashorat qilish imkonini beradi. Olimning vazifasi nafaqat eksperimental faktlarni to'plash, balki ularni matematik modellar shaklida matematik umumlashtirish. Matematik modellashtirish va hisoblash tajribasi tibbiyotning kelajagi (7).

Xulosa sifatida N. Rashevskiyning (1966) soʻzlaridan iqtibos keltirish kerak: "koʻpgina olimlar uchun bugungi kunda biologik matematikani yaratish masalasi tobora keskinlashib borayotgani tobora Ravshan boʻlib bormoqda, bu biologlar va matematiklarning eng yaqin hamkorligi va toʻliq tushunishni talab qiladi. Tabiiyki, bu yoʻnalishdagi birinchi qadam biologlar tomonidan matematik usullarning mavjud arsenali ularga taqdim etadigan imkoniyatlarni oʻzlashtirishdir. Shundan keyingina biologlarga hayot jarayonining murakkab qonuniyatlarini tushunishga yordam berishga, hujayra osti darajasidan tortib, atrofdagi haqiqiy hayot muhitidagi populyatsiyalar oʻrtasidagi munosabatlarga qadar toʻgʻridan-toʻgʻri yoʻnaltirilgan matematikani yanada rivojlantirish yoʻllarida haqiqiy rivojlanish mumkin.

3.15. Biologiyada evolyutsiya va rivojlanish modellari, biologik tizimlarning tarqalish modellari.

Ilm-fan bilan shugʻullanadigan obyektlar va jarayonlar qanchalik murakkab boʻlsa, ushbu obyektlar va jarayonlarni tavsiflash uchun mos boʻlgan matematik abstraktsiyalarni topish shunchalik qiyin boʻladi. Matematika biologiya, geologiya va boshqa "tavsif fanlari" ga faqat XX asrning ikkinchi yarmida kelgan.

Biologik jarayonlarni matematik tarzda tasvirlashga birinchi urinishlar populyatsiya dinamikasi modellariga tegishli. Matematik biologiyaning ushbu sohasi keyinchalik matematik koʻpburchak boʻlib xizmat qildi, unda biologiyaning turli sohalarida, shu jumladan evolyutsiya, mikrobiologiya, immunologiya va hujayra populyatsiyalari bilan bogʻliq boshqa sohalarda matematik modellar "ishlab chiqildi". Biologiyadagi eng oddiy modellar biologik ishlab chiqarishda shakllantirilgan birinchi maʼlum model — bu XIII asrda Pizadan Leonardoni oʻz asarida keltirgan mashhur Fibonachchi seriyasidir. Bu quyonlar ikkinchi oydan boshlab koʻpaya boshlasa va har oy bir juft quyon sifatida nasl tugʻdirsa, har oyda tugʻiladigan quyon juftlari sonini tavsiflovchi raqamlar seriyasidir.

Qator raqamlar ketma-ketligini ifodalaydi:

0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233 ...

Agar biz ushbu qatorni matematik tarzda tavsiflasak, unda berilgan qatorning har bir keyingi atamasi uchinchi atamadan boshlab oldingi ikkitasining yigʻindisiga teng. Tarixda maʼlum boʻlgan keyingi model — Maltus modeli (1778), bu populyatsiyaning koʻpayishiga mutanosib ravishda koʻpayishini tasvirlaydi. Diskret shaklda bu qonun geometrik progressiya boʻlib, u differentsial tenglama sifatida populyatsiyaning

eksponensial o'sishi modelini ifodalaydi va hech qanday cheklovsiz hujayra populyatsiyalarining o'sishini yaxshi tavsiflaydi. Ushbu eng oddiy modellar matematik modellarning biologik obyektlar bilan solishtirganda qanchalik ibtidoiy ekanligini ko'rsatadi. Shunday qilib, populyatsiya — bu organizmlarning murakkab tashkil etilgan individual shaxslari to'plami. O'z navbatida, har bir organizm organlar, to'qimalar va hujayralardan iborat bo'lib, metabolik jarayonlarni amalga oshiradi, harakat qiladi, tug'iladi, o'sadi, ko'payadi, qariydi, o'ladi va har bir tirik hujayra murakkab heterojen tizim bo'lib, uning hajmi membranalar bilan chegaralangan va hujayra osti organellalarini o'z ichiga oladi va hokazo, biomakromolekulalar, aminokislotalar va polipeptidlarga. Shubhasiz, bunday tizimlar uchun har qanday matematika faqat qo'pol soddalashtirilgan tavsifni beradi. Biologiyada modellar tirik mavjudotlarni tashkil etishning turli darajalarida biologik tuzilmalar, funktsiyalar va jarayonlarni modellashtirish uchun ishlatiladi: molekulyar, hujayra osti, hujayra, organ-tizimli, organizm va populyatsiya-biotsenotik. Shuningdek, turli xil biologik hodisalarni, shuningdek, ayrim shaxslar, populyatsiyalar va ekotizimlarning yashash sharoitlarini modellashtirish mumkin. Biologiyada model turlari biologiyada asosan uch turdagi modellar qo'llaniladi:

1. Biologik. Bizning kursimizda biz ularni ko'rib chiqmaymiz.

Fizik-kimyoviy. Fizik-kimyoviy modellar fizik yoki kimyoviy vositalar yordamida biologik tuzilmalar, funktsiyalar yoki jarayonlarni ko'paytiradi. XIX asrning 60-yillaridan boshlab, hujayralar tuzilishi va ba'zi funktsiyalarining fizik-kimyoviy modelini yaratishga urinishlar qilingan. Shunday qilib, 1867 yilda nemis olimi Traube tirik hujayraning o'sishiga taqlid qildi va 1907 yilda frantsuz fizigi S. Ledyuk suv o'tlari va qo'ziqorinlarga o'xshash tuzilmalarni oldi.

Keyinchalik yanada murakkab modellar elektrotexnika va elektronika tamoyillariga asoslangan edi. Masalan, elektrofiziologik tadqiqotlar ma'lumotlari asosida asab hujayrasida, uning jarayonida va sinapsda bioelektrik potentsiallarni modellashtiradigan elektron sxemalar qurildi. Tirik organizmlar yoki ularning organlari va hujayralari mavjudligining fizik-kimyoviy sharoitlarini modellashtirishda ham yutuqlarga erishildi: organizmning ichki muhitini taqlid qiladigan va tanadan tashqarida o'stirilgan izolyatsiya qilingan organlar yoki hujayralar mavjudligini qo'llab-quvvatlaydigan noorganik va organik moddalar eritmalari (Ringer, Lokk, Tirod va boshqalar eritmalari) tanlandi. Biologik membranalarning modellari ionlarni tashish jarayonlarining fizik-kimyoviy asoslarini va unga turli omillarning ta'sirini o'rganishga imkon beradi. O'z — o'zidan

tebranish rejimida eritmalarda sodir bo'ladigan kimyoviy reaksiyalar yordamida ko'plab biologik hodisalarga xos bo'lgan tebranish jarayonlari-differentsiatsiya, morfogennez, murakkab neyron tarmoqlaridagi hodisalar va boshqalar modellashtiriladi.

2. Matematik (mantiqiy va matematik). Matematik modellar eksperiment ma'lumotlari asosida yoki spekulativ, biologik hodisa gipotezasi yoki nazariyasini rasmiy ravishda tavsiflaydi va qo'shimcha eksperimental tekshirishni talab qiladi. Kompyuterda biologik hodisaning matematik modelini "ijro etish" ko'pincha tajribada takrorlash qiyin bo'lgan sharoitlarda o'rganilayotgan biologik jarayonning o'zgarishi xususiyatini taxmin qilishga imkon beradi. Matematik model ba'zi hollarda tadqiqotchiga ilgari ma'lum bo'lmagan ba'zi hodisalarni bashorat qilishga imkon beradi. Masalan, gollandiyalik olimlar Van der Pol va Van der Mark tomonidan taklif qilingan, gevşeme tebranishlari nazariyasiga asoslangan yurak faoliyati modeli, keyinchalik odamlarda aniqlangan yurak ritmining buzilishi ehtimolini ko'rsatdi. Fiziologik hodisalarning matematik modellariga ingliz olimlari A. Xodkin va A. Xakslı tomonidan ishlab chiqilgan asab tolasining qo'zg'alish modellari kiradi. Amerikalik olimlar V. Makkulloq va V. Pitsning asab tarmoqlari nazariyasi asosida neyronlarning o'zaro ta'sirining mantiqiy-matematik modellari qurilmoqda. Differentsial va integral tenglamalar tizimlari biotsenozlarni modellashtirish uchun asosdir (V. Volterra, A. N. Kolmogorov). Yirtqich-o'lja modeli matematik model eng sodda, ya'ni. ikki turdagi "yirtqich-o'lja" tizimi quyidagi taxminlarga asoslanadi:

1) n va m yirtqichlari populyatsiyasining soni faqat vaqtga bog'liq;

2) o'zaro ta'sir bo'lmasa, turlarning soni Maltus modeliga ko'ra o'zgaradi;

shu bilan birga, qurbonlar soni ko'payadi va yirtqichlar soni kamayadi, chunki bu holda ular ovqatlanadigan hech narsa yo'q:

$$\frac{dN}{dt} = \alpha N, \frac{dM}{dt} = -\beta M, \alpha > 0, \beta > 0,$$

bu erda a va b-tug'ilish va o'lim darajasi;

3) yirtqichning tabiiy o'limi va yirtqichning tabiiy tug'ilish darajasi ahamiyatsiz deb hisoblanadi;

4) ikkala populyatsiya sonining to'yinganligi ta'siri hisobga olinmaydi;

5) yirtqichlar sonining o'sish sur'ati yirtqichlar soniga mutanosib ravishda kamayadi cM , $C > 0$ va yirtqichlarning o'sish sur'ati o'lja soniga mutanosib ravishda oshadi dN .

Yuqoridagi taxminlarni hisobga olgan holda biz tenglamalar tizimini olamiz

Lotki-Volterra

$$\frac{dN}{dt} = (\alpha - cM)N ,$$

$$\frac{dM}{dt} = (-\beta + dN)M .$$

Yirtqich va yirtqich populyatsiyalar soni muvozanat holati atrofida davriy tebranishlarni amalga oshiradi. Tebranishlarning amplitudasi va ularning davri $n(0)$, $M(0)$ sonlarining boshlang'ich qiymatlari bilan belgilanadi. Mohiyati juda tushunarli bo'lgan tebranishlar (va ular tabiatda haqiqatan ham kuzatiladi) ikki turlilarning paydo bo'lishini anglatadi populyatsiya tizimlari bir turlilarga qaraganda ancha murakkab jarayonlar. Ikki turdagi o'zaro ta'sirlarning aniqroq matematik tavsiflari ishig'ol qilingan hududlarda populyatsiyalar sonining notekis taqsimlanishini hisobga oladi (ular qisman differentsial tenglamalar tizimiga mos keladi), shaxslarning tug'ilishi va ularning etukligi o'rtasidagi vaqtinchalik kechikish va boshqalar.

3. *Evolyutsiyaning umumiy modellari.* Nazariy populyatsiya genetikasi usullari.

M. Kimuraning betaraflik nazariyasi

1. Klassik populyatsiya genetikasi. Evolyutsiyaning sintetik nazariyasi XX asr boshlarida ishlab chiqilgan. U C. Darvinning tabiiy tanlanish haqidagi ta'limotiga va G. Mendelning genlar haqidagi g'oyalariga, ya'ni irsiy xususiyatlarni uzatishning diskret elementlariga asoslangan. Evolyutsiyaning sintetik nazariyasini shakllantirishda kichik meva pashshasi *Drosophila* katta rol o'ynadi. Aynan shu pashshadagi tajribalar Darvinning foydali o'zgarishlarning bosqichma-bosqich to'planishi va bu o'zgarishlarning merosxo'rliqi haqidagi g'oyasi va Mendeleyev genetikasining diskret tabiati o'rtasidagi qarama-qarshiliklarni yarashtirishga imkon berdi. *Drosophila* tajribalari shuni ko'rsatdiki, mutatsion o'zgarishlar juda kichik bo'lishi mumkin. Sintetik evolyutsiya nazariyasining matematik modellari R. Fisher, J. Xoldan va S. Rayt tomonidan yaratilgan. Asosan, klassik populyatsiya genetikasining ushbu matematik nazariyasi XX asrning 30-yillari boshlarida yakunlandi. Evolyutsiyaning sintetik nazariyasiga ko'ra, progressiv evolyutsiyaning asosiy mexanizmi foydali mutatsiyalarni oladigan organizmlarni tanlashdir. Populyatsiya genetikasining matematik modellari rivojlanayotgan populyatsiyada gen chastotalarining tarqalish dinamikasini miqdoriy jihatdan tavsiflaydi. Modellarining ikkita asosiy turi mavjud:

Deterministik modellar. Deterministik modellar populyatsiya soni cheksiz katta ekanligini ko'rsatadi. Bunday holda, gen chastotalarini

taqsimlashdagi tebranishlarni e'tiborsiz qoldirish mumkin va populyatsiya dinamikasini genlarning o'rtacha chastotalari nuqtai nazaridan tavsiflash mumkin.

Stoxastik modellar. Stoxastik modellar cheklangan populyatsiya populyatsiyalaridagi ehtimollik jarayonlarini tavsiflaydi.

2. Molekulyar evolyutsiya: neytrallik nazariyasi. 1950-1960 yillarda molekulyar biologiyada inqilob yuz berdi.

DNK tuzilishi aniqlandi, genetik kod dekodlandi, olimlar tirik hujayraning molekulyar genetik tizimining umumiy tamoyillarini aniqladilar. Eksperimental ma'lumotlarni tahlil qilib, M. Kimura ushbu tajribalarni Darvin tanlovi orqali qulay mutatsiyalarni tanlash asosida tushuntirishga harakat qilganda, jiddiy qiyinchiliklar paydo bo'lganligini aniqladi.

Ushbu nazariyaning asosiy taxminlari quyidagilardan iborat: molekulyar darajada mutatsiyalar asosan neytral yoki xavfli emas. Ushbu taxmin aminokislotalarni almashtirishning eksperimental ravishda kuzatilgan tezligiga va oqsillarning unchalik muhim bo'lmagan qismlarida almashtirish tezligi makromolekulalarning faol markazlariga qaraganda ancha yuqori ekanligiga mos keladi. Populyatsiya genetikasining matematik usullaridan foydalangan holda, Kimura molekulyar genetika ma'lumotlariga juda mos keladigan bir qator nazariya natijalarini oldi.

Neytrallik nazariyasining matematik modellari sezilarli darajada stoxastikdir, ya'ni nisbatan kam sonli aholi neytral mutatsiyalarni tuzatishda muhim rol o'ynaydi. Kimura nazariyasiga ko'ra, gen uchastkalarining takrorlanishi qo'shimcha, ortiqcha DNK ketma-ketligini hosil qiladi, ular o'z navbatida tasodifiy mutatsiyalar tufayli yanada siljiydi va shu bilan yangi, biologik ahamiyatga ega genlar paydo bo'lishi mumkin bo'lgan xom ashyoni ta'minlaydi.

Neytrallik nazariyasi evolyutsiyaning eng rivojlangan umumiy nazariyalaridan biridir. Shu bilan birga, molekulyar darajadagi evolyutsiyani tavsiflovchi bir qator modellar va tushunchalar mavjud bo'lib, ular asosan neytrallik nazariyasini to'ldiradi.

Biz ulardan eng mashhurlarini ta'kidlaymiz:

Model D. S. Chernavskiy va N. M. Chernavskaya, bu erda yangi biologik ahamiyatga ega oqsilning tasodifiy shakllanishi ehtimoli baholanadi.

Blok-ierarxik evolyutsion tanlov modeli, unga ko'ra yangi uzun genetik matnlar avval tasodifan oldingi evolyutsion davrlarda optimallashtirilgan qisqa matnlardan tuzilgan va tuzilganidan keyin optimallashtirilgan.

Molekulyar genetik boshqaruv tizimlarini tashkil etish va evolyutsiyasining blok-modulli printsipti V. A. Ratner tomonidan asoslanadi. Unga ko'ra, genlar, RNK, oqsillar, genomlar va ularga asoslangan molekulyar boshqaruv tizimlarining evolyutsiyasi bloklarni (modullarni) pastdan yuqoriga birlashtirish orqali amalga oshirildi.

Mutatsiya darajasi o'zgarishi va meros bo'lib o'tishi mumkinligini ko'rsatadigan "mutator genlari" modeli.

IV BOB. STRUKTURAVIY MODELLAR

Modellarni qurishda ko'pincha murakkab obyektning yaxshi namoyish etilgan modellar ma'lum bo'lgan bir qator oddiy quyi tizimlarga bo'lish kerak bo'ladi. Buning uchun tarkibiy modellashtirish usullaridan foydalanish qulay, bu hatto o'rnatish bosqichida ham ko'rib chiqilayotgan obyektning ichki tuzilishini o'rganish, obyektning individual elementlarining xususiyatlarini va ular orasidagi aloqalarni o'rganish orqali hal qilinadigan muammoni soddalashtirishga imkon beradi.

Strukturaviy model nima?

Ko'pincha, amaliy maqsadlarga erishish uchun o'rganilayotgan obyektning bir-biri bilan qandaydir tarzda bog'langan (o'zaro ta'sir qiladigan), shu bilan birga tashqi dunyo bilan bir butun sifatida o'zaro ta'sir qiladigan alohida elementlar to'plami sifatida ko'rib chiqish kerak bo'ladi. Bunday holda, o'rganilayotgan obyektning tizim shaklida taqdim etish va uni modellashtirishda tizimni tahlil qilish usullaridan foydalanish qulay. Kelajakda ishlatiladigan tizimli tahlilning asosiy tushunchalarini eslang. Tizim tahlilining asosiy tushunchalaridan biri sun'iy tizim tushunchasi bo'lib, uni quyidagicha aniqlaymiz.

Tizim-bu maqsadga erishish uchun atrof-muhitdan ajratilgan va atrof-muhit bilan o'zaro ta'sir qiladigan o'zaro bog'liq elementlar to'plami.

Shuni ta'kidlash kerakki, tizimni atrof-muhitdan ajratish uchun muhim belgi bu tizimning atrof-muhit bilan o'zaro ta'sirini uning alohida elementlarining xatti-harakatlaridan qat'i nazar aniqlash qobiliyatidir (bu "o'zaro ta'sir qiluvchi" so'zlari bilan tushuniladi).. butun kabi"). Tadqiqotchi tizimni muhitdan ajratib turadi, u o'z elementlarini belgilangan maqsadga muvofiq muhitdan ajratib turadi. Bu erda atrof-muhit deganda, xususiyatlarining o'zgarishi tizimga ta'sir qiladigan barcha obyektlarning, shuningdek, tizimning xatti-harakati natijasida xususiyatlari o'zgargan obyektlarning yig'indisi tushuniladi.

Yuqoridagi ta'riflardan tadqiqotchining roli qanchalik muhimligini ko'rish mumkin-u maqsadlarni shakllantiradi, tizimni ta'kidlaydi va muhitni belgilaydi. Shu bilan birga, u o'zini atrof-muhit bilan bog'lashi va izolyatsiya qilingan tizimlarni qurishi, o'zini tizimga kiritishi va uning ishlashiga (adaptiv tizimlarga) ta'sirini hisobga olgan holda qurishi, shuningdek tizimni ochiq yoki rivojlanayotgan deb hisoblagan holda o'zini tizimdan ham, muhitdan ham ajratib turishi mumkin. Asosan, tadqiqotchini tizim yoki muhitning elementi deb hisoblash mumkin emas, ammo ba'zi

mualliflarning fikriga ko'ra, tadqiqotchining qo'shimcha kiritilishi tizimlarni qurish va ularni tasniflashda yordam beradi.

Tizimlarni tavsiflash uchun tizim tahlilida to'rtta asosiy model ko'rib chiqiladi. Agar tizimning ichki tuzilishi noma'lum bo'lsa (yoki tadqiqotchini qiziqitmasa), unda "qora quti" modeli qo'llaniladi. Ushbu modelda tizimlar "quti" ning ichki tarkibi to'g'risida ma'lumotga ega emas (yoki aniq shaklda ishlatilmaydi) (shuning uchun u "qora" deb nomlanadi), faqat atrof-muhit bilan kirish va chiqish aloqalari o'rnatiladi. Odatda bu kirish va chiqish parametrlarining ikkita to'plamini belgilashga to'g'ri keladi, ammo ular o'rtasida hech qanday munosabatlar o'rnatilmaydi. "Qora quti" modeliga misol sifatida ba'zi bir murakkab obyektning eksperimental o'rganish mumkin, bunda eksperimentator obyektning kirish parametrlarini o'zgartirib, chiqishda uning turli xil xususiyatlarini oladi.

Shubhasiz, "qora quti" modeli yordamida tizimning ichki tuzilishini o'rganish mumkin emas; ikkinchisidan foydalanish faqat yangi obyektning o'rganishning dastlabki bosqichlarida oqlanishi mumkin. Buning uchun yanada rivojlangan modellar kerak. Ushbu modellardan biri bu tizim qaysi elementlar va quyi tizimlardan iboratligini tavsiflovchi tizim tarkibi modelidir. Bunday holda, tizimning elementlari bo'linmaydigan qismlarga tayanadigan qismlar deb ataladi; bir nechta elementlardan tashkil topgan qismlar quyi tizimlar deb ataladi. Masalan, agar biz mashinani tizim sifatida ko'rib chiqsak, unda uning quyi tizimini boshqarish tizimi deb hisoblash mumkin, ikkinchisining elementlari — rul, pedallar va boshqalar.

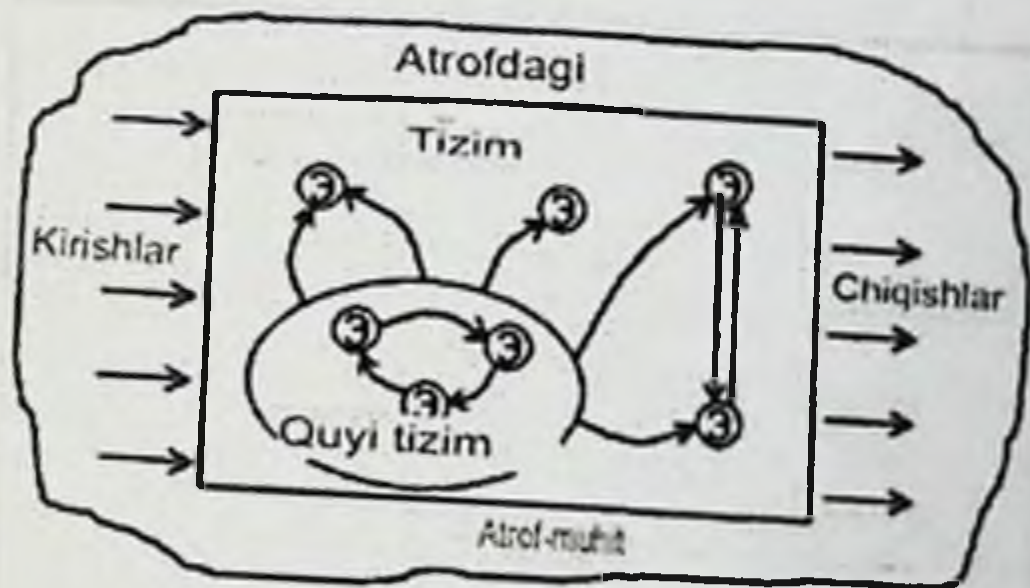
Tizim tarkibi modelini yaratishning murakkabligi uning noaniqligidadir. Buni quyidagicha tushuntirish mumkin. Birinchidan, "elementarlik" tushunchasini turli yo'llar bilan aniqlash mumkin. Ikkinchidan, kompozitsion model (boshqa har qanday model kabi) maqsadli bo'lib, turli maqsadlar uchun bir xil obyekt turli qismlarga bo'linishni talab qilishi mumkin. Uchinchidan, butunning har qanday bo'linishi nisbiydir. Masalan, avtomobilning tormoz quyi tizimini shassiga ham, boshqaruv quyi tizimiga ham bog'lash mumkin.

Ko'pgina hollarda, tizim tarkibi modeli uni tavsiflash uchun etarli emas. Tizimning tarkibini bilish etarli emas, bundan tashqari, munosabatlar deb ataladigan alohida elementlar o'rtasida aloqalarni o'rnatish kerak. Maqsadga erishish uchun zarur va etarli bo'lgan elementlar o'rtasidagi munosabatlar to'plami tizim tuzilishi modeli deb ataladi. Tuzilishni tavsiflashda asosiy qiyinchilik (munosabatlar ro'yxati) ko'rib chiqilayotgan maqsadga nisbatan eng muhim bo'lgan bog'lanishlarning cheklangan sonini asoslashdir. Masalan, yerga yaqin kosmosda harakatlanadigan mexanik

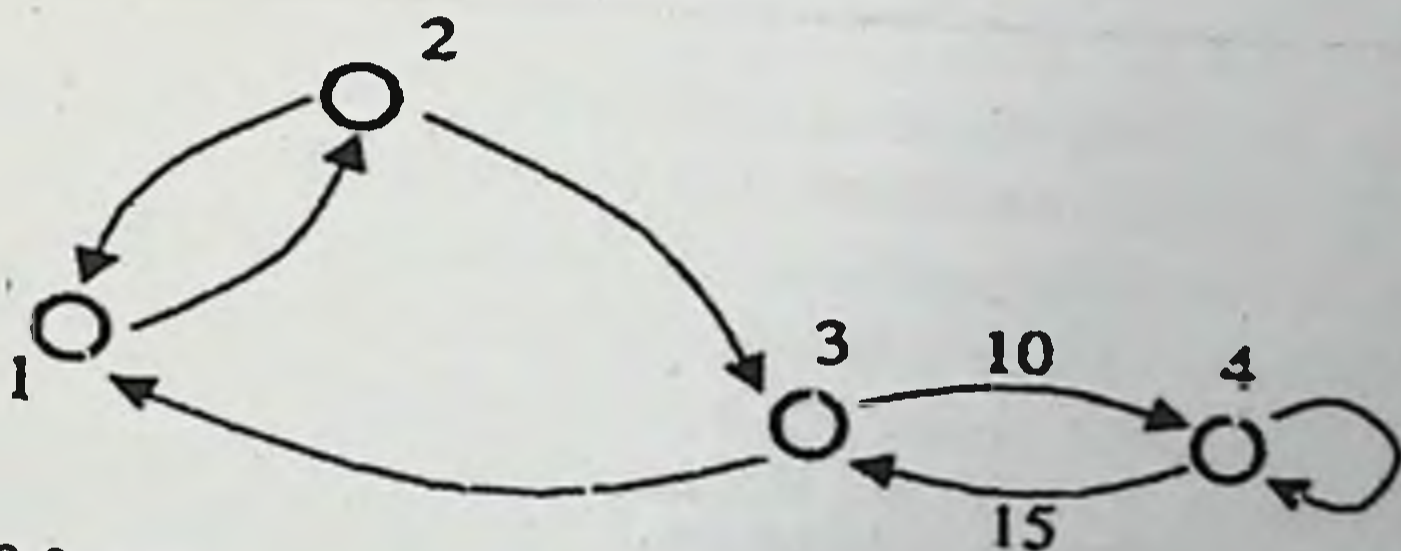
tizimni modellashtirishda odatda alohida moddiy nuqtalarning (elementlarning) o'zaro tortishish kuchlari hisobga olinmaydi, lekin erga tortishish kuchi (munosabatlar) hisobga olinadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, tizimning tuzilishi mavhum modeldir, chunki u elementlarning o'zi emas, balki faqat elementlar orasidagi aloqalarni gapirishning ma'nosi yo'qligi aniq). Biroq, ba'zi hollarda, masalan, munosabatlar matematik formulalar yoki tenglamalar shaklida berilgan bo'lsa, tuzilish modelini nazariy jihatdan alohida o'rganish mumkin.

Endi tizimning uchta rasmiy modeli — "qora quti", tarkibi va tuzilishi — va ularni birlashtirib, tizimning strukturaviy diagrammasi yoki "oq quti" modeli deb ataladigan yana bir modelni olish mumkin. Ushbu model tizimning barcha elementlarini, tizim ichidagi elementlar va tizimning (yoki uning alohida elementlarining) atrof-muhit bilan aloqasi (tizimning kirish va chiqishi) o'rtasidagi barcha aloqalarni o'z ichiga oladi. 3.1. E'tibor bering," barcha " elementlar va aloqalar, albatta, ishlab chiqilayotgan modelning maqsad va vazifalari nuqtai nazaridan ahamiyatli deb tushuniladi.



Rasm: 3.1. Tizimning blok sxemasi



Rasm: 3.2. Misol grafigi

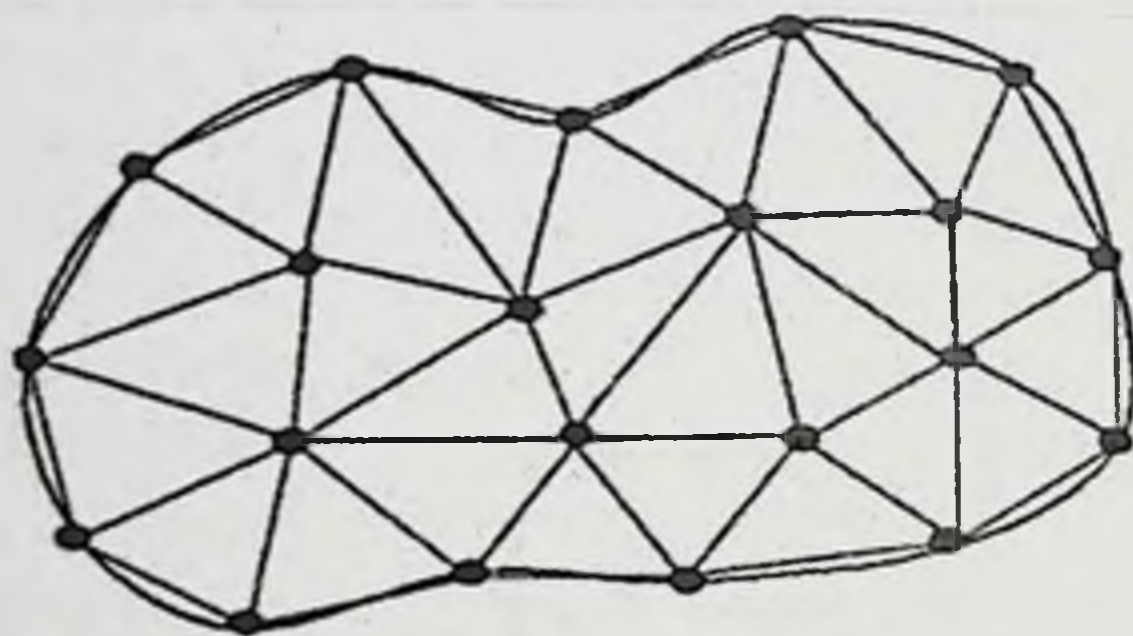
Shuni ta'kidlash kerakki, tizimning blok diagrammasi tarkibiy tarkibdan ajratilgan rasmiy modeldir. Bu uni maxsus matematik obyekt

sifatida ko'rib chiqishga va uning xususiyatlarini o'rganishga imkon beradi. Bunday obyekt grafik deb ataladi. Shaklda 3.2 grafaning misoli keltirilgan.

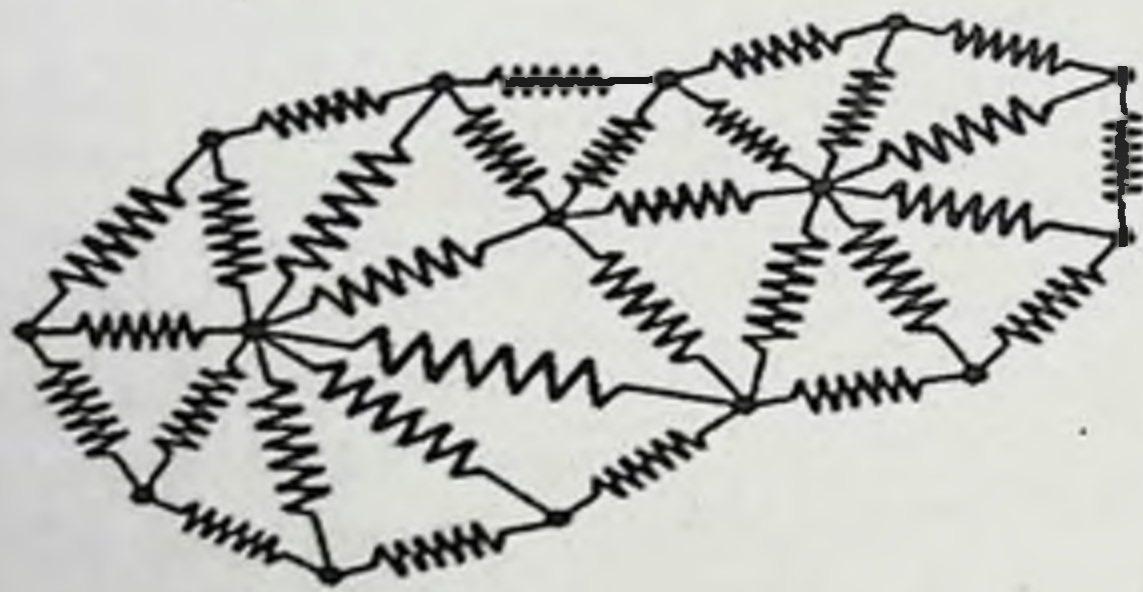
Grafik yoki blok diagrammasi ma'lum bir tarkib bilan to'ldirilishi kerak bo'lgan rasmiy modeldir. Shundan keyingina blok diagrammasi o'rganilayotgan obyektning strukturaviy modeliga aylanadi.

Shunday qilib, strukturaviy modelning quyidagi ta'rifini berish mumkin.

Tizimning strukturaviy modeli-bu ma'lum bir tizimning o'ziga xos elementlari, ushbu elementlar o'rtasidagi zarur va etarli munosabatlar va tizim va atrof-muhit o'rtasidagi aloqalar to'plami.



Rasm: 3.3. Mutlaqo qattiq jismning strukturaviy modeli



Rasm: 3.4. Elastik tananing strukturaviy modeli

Ushbu ta'rifni tushuntirib beradigan strukturaviy modelni qurish misolini ko'rib chiqing. Mutlaqo qattiq jismning strukturaviy modelini yaratish zarur bo'lsin (rasm. 3.3). Eslatib o'tamiz, harakatlanayotganda mutlaqo qattiq jism shakli va hajmini o'zgartirmaydi. Shuning uchun bunday tanani to'g'ri chiziqli, vaznsiz, deformatsiyalanmaydigan novdalar bilan bog'langan moddiy nuqtalar (elementlar) to'plami sifatida tasavvur qilish mumkin.

Deformatsiyalanadigan, masalan, elastik tananing harakatini tavsiflashda strukturaviy model yanada murakkablashadi. Keyin deformatsiyalanmagan novdalar o'miga turli xil elastik xususiyatlarga ega

buloqlar elementlar (moddiy nuqtalar) orasidagi bog'lanish vazifasini bajarishi mumkin (rasm. 3.4).

Ushbu tarkibiy modelda elementlar o'rtasida zarur va etarli munosabatlarni olish uchun massalarning tana hajmiga taqsimlanishidan tashqari, buloqlarning qattqliklarining taqsimlanishini hisobga olish kerak, shunda ikkinchisining kombinatsiyasi haqiqiy tananing elastik xususiyatlarini tavsiflaydi.

Ushbu misoldan ko'rinib turibdiki, strukturaviy modellashtirish juda murakkab tizimlarning xatti-harakatlarini tasvirlashga imkon beradi. Shu bilan birga, tizim qanchalik murakkab bo'lsa, strukturaviy modellashtirish shunchalik samarali bo'ladi (va ba'zi hollarda bu shunchaki zarur). Masalan, qattiq jismning tarjima harakatini tavsiflashda strukturaviy model, qoida tariqasida, kerak emas, chunki bu holda tanani massasi tana massasiga teng bo'lgan bitta moddiy nuqta sifatida ifodalash mumkin. Yuqorida muhokama qilingan boshqa misollarda strukturaviy model o'zaro ta'sir qiluvchi eng oddiy elementlardan foydalangan holda ancha murakkab mexanik tizimlarning xatti-harakatlarini tasvirlashga yordam beradi. Ba'zi mexanik tizimlar uchun strukturaviy modellashtirish ularning xatti-harakatlarini tasvirlashning deyarli yagona usuli hisoblanadi. Bu, masalan, tarkibiy va heterojen materiallarning (kompozitlar, polimerlar, keramika va boshqalar) xatti-harakatlarini modellashtirishga tegishli.

Shuni ta'kidlash kerakki, tizimning strukturaviy sxemasida mavjud bo'lgan ma'lumotlar ko'pincha tadqiqot uchun etarli emas. Shuning uchun grafikalmi modellashtirishda yordamchi vosita sifatida ko'rib chiqish kerak. Strukturaviy modellashtirishda asosiy narsa kirish, ichki va chiqish parametrlari o'rtasida aniq funktsional aloqalarni o'rnatishdir. Shuning uchun bu erda matematik modellashtirish usullarining etarlicha keng arsenalisiz ham qilolmaysiz. Ko'pgina hollarda, barcha elementlarning o'zaro ta'sirini hisobga olgan holda, strukturaning har bir elementining xatti-harakatlarini tavsiflovchi tenglamalar tuzish kerak. Bu ko'p sonli o'zgaruvchilar bilan tenglamalar tizimini echish zarurligiga olib keladi. Biroq, zamonaviy kompyuter texnologiyalarining paydo bo'lishi bilan murakkab tizimlarni modellashtirishga bunday yondashuvlar tobora keng tarqalgan.

4.1. Strukturaviy modellarning tasaifi

Strukturaviy modellar to'rt xil: fazoviy, vaqtinchalik, jismoniy va ierarxik.

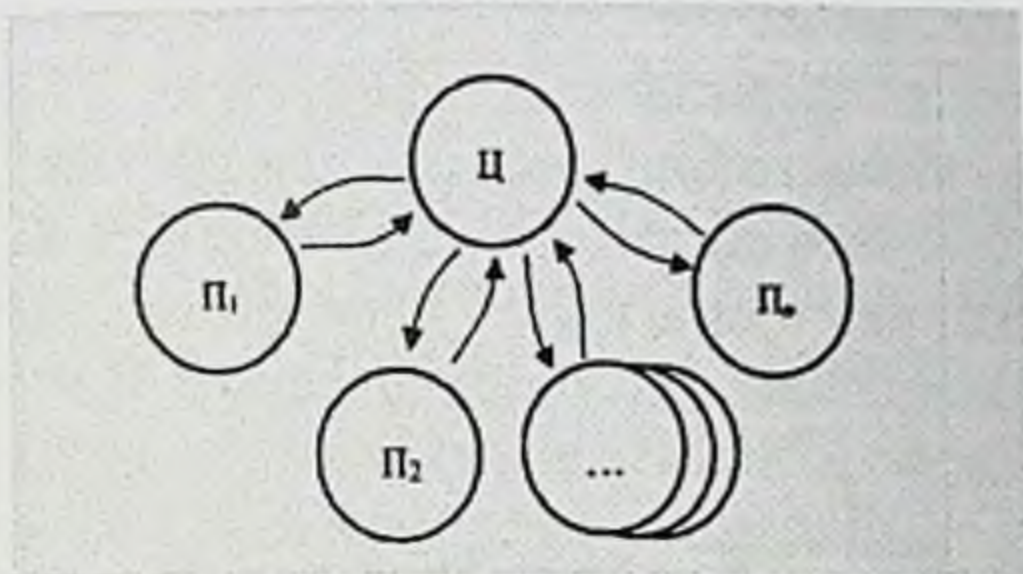
Fazoviy tuzilmalar odatda o'rganilayotgan obyektning geometriyasini va uning alohida elementlarining kosmosdagi joylashishini tavsiflash uchun ishlatiladi. Bunday tuzilmalar tarmoq va matritsa grafiklari yordamida yaxshi tavsiflanadi, ularning tepalari elementlarning joylashishini, qirralari esa ular orasidagi masofani yoki boshqa ulanish sharoitlarini ko'rsatadi. Mekansal strukturaviy modelga misol — bu ba'zi bir aholi punktlarining kanalizatsiya tarmog'ining blok diagrammasi, unda cho'qqilar kollektorlar va quduqlar, qirralar esa o'tish qismining shartli diametrlarini ko'rsatadigan quvurlardir. Mekansal tuzilishning yana bir misoli—bu kontsentratsiyaning tushirish yoki chiqarish joyidan harakatlanishini tavsiflovchi cheklangan elementli panjara.

Vaqtinchalik strukturaviy modellar tarmoq va taqvim rejalashtirishda, shuningdek navbat nazariyasida keng qo'llaniladi. Vaqtinchalik tuzilmalarda ma'lum bir vaqtda sodir bo'layotgan jarayon yoki tizim holatining bosqichlari element sifatida ishlaydi. Bu erda munosabatlar bir bosqichdan ikkinchisiga yoki tizimning bir holatidan boshqasiga o'tish shartlari. Masalan, tarmoq grafiklari (texnologik kartalar) ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi. Ular grafiklar bo'lib, ularning uchlari zarur ishlab chiqarish operatsiyalari bo'lib xizmat qiladi va qirralar yordamida ushbu operatsiyalarning ketma-ketligi va davomiyligi ko'rsatiladi. Navbat tizimlarini modellashtirishda chiziqli grafik (bitta zanjirga cho'zilgan tizim holatlarining ketma-ket to'plami) bo'lgan "o'lim va ko'payish" blok diagrammasidan foydalanish qulay. Tizim unga kiradigan arizalarning tasodifiy oqimiga xizmat qiladi deb ishoniladi. Keyin tizim elementlari o'rtasidagi munosabatlar (uning turli vaqtlardagi holatlari) yangi arizani qabul qilish shartlari bo'lib, ular, masalan, tegishli tasodifiy hodisalar oqimlarining intensivligi bilan tavsiflanishi mumkin.

Fizik strukturaviy modellar oddiy strukturaviy elementlardan foydalangan holda o'rganilayotgan obyektning murakkab fizik xususiyatlarini tavsiflash uchun ishlatiladi.

Boshqariladigan tizimlarni modellashtirish uchun axborotni qayta ishlash va qaror qabul qilishning bir necha darajalari mavjudligini nazarda tutadigan ierarxik tarkibiy sxemalar keng qo'llaniladi. Ierarxik tuzilmaning asosiy vazifasi axborotni qayta ishlash va qaror qabul qilish funksiyalarini alohida elementlar o'rtasida taqsimlashdir. Shaklda 3.5 tizimni boshqarishning ikki darajali fan ierarxik tuzilishiga misol keltirilgan. Ushbu tizimda qolgan elementlarni boshqarish qobiliyatiga ega bo'lgan bitta imtiyozli element mavjud. Ushbu imtiyozli element odatda markaz (Π), qolgan elementlar esa ishlab chiqaruvchilar ($P_i, i=1, \dots, n$).

Ushbu modeldagi munosabatlar markaz va ishlab chiqaruvchilar o'rtasida ma'lumot, pul va moddiy resurslarni almashish shartlari bo'lib xizmat qiladi. Shuni ta'kidlash kerakki, yuqoridagi tarkibiy diagrammada ishlab chiqaruvchilar o'rtasidagi munosabatlar (gorizontal aloqalar) mavjud emas. Tizim elementlarining tengsizligi markaz ishlab chiqaruvchilarga ta'sirlarni shakllantirish qoidalarini belgilaganligi va shu bilan quyi elementlarning harakatlarini kerakli yo'nalishga yo'naltirish qobiliyatiga ega ekanligi bilan namoyon bo'ladi. Ushbu sxemani iqtisodiyotda keng qo'llaniladigan ko'p darajali fan tuzilmasiga umumlashtirish oson.



Rasm:3,5 ikki bosqichli ishonchli blok diagrammasi

Strukturaviy modellashtirishda tahlil va sintez usullari keng qo'llaniladi. Tahlil usullari yordamida ko'rib chiqilayotgan obyekt qismlarga bo'linadi va ushbu qismlarning har biri alohida tekshiriladi. Sintez usullari, aksincha, qismlarni bir butunga birlashtirishga xizmat qiladi. Shuni ta'kidlash kerakki, strukturaviy modellashtirishda tahlil va sintez usullari birgalikda qo'llanilishi kerak. Bu nafaqat butunlikni alohida elementlarga ajratish, balki bu elementlarni yana bir butunlikni hosil qiladigan tarzda birlashtirish ham muhimdir. Shu nuqtai nazardan, sintez tahlilning yakuniy bosqichidir, chunki faqat shu bosqichdan so'ng butunni uning qismlari orqali — butunning tuzilishi shaklida tushuntirish mumkin. Buning sababi shundaki, tahlil paytida butun obyektning muhim xususiyatlari yo'qoladi (demontaj qilingan mashina ketmaydi) va uning alohida elementlari (yirtilgan rul "boshqarmaydi"). Shuning uchun, tizimni tahlil qilish bo'yicha etakchi mutaxassislardan biri R. Akoff ta'kidlaganidek, tahlil natijasi faqat tizim tuzilishini ochish, tizim qanday ishlashini bilish, lekin nima uchun va nima uchun buni tushunmaslikdir. Faqat sintezdan so'ng, har bir elementni va uning rolini butun tizim obyektivi orqali ko'rib chiqish orqali tizimning xatti-harakatlarini tushuntirish mumkin.

Shunday qilib, tahlil va sintezni alohida usullar deb hisoblash mumkin emas. Ular bir-birini to'ldiradi va strukturaviy modellashtirishda birgalikda qo'llanilishi kerak. Faqat bu holda, qurilgan strukturaviy model o'rganilayotgan obyektning asosiy xususiyatlarini belgilangan maqsadlarga muvofiq aks ettiradi.

Endi tahlil va sintez usullarini batafsil ko'rib chiqamiz. Keling, fan va amaliyotda keng qo'llanilgan tahlil usullaridan boshlaylik. Matematikada funktsiyalarni ketma — ket kengaytirish, spektral tahlil, differentsial va integral hisoblash kabi analitik usullar uzoq vaqtdan beri muvaffaqiyatli qo'llanilib kelinmoqda; fizikada — molekulyar dinamika usullari; ishlab chiqarishda-konveyer ishlab chiqarish texnologiyasi.

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, tahlildagi asosiy operatsiya butunni qismlarga ajratishdir. Kelajakda biz ushbu operatsiyani dekompozitsiya deb ataymiz va tizimni alohida elementlarga ajratish usulini tushunamiz. Dekompozitsiya natijasida asl tizim quyi tizimlarga, vazifa kichik vazifalarga va boshqalarga bo'linadi. agar kerak bo'lsa, dekompozitsiya operatsiyasi bir necha marta takrorlanishi mumkin, bu esa tizimning daraxtga o'xshash tuzilmalariga olib keladi.

Parchalanishning asosiy muammosi uning noaniqligidir. Xuddi shu tizimni tadqiqotchining tajribasiga va qo'llaniladigan tahlil metodologiyasiga qarab turli xil quyi tizimlarga bo'lish mumkinligi aniq. Shuning uchun tizimli tahlilda parchalanish jarayonini asoslash uchun maxsus mezonlar mavjud. Ushbu mezonlardan biri parchalanishning to'liqligi bo'lib, u o'z navbatida parchalanish paytida boshlang'ich sifatida olingan tizim modelining to'liqligi bilan bog'liq.

Bo'limda ko'rsatilganidek. 4.1, tizim tahlili tizimning faqat to'rtta rasmiy modelini ko'rib chiqadi: "qora quti", tarkibi, tuzilishi va "oq quti". Shubhasiz, parchalanish uchun faqat oxirgi uchta model mos keladi, bu tizimni uning alohida elementlarining o'zaro ta'siri orqali ko'rib chiqishga imkon beradi. Shuning uchun tizimni tahlil qilish muammolaridan biri bu sun'iy intellekt nazariyasida ramkalar nomini olgan turli xil o'rganilayotgan tizimlar uchun to'liq rasmiy modellar to'plamini to'plashdir (bu erda to'liqlik maqsadga nisbatan ko'rib chiqiladi) [83].

Ba'zi axborot, tashkiliy va ijtimoiy tizimlar uchun ramkalar ma'lum [83]. Biroq, o'zboshimchalik bilan tizim uchun ramkalarni qurish va asoslash qiyin vazifa bo'lib qolmoqda, uning echimi ko'p jihatdan parchalanish muvaffaqiyatiga bog'liq. Masalan, oliy o'quv yurtida (universitetda) pedagogik jarayonni ko'rib chiqing. Bu holda parchalanish uchun ramka K. Marks tomonidan mehnat jarayonini tahlil qilish uchun

"kapital" da taklif qilingan inson faoliyatining rasmiy modeli bo'lishi mumkin (rasm. 4.8). Bu erda elementlar sifatida quyidagilar ta'kidlangan: faoliyat sub 'ekti, faoliyat yo'naltirilgan obyekt va faoliyat jarayonida ishlatiladigan vositalar, shuningdek ular va atrof-muhit o'rtasidagi barcha mumkin bo'lgan aloqalar. Ushbu rasmiy modeldan foydalanib, siz universitetda pedagogik jarayonning modelini yaratishingiz mumkin, uning versiyasi sek. 4.9. Bu erda mavzu universitet o'qituvchisi, obyektlar-talabalar va vositalar — o'qitishning uslubiy, axborot va texnik vositalari (o'rganilayotgan fanlarning o'quv dasturlari, uslubiy va o'quv qo'llanmalari, laboratoriya bazasi va boshqalar). Atrof-muhit uchta element yordamida tavsiflanadi: maktab, universitet va vazirlik, bu o'quv jarayonini tashkil etishga sezilarli ta'sir ko'rsatadi (yuqoridagi tarkibiy modelga kiritilgan elementlar soni ancha ko'p bo'lishi mumkinligi aniq).

Biroq, parchalanishda yana bir mezonni hisobga olish kerak — soddaligi, bu daraxt tuzilishi hajmini kamaytirishni talab qiladi. Shunday qilib, parchalanish paytida to'liqlik va soddalik o'rtasida ma'lum bir murosaga kelish kerak, agar tarkibiy modelga faqat tahlil maqsadiga nisbatan muhim elementlar kiritilgan bo'lsa, erishish mumkin.

Parchalanish darajalari soni (daraxt tuzilishi darajalari) quyidagi sabablarga ko'ra tanlanadi. Daraxt tuzilishining har bir tarmog'i uchun parchalanish keyingi parchalanishni talab qilmaydigan tizim elementlari olinmaguncha amalga oshiriladi. Bunday tarkibiy qismlar elementar deb ataladi. E'tibor bering, tarkibiy tizimning elementar tushunchasi ko'rib chiqilayotgan har bir holatda alohida aniqlanishi kerak. Bunday holda, rasmiylashtirilgan (mezonlar yordamida) va norasmiy (mutaxassislar yordamida) usullardan foydalanish mumkin. Masalan, ba'zi hollarda qattiq muhit mexanikasining ko'p o'lchovli muammosi oddiy (analitik) echimga ega bo'lgan bir o'lchovli muammolar ketma-ketligiga bo'linishi mumkin. Keyin ushbu bir o'lchovli vazifalarning har birini asl tizimning elementar qismi deb hisoblash mumkin.

Tanlangan mezonlar asosida elementar deb hisoblanmaydigan tizimning bir qismi yanada parchalanishi kerak. Bunday holda, turli xil freymlardan foydalanish mumkin. Agar tadqiqotchi barcha freymlarni "saralab" olgan bo'lsa, lekin daraxt tuzilishining biron bir tarmog'ida elementarlikka erishmagan bo'lsa, unda yangi elementlar asos sifatida olingan modelga kiritiladi va parchalanish ular bo'ylab davom etadi. Dekompozitsiya algoritmining batafsil oqim diagrammasi [83] da keltirilgan.

Shuni ta'kidlash kerakki, parchalanish natijasida tarkibiy modellashtirishning faqat birinchi bosqichi, ya'ni tahlil bosqichi amalga oshiriladi. Ushbu bosqichdan so'ng, o'rganilayotgan tizimni alohida elementlarga bo'lish mumkin (yoki asl vazifa — oddiyroq kichik vazifalarga). Biroq, yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, har bir elementning xatti-harakati butun tizimning maqsadlari nuqtai nazaridan ko'rib chiqilishi kerak. Boshqacha qilib aytganda, olingan elementlar to'plami tashqi yaxlitlikdan tashqari (ya'ni atrof-muhitdan ma'lum bir izolyatsiya) ichki yaxlitlikka ega bo'lishi kerak.

Tashqi yaxlitlik "qora quti" modeli bilan yaxshi tasvirlangan, ichki yaxlitlik esa tizim tuzilishi modeli bilan bog'liq, ya'ni elementlar o'rtasidagi munosabatlarni o'rnatish. Buning uchun yig'ish operatsiyasi qo'llaniladi — bir nechta elementlarni bir butunga birlashtirish. Yig'ish natijasi-bu birlik deb ataladigan tizim. Jihozning xususiyatlari nafaqat uning individual elementlarining xususiyatlarining yig'indisi. Birlik alohida-alohida olingan uning biron bir elementida mavjud bo'lmagan xususiyatlarga ega bo'lishi mumkin. Boshqacha qilib aytganda, elementlarni tizimga birlashtirish yangi sifatning paydo bo'lishiga olib keladi, bu birlashmasdan paydo bo'lishi mumkin emas. Jihozda yangi fazilatlarning bunday "to'satdan" paydo bo'lishi paydo bo'lish deb nomlandi (ingliz tilidan, favqulodda-to'satdan paydo bo'ladi). Shuni ta'kidlash kerakki, yangi xususiyatlar elementlar orasidagi o'ziga xos aloqalar tufayli yuzaga keladi. Boshqa aloqalar jihozning boshqa yangi xususiyatlarini berishi mumkin.

M. Arbib tomonidan taklif qilingan misol paydo bo'lish xususiyatining yaxshi namunasi [83]. Uning kirishiga kiradigan har qanday butun sonni 1 ga ko'paytiradigan ba'zi bir raqamli s mashinasi bo'lsin. Ikkita avtomat zanjirga ketma-ket ulanganda, bu xususiyat o'zgarmaydi. Agar siz ikkita bunday mashinani ketma-ket halqaga ulasangiz (rasm. 4.10), keyin olingan agregatda yangi xususiyat paydo bo'ladi: u A va B chiqishlarida ortib boruvchi ketma — ketliklarni hosil qiladi, bunda bitta ketma-ketlik juft sonlardan, ikkinchisi esa toq sonlardan iborat. Materialshunoslik misolida paydo bo'lish xususiyatining yana bir yorqin tasdig'i bo'lishi mumkin. Ma'lumki, kristall panjara turi (atomlarni birlashtirish usuli) materialning qattiqligini aniqlaydi. Bunday holda, bir xil elementlardan tashkil topgan hosil bo'lgan birlikning qattiqligi o'n minglab marta farq qilishi mumkin (grafit va olmos).

Yig'ish paytida sifat jihatidan yangi xususiyatlarning paydo bo'lishi dialektika qonunlaridan biri — miqdorning sifatga o'tish qonunining o'ziga xos, ammo yorqin namoyonidir. Shu bilan birga, jihozning xususiyatlari

uning elementlarining xususiyatlaridan qanchalik ko'p farq qilsa, tizimning tashkil etilishi shunchalik yuqori bo'ladi, deb ishoniladi. Kibernetik U. Eshbi tizim xulq-atvorni tanlashda ko'proq imkoniyatlarga ega ekanligini, uning elementlarining xatti-harakatlarining izchilligi darajasi qanchalik kuchli ekanligini isbotladi. Tizim elementlarining xulq — atvorining izchilligining eng yuqori darajasi — bu nisbatan yosh fanlararo bilim sohasi-sinergetika bilan shug'ullanadigan tizimning o'zini o'zi tashkil etishidir [81] (yunon. synergos birgalikda ishlaydi).

Shunday qilib, yuqorida aytib o'tilganidek, birlashtirishda elementlar o'rtasida aloqalarni o'rnatish, ya'ni tuzilish modelini tanlash katta ahamiyatga ega. Bu shuni anglatadiki, eng umumiy shaklda agregatsiyani ma'lum bir elementlar to'plamida munosabatlarni o'rnatish sifatida aniqlash mumkin. Bunday munosabatlarni o'rnatish turli yo'llar bilan amalga oshirilishi mumkin: matematik bog'liqliklarni qurish, tuzilish, statistik ishlov berish, tasniflash va boshqalar. Natijada turli xil birliklar paydo bo'ladi, ularning asosiylari quyidagilar [83]: konfigurator, klassifikator, operator, statistik va tuzilish. Ushbu birliklarni batafsilroq ko'rib chiqing.

Konfigurator-bu o'rganilayotgan obyektning tavsiflashning sifat jihatidan har xil tillaridan iborat bo'lgan va ushbu tillarning soni minimal, ammo berilgan maqsadni bajarish uchun zarur bo'lgan xususiyatga ega bo'lgan agregat. Shuni ta'kidlash kerakki, konfigurator mumkin bo'lgan eng yuqori darajadagi mazmunli modeldir. Tizimning tavsifi olib boriladigan tillarni sanab o'tib, biz tizim turini va uning asosiy xususiyatlarini aniqlaymiz.

Masalan, radiotexnikada bir xil qurilmani tavsiflash uchun quyidagi konfigurator ishlatiladi: oqim diagrammasi, sxematik diagramma va montaj diagrammasi. Ushbu konfigurator qurilmaning ishlash xususiyatlarini to'liq tavsiflaydi. Ammo, agar radio uskunalarni ishlab chiqarish maqsadiga qo'shimcha ravishda, uni sotish maqsadi qo'yilgan bo'lsa, unda konfiguratorga reklama tilini (marketing, dizayn, narx va boshqalar) qo'shish kerak.

Muhandislik grafikasida har qanday uch o'lchovli jismning sirtini tavsiflash uchun konfigurator sifatida uchta ortogonal proektsiyalar to'plami ishlatiladi. Ularning sonini kamaytirish mumkin emas va ularni ko'paytirish maqsadga muvofiq emas.

Matematik modellashtirishda qanday konfigurator ishlatiladi? Tilni tanlash model turiga bog'liq. Matematik model uchun asosiy til matematik formulalar tili ekanligi aniq. Biroq, 1 va 2-boblarda ta'kidlanganidek, matematik modellashtirishning muhim bosqichlari muammoning mazmunli va kontseptual bayonidir. Mazmunli sahnalashtirish bosqichida

buyurtmachi tomonidan shakllantirilgan tilda muammoning og'zaki bayoni amalga oshiriladi. Kontseptual ishlab chiqarish bosqichida muammoni ko'rib chiqilayotgan obyektни modellashtirishda ishlatiladigan bilim sohalari tilida yozish amalga oshiriladi. Shuning uchun, bu holda konfiguratorni muammoning mazmunli, kontseptual va matematik bayonotlari deb hisoblash mumkin.

Klassifikator sifatida tizim elementlari o'rtasidagi ekvivalentlik munosabatlarini o'rnatadigan birlik, ya'ni sinflarni shakllantirish shartlarini tavsiflash.

Matematik modeling imtihoniga savollar ro'yxati.

1. Ilmiy bilish usullari.
2. Tadqiqot obyekti, gipoteza, analogiya, model
3. Modellarning xususiyatlari
4. Modellashtirish maqsadlari
5. Moddiy, tabiiy va analog modellashtirish.
6. Ideal, intuitiv, ilmiy va ramziy modellashtirish; ilmiy modellashtirish doirasida "model" va "nazariya" tushunchalari.
7. "Matematik modellashtirish" tushunchasi
8. Matematik modellashtirishning afzalliklari
9. "Matematik model" tushunchasi, "mat operatori. modellar"
10. Matematik modellarni modellashtirish obyektining murakkabligiga qarab tasniflash (tizim, strukturaviy model, simulyatsiya modeli)
11. Matematik modellarni model operatoriga qarab tasniflash (tizimning chiziqli va chiziqli bo'lmagan harakati)
12. Matematik modellarni model operatoriga qarab tasniflash (oddiy, murakkab, algoritmik; murakkab operatorni oddiyga qisqartirish shartlari)
13. Matematik modellarni model parametrlariga qarab tasniflash (kirish, chiqish, ichki parametrlar; tashqi muhit ta'sir qilish parametrlari; ekzogen va endogen parametrlar)
14. Matematik modellarni model parametrlariga qarab tasniflash (obyektning sifat va miqdoriy xususiyatlari)
15. Matematik modellarni model parametrlariga qarab tasniflash (parametrlarning noaniqligini tavsiflash variantlari)
16. Matematik modellarni model parametrlariga qarab tasniflash (obyekt holati, kvazistatik, dinamik va statsionar jarayon)
17. Matematik modellarni modellashtirish maqsadlariga qarab tasniflash (tavsiflovchi, optimallashtirish, boshqaruv)
18. Modellarni amalga oshirish usullari. Analitik yondashuv, algebraik va taxminiy iboralar.

19. Modellarni amalga oshirish usullari. Algoritmik yondashuv, raqamli, simulyatsiya usullari.

20. Modellashtirish obyektini tekshirish bosqichi. Maqsad, ish.

21. Modellashtirish muammosining kontseptual bayoni.

22. Modellashtirish muammosining matematik bayoni

23. Olingan matematik modelning to'g'riligini va uning to'g'riligini tekshirish

24. Matmodelning raqamli echimidagi xatolarning tarkibiy qismlari 25. Matematik modelni echishning raqamli usuliga qo'yiladigan talablar

26. Mat echimining raqamli usullari. ular qo'llaniladigan obyektlar bo'yicha modellar

4.2. Dori vositalarining farmakokinetikasi modeli.

Farmakokinetik model

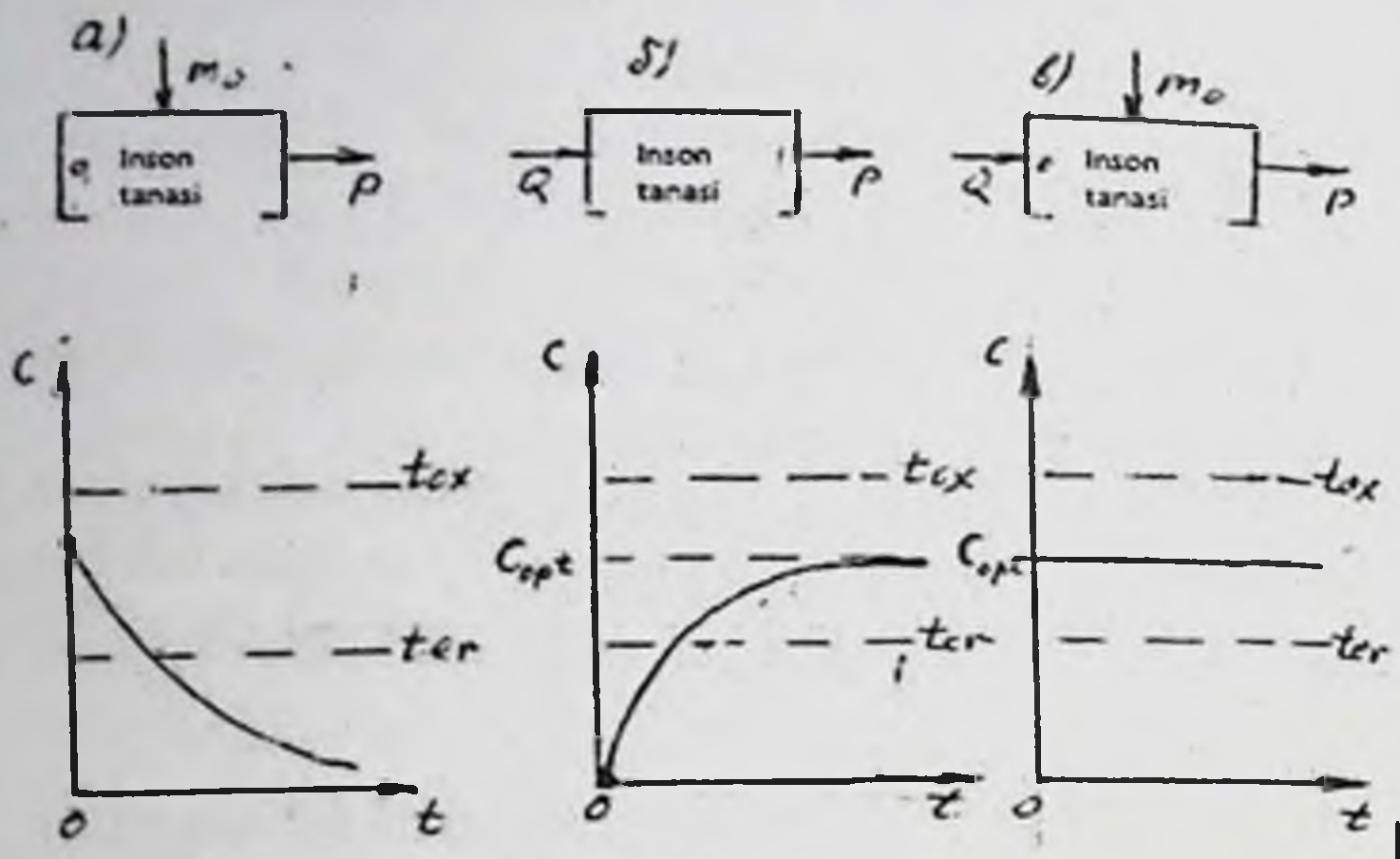
Farmakokinetik model tanaga kiritilgan dori kontsentratsiyasining vaqt o'tishi bilan o'zgarishi kinetikasini tavsiflaydi. Maqsad-dori-darmonlarni qabul qilishning optimal dozasi va chastotasini tanlash, uning tanada (masalan, qonda) kerakli konsentratsiyasini ta'minlash. Dori-darmonlarni qabul qilishning turli usullarini ko'rib chiqing.

1 usul. Preparatni bir marta yuborish

Juda soddalashtirilgan shaklda, turli xil biologik to'siqlarni dorivor moddalar bilan bartaraf etishning murakkab mexanizmidan mavhum, shuningdek, preparatni tanadan inaktivatsiya qilish va olib tashlash mexanizmi tafsilotlariga kirmasdan, biz tanani V hajmli tizim sifatida tasavvur qilamiz (xususan V -qon hajmi), unga kiritilgandan so'ng preparat massasi m , uni olib tashlash boshlanadi. organizm. Preparatni tanadan olib tashlash tezligi p tanadagi massasiga to'g'ridan-to'g'ri proporsionaldir:

$$P = -km$$

bu erda k - preparatni tanadan olib tashlash koeffitsienti va " - " belgisi, massa kamayganligi sababli, kamayib borayotgan qiymatning o'zgarishi tezligi (organizmdagi preparatning massasi) salbiy.



Rasm: 7.5 preparatni kiritishning turli usullarining farmakokinetik modellari: bitta (a), uzluksiz (b), kombinatsiyalangan (C) va inson nanasidagi preparat konsentratsiyasining mos keladigan vaqtinchalik bog'liqliklari grafigi.

Tanadagi dori massasining o'zgarishi tezligi uning yo'q qilish tezligiga teng:

$$\frac{dm}{dt} \text{ va, shuning uchun } \frac{dy}{dt} = P$$

Ushbu differentsial tenglamani yechish

$$\frac{dm}{dt} = -km \int_{m_0}^m \frac{dm}{m} = -\int_0^t k dt, \ln \frac{m}{m_0} = -kt \quad \left(\begin{array}{l} t=0, \\ m=m_0 \end{array} \right)$$

preparatning boshlang'ich massasi. Preparatning tanadagi konsentratsiyasi (masalan, qonda) bu erda V —qon hajmi, m_0 boshlang'ich konsentratsiyasi. Preparatning qondagi konsentratsiyasi kamayib borayotgan eksponent bilan doimiy ravishda kamayadi

$$C = \frac{m}{V} = \frac{m_0}{V} e^{-kt}; c = c_0 e^{-kt}$$

kommulyativ ta'sir (organizmda dori to'planishi) tufayli ortiqcha. (Shunday qilib, 1916 yilda ajoyib amerikalik yozuvchi Jek London vafot etdi. Uremiya xuruji paytida, dahshatli azob-uqubatlarni boshdan kechirganida, u o'ziga morfin dozasini qayta-qayta kiritdi va tasodifan toksiklik darajasidan oshib ketdi. Uzoq vaqt davomida bu o'z joniga qasd qilish deb hisoblangan. Va faqat bitta rus farmatsevti, Jek London ijodining ashaddiy muxlisi buni ishonchli tarzda rad etdi).

2 yo'l. Preparatni doimiy ravishda yuborish

(rasm. 7.5 b) bunday holda, organizmdagi dori massasining o'zgarishi nafaqat uni olib tashlash tezligi bilan belgilanadi P , shuningdek, q ni yuborish tezligi-vaqt birligida tanaga kiritilgan dori miqdori

$$c_0 = \frac{m_0}{V}$$

Ushbu differentsial tenglamani echamiz:

Va bir muncha vaqt o'tgach, u terapevtik darajadan past bo'ladi t_{ter} ter preparat terapevtik ta'sir ko'rsatishni to'xtatadi. Shunday qilib, dori - darmonlarni qabul qilishning bir bosqichli usulining etishmasligi $t_{\text{ter}} < \tau$ terapevtik ta'sirining cheklangan vaqtidir. Shuning uchun, agar preparatning terapevtik ta'sir qilish vaqti τ bo'lsa, terapevtik ta'sirni olish uchun zarur bo'lgan vaqtdan kam bo'lsa, ko'pincha preparatni tanaga qayta kiritish qo'llaniladi (masalan, "ovqatdan keyin kuniga uch marta tabletka"). Biroq, og'ir holatlarda, c_{tok} toksik darajasi past bo'lgan kuchli dorilarni qo'llashda, joriy preparatni takroriy bir marta yuborish xavflidir. Toksik daraja bo'lishi mumkin

$$\frac{dm}{dt} = Q - km \text{ rtyin olamiz } \int_0^m \frac{dm}{Q - km} = \int_0^t dt \left(\frac{t-0}{m=m_0} \right)$$

Yangi o'zgaruvchini kiriting

$$U = Q - km; du = -kdm, dm = -du/k$$

$$\int_0^m \frac{dm}{Q - km} = -\frac{1}{k} \int_0^m \frac{du}{u} = -\frac{1}{k} \ln u = -\frac{1}{k} \ln(Q - km) \Big|_0^m = -\frac{1}{k} \ln \frac{Q - km}{Q}$$

Demak,

$$-\frac{1}{k} \ln \frac{Q - km}{Q} = t; \ln \frac{Q - km}{Q} = -kt; \frac{Q - km}{Q} = e^{-kt};$$

$$\text{Qonda preparatning konsentratsiyasi } m = \frac{Q}{k} (1 - e^{-kt})$$

Vaqtning dastlabki daqiqasida,

$$\text{Qachon } t=0, c=0$$

$$t \rightarrow \infty, e^{-kt} \rightarrow 0$$

Dori-darmonlarni qabul qilish boshlanganidan bir muncha vaqt o'tgach, deyarli doimiy konsentratsiya o'rnatiladi.

$$C = \frac{Q}{kV}$$

Preparatni kiritish tezligini tanlash $Q = kVC_{\text{opt}}$

biz ma'lum vaqtdan so'ng optimal konsentratsiyaning o'rnatilishini ta'minlaymiz. Lekin preparatni qo'llashning uzluksiz usuli bilan faqat ma'lum vaqtdan keyin kerakli natijaga erishish mumkin t (7.5-rasm b). Juda og'ir holatlarda bemor bu vaqt ichida yo'qolishi mumkin. Optimal konsentratsiyani tanada bir zumda ikkita usulni birlashtirish orqali aniqlash mumkin: birinchi va ikkinchi. 3-usul. Preparatni uzluksiz qabul qilishning (2-usul) yuklash dozasini kiritish bilan kombinatsiyasi

(1-usul) (7.5-rasm c) Bu holda dori vositalarini qo'llashning matematik modeli quyidagi shaklni oladi:

$$C = \frac{m_0}{V} e^{-kt} + \frac{Q}{kV} (1 - e^{-kt}) = \frac{Q}{kV} + \frac{1}{V} (m_0 - \frac{Q}{kV}) e^{-kt}$$

Agar siz preparatni qabul qilishning tegishli tezligini va boshlang'ich (yuklash) dozasini tanlasangiz $m_0 = \frac{Q}{k} = V C_{opt}$ doimiy konsentratsiya bir zumda o'rnatiladi

4.3. Simulyatsiya modellashtirish

Simulyatsiya modeli o'zaro ta'sir qiluvchi elementlarning murakkab tizimining xatti-harakatlarini takrorlaydi. Simulyatsiya modellashtirish quyidagi holatlarning mavjudligi bilan tavsiflanadi (bir vaqtning o'zida hammasi yoki ba'zilar):

- modellashtirish obyekti murakkab geterogen tizimdir;
- simulyatsiya qilingan tizim tasodifiy xatti-harakatlar omillarini o'z ichiga oladi;
- vaqt o'tishi bilan rivojlanayotgan jarayonning tavsifini olish talab etiladi;
- siz simulyatsiya natijalarini olish mutlaqo mumkin emas
- kompyuterdan foydalanish.

doimiy konsentratsiya bir zumda o'rnatiladi

Simulyatsiya qilingan tizimning har bir elementining holati kompyuter xotirasida jadvallar shaklida saqlanadigan parametrlar to'plami bilan tavsiflanadi. Tizim elementlarining o'zaro ta'siri algoritmik tarzda tavsiflanadi. Modellashtirish bosqichma-bosqich amalga oshiriladi. Modellashtirishning har bir bosqichida tizim parametrlarining qiymatlari o'zgaradi. Simulyatsiya modelini amalga oshiradigan dastur tizim holatining o'zgarishini aks ettiradi, kerakli parametrlarning qiymatlarini vaqt bosqichlari bo'yicha jadvallar shaklida yoki tizimda sodir bo'layotgan voqealar ketma-ketligida beradi. Modellashtirish natijalarini vizualizatsiya qilish uchun ko'pincha grafik tasvir, shu jumladan animatsion tasvir ishlatiladi.

Deterministik modellashtirish

Simulyatsiya modeli haqiqiy jarayonga taqlid qilishga asoslangan (taqlid). Masalan, koloniyadagi mikroorganizmlar sonining o'zgarishini (dinamikasini) modellashtirish orqali siz ko'plab alohida obyektlarni ko'rib chiqishingiz va ularning har birining taqdirini kuzatib borishingiz, uning yashashi, ko'payishi va hokazolar uchun ma'lum sharoitlarni yaratishingiz mumkin.

Masalan: ma'lum vaqtdan keyin mikroorganizm ikki qismga bo'linadi va boshqa (kattaroq) vaqt oralig'idan keyin u o'ladi. Ta'riflangan shartlarning bajarilishi algoritmik ravishda modelda amalga oshiriladi. Yana bir misol: gazdagi molekulalarning harakatini modellashtirish, bu erda har bir molekula ma'lum bir harakat yo'nalishi va tezligi bilan to'p sifatida ifodalanadi. Ikki molekula yoki molekulaning tomir devori bilan o'zaro ta'siri mutlaqo elastik to'qnashuv qonunlariga muvofiq sodir bo'ladi va osongina algoritmik tarzda tavsiflanadi. Tizimning integral (umumiy, o'rtacha) xususiyatlarini olish modellashtirish natijalarini statistik qayta ishlash darajasida amalga oshiriladi. Bunday kompyuter tajribasi aslida tabiiy tajribani takrorlashga da'vo qiladi. Savolga: "nima uchun buni qilish kerak?" siz quyidagi javobni berishingiz mumkin: simulyatsion modellashtirish mikro hodisalar (ya'ni tizim elementlari darajasida) g'oyalariga kiritilgan farazlarning oqibatlarini" sof shaklda " ajratib olishga imkon beradi, ularni tabiiy eksperimentda muqarrar bo'lgan boshqa omillarning ta'siridan xalos qiladi. biz hatto bilmasligimiz mumkin. Agar bunday modellashtirish jarayonlarni mikro darajada matematik tavsiflash elementlarini o'z ichiga olsa va tadqiqotchi natijalarni tartibga solish strategiyasini topish vazifasini qo'ymasa (masalan, mikroorganizmlar koloniyasi sonini boshqarish), unda simulyatsiya modeli va matematik (tavsiflovchi) o'rtasidagi farq juda shartli bo'lib chiqadi.

Xaridorlarning do'konga kelish jarayoni tasodifiy jarayondir. Har qanday ketma — ket xaridor juftligining kelishi orasidagi vaqt oralig'i ba'zi bir qonun bo'yicha taqsimlangan mustaqil tasodifiy hodisalardir, bu faqat ko'plab kuzatuvlar orqali o'rnatilishi mumkin (yoki modellashtirish uchun uning ba'zi bir ishonchli versiyasi olinadi). Ushbu vazifadagi ikkinchi tasodifiy jarayon, birinchisi bilan hech qanday aloqasi yo'q, bu xaridorlarning har biriga xizmat ko'rsatish muddati.

Ushbu turdagi tizimlarni modellashtirishning maqsadi bir qator savollarga javob olishdir. Nisbatan oddiy savol-yuqoridagi tasodifiy o'zgaruvchilarning taqsimlanishining berilgan qonunlari uchun o'rtacha qancha vaqt turish va navbatga turish kerak? Keyinchalik murakkab savol; navbat kutish vaqtini taqsimlash nima? Bir xil darajada murakkab savol: kirish taqsimotlari parametrlarining nisbati qanday inqiroz yuzaga keladi, unda navbat yangi kirgan xaridorga hech qachon etib bormaydi? Agar siz ushbu nisbatan oddiy vazifa haqida o'ylasangiz, mumkin bo'lgan savollar ko'payadi.



Modellashtirish usuli shunday qilib, to'g'ri xususiyatlarga qaraydi. Bajariladigan matematik formulalar tasodifiy o'zgaruvchilar manbalarini taqsimlash qonuni; bajariladigan raqamli konstantalar v -formulaga kiritilgan empirik parametrlardir. Ushbu muammoni analitik o'rganishda Bi tomonidan ishlatilgan tenglamalar hal qilinmaydi. Shu bilan birga, berilgan tarqatish qonunlari bilan tasodifiy sonni yaratadigan kompyuter dasturlari yordamida taqlid qilingan qoralash sodir bo'ladi. Keyin berilgan modellashtirish maqsadlari bilan belgilanadigan miqdorlarning olingan qiymatlari to'plamini statistik qayta ishlash amalga oshiriladi. Masalan, do'konning turli vaqtlari uchun sotuvchilarning maqbul soni mavjud, bu esa konturlarning etishmasligini ta'minlaydi.

Bu erda ishlatiladigan matematik apparatga matematik statistika usuli deyiladi. "Atrof—muhit tizimlari va jarayonlarini modellashtirish" maqolasida simulyatsiya modellashtirishning yana bir misoli tasvirlangan: xitshnik-jabrlanuvchi tizimining ko'plab modellaridan biri. Ushbu munosabatlardagi turlarning shaxslari tasodifiy elementni o'z ichiga olgan ma'lum qoidalarga muvofiq harakat qilishadi, xitshniklar hayvonni eyishadi, ikkalasi ham farq qiladi va hokazo. bunday modelda hech qanday matematik formulalar mavjud emas, natijalarni statistik qayta ishlashni talab qilmaydi.

Deterministik simulyatsiya modeli algoritmining misoli har qanday dasturlash tilida osongina amalga oshiriladigan "hayot" deb nomlanuvchi tirik organizmlar populyatsiyalari evolyutsiyasining simulyatsiya modelini

ko'rib chiqing. O'yin algoritmini yaratish uchun odatdagi raqamlash 0 dan n gacha bo'lgan N + 1 i qator ustunlarining kvadrat maydonini ko'rib chiqing. qulaylik uchun ekstremal chegara ustunlari va satrlari "o'lik zona" deb belgilanadi, ular qo'shimcha yordamchi rol o'ynaydi.

	0	...	j-1	j	j+1	...	n
0							
...							
j-1			-	-	-		
j			-	X	-		
j+1			-	-	-		
...							
n							

0	1	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	1	1	0
0	0	0	0	0

(I,j) koordinatalari bo'lgan maydonning har qanday ichki hujayrasi uchun 8 ta qo'shnini aniqlash mumkin. Agar hujayra "tirik" bo'lsa, biz uni bo'yab qo'yamiz, agar hujayra "o'lik" bo'lsa, u bo'sh. O'yin qoidalarini o'rnatib. Agar hujayra (i,j) "tirik" bo'lsa va uni uchdan ortiq "tirik" hujayralar o'rab olsa, u o'ladi (aholi sonining ko'payishi natijasida). "Tirik" hujayra, agar uning atrofida ikkitadan kam "tirik" hujayralar bo'lsa (yolg'izlikdan) o'ladi. Agar uning atrofida uchta "tirik" hujayralar paydo bo'lsa, "o'lik" hujayra jonlanadi.

Qulaylik uchun biz ikki o'lchovli qatomi kiritamiz a[0..n, 0..n], uning elementlari mos keladigan hujayra bo'sh bo'lsa 0 va hujayra "tirik" bo'lsa 1 qiymatini oladi. Keyin (i,j) koordinatali hujayraning holatini aniqlash algoritmini quyidagicha aniqlash mumkin:

S := A[I - 1, J - 1] + A[I - 1, J] +
 + A[I - 1, J + 1] + A[I + 1, J - 1]
 + A[I + 1, J] + A[I + 1, J + 1] +
 + A[I, J + 1] + A[I, J - 1];

If (A[I, J] = 1) And ((S > 3) Or
 (S <)) Then B[I, J] := 0;

If (A[I, J] = 0) And (S = 3)
 Then B[I, J] := 1;

Bu erda qator[0..n, 0..n] keyingi bosqichda maydon koordinatalarini aniqlaydi. I = 1 dan n - 1 gacha va j = 1 dan n - 1 gacha bo'lgan barcha ichki hujayralar uchun yuqorida aytilganlar to'g'ri. E'tibor bering, keyingi avlodlar xuddi shunday aniqlanadi, faqat qayta tiklash tartibini amalga oshirish kerak:

For I := 1 To N - 1 Do

For J := 1 To N - 1 Do

A[I, J] := B[I, J];

Display ekranida maydon holatini matritsada emas, balki grafik shaklda ko'rsatish qulayroq. O'yin maydonining dastlabki konfiguratsiyasini o'rnatish tartibini aniqlash kifoya. Hujayralarning dastlabki holatini tasodifiy aniqlashda algoritm mos keladi

For I := 1 To K Do

Begin K1 := Random(N - 1);

K2 := Random(N - 1) + 1;

A[K1, K2] := 1

End;

Foydalanuvchi uchun dastlabki konfiguratsiyani o'zi o'rnatishi qiziqroq, uni amalga oshirish oson. Ushbu model bilan o'tkazilgan tajribalar natijasida, masalan, o'zgarishsiz qolish yoki ma'lum bir davr bilan konfiguratsiyasini o'zgartirish orqali hech qachon o'lmaydigan tirik organizmlarning barqaror joylashishini topish mumkin. Mutlaqo beqaror (ikkinchi avlodda vafot etgan) - bu "xoch"ning joylashishi.

Uslubiy tavsiyalar

Asosiy informatika kursida talabalar "dasturlashga kirish" bo'limi doirasida simulyatsiya qilingan "hayot" modelini amalga oshirishlari mumkin. Simulyatsiyani yanada puxta o'zlashtirish universitetlarda informatika fanining ixtisoslashgan yoki elektiv kursida amalga oshirilishi mumkin. Keyinchalik, bu variant haqida gap boradi.

Tadqiqotning boshlanishi-tasodifiy jarayonlarni simulyatsiya qilish bo'yicha ma'ruza. Tibbiyot universitetlarida ehtimollik nazariyasi va matematik statistika tushunchalari informatika kursiga endigina kiritila boshlandi va o'qituvchi dunyoqarash va matematik madaniyatni shakllantirish uchun eng muhim bo'lgan ushbu materialga o'zi kirishga tayyor bo'lishi kerak. Biz muhokama qilinayotgan tushunchalar doirasiga elementar kirish haqida gapirayotganimizni ta'kidlaymiz; buni 2-4 soat ichida qilish mumkin.

Keyin biz kompyuterda berilgan taqsimot qonuni bilan tasodifiy sonlar ketma-ketligini yaratish bilan bog'liq texnik masalalarni muhokama qilamiz. Shu bilan birga, har bir universal dasturlash tilida 0 dan 1 gacha tasodifiy sonlar segmentida teng taqsimlangan sensor mavjudligiga ishonishingiz mumkin. Ushbu bosqichda uni amalga oshirish tamoyillari haqidagi murakkab savolga kirish maqsadga muvofiq emas. Mavjud

tasodifiy raqamlar sensorlariga tayanib, qanday qilib tartibga solish mumkinligini ko'rsatamiz,

a) har qanday segmentdagi teng taqsimlangan tasodifiy sonlar generatori $[a, b]$;

b) deyarli har qanday taqsimot qonuni uchun tasodifiy sonlar generatori (masalan, intuitiv aniq "tanlash" usulidan foydalanish).

Yuqorida tavsiflangan navbatchilik vazifasini ko'rib chiqishni navbatchilik muammolarini hal qilish tarixini muhokama qilish bilan boshlash tavsiya etiladi (erlangning telefon stantsiyasida so'rovlarga xizmat ko'rsatish vazifasi). Keyin bitta sotuvchi bilan do'konda navbatni shakllantirish va tekshirish misolida shakllantirilishi mumkin bo'lgan eng oddiy vazifani ko'rib chiqish kerak. E'tibor bering, kirishda tasodifiy o'zgaruvchilarning taqsimlanishini modellashtirishning birinchi bosqichida siz teng ehtimolga ega bo'lishingiz mumkin, bu Real bo'lmasa ham, bir qator qiyinchiliklarni olib tashlaydi (tasodifiy sonlarni yaratish uchun siz dasturlash tiliga o'rnatilgan sensordan foydalanishingiz mumkin).

Biz talabalarning e'tiborini ushbu turdagi tizimlarni modellashtirishda birinchi navbatda qanday savollar berilishiga qaratamiz. Birinchidan, ba'zi tasodifiy o'zgaruvchilarning o'rtacha qiymatlarini (matematik taxminlarni) hisoblash. Masalan, peshtaxtada navbatda turish uchun o'rtacha vaqt qancha? Yoki: xaridorni kutish uchun sotuvchi tomonidan sarflangan o'rtacha vaqtni toping.

O'qituvchining vazifasi, xususan, tanlangan o'rtacha ko'rsatkichlar o'zlari tasodifiy o'zgaruvchilar ekanligini aniqlashdir; bir xil hajmdagi boshqa namunada ular boshqa qiymatlarga ega bo'ladi (katta hajmdagi namunalar bir-biridan unchalik farq qilmaydi). Bundan tashqari, variantlar mumkin: ko'proq tayyorlangan auditoriyada berilgan ishonch ehtimolliklari uchun tegishli tasodifiy o'zgaruvchilarning matematik taxminlari mavjud bo'lgan ishonch intervallarini baholash usulini ko'rsatish mumkin (matematik statistikadan ma'lum bo'lgan usullar asoslashga urinmasdan). Kamroq tayyorlangan auditoriyada siz o'zingizni faqat empirik bayonot bilan cheklashingiz mumkin: agar teng hajmdagi bir nechta namunalarda o'rtacha qiymatlar ma'lum bir o'nlik belgiga to'g'ri kelgan bo'lsa, unda bu belgi to'g'ri bo'lishi mumkin. Agar modellashtirish kerakli aniqlikka erisha olmasa, namuna hajmini oshirish kerak.

Matematik jihatdan yanada ko'proq tayyorlangan auditoriyada savol tug'ilishi mumkin: uning kirish parametrlari bo'lgan tasodifiy o'zgaruvchilarning berilgan taqsimotlari uchun statistik modellashtirish natijalari bo'lgan tasodifiy o'zgaruvchilarning taqsimlanishi qanday? Bu

holda tegishli matematik nazariyani taqdim etishning iloji yo'qligi sababli, biz o'zimizni empirik usullar bilan cheklashimiz kerak: yakuniy taqsimotlarning gistogrammalarini qurish va ularni bir nechta tipik taqsimot funksiyalari bilan taqqoslash.

Ushbu modellashtirishning dastlabki ko'nikmalarini ishlab chiqqandan so'ng, biz tasodifiy hodisalarning kirish oqimlari, masalan, Poisson bo'ylab taqsimlangan yanada Real modelga o'tamiz. Bu talabalardan belgilangan taqsimot qonuni bilan tasodifiy sonlar ketma-ketligini yaratish usulini qo'shimcha ravishda o'zlashtirishni talab qiladi. Ko'rib chiqilgan vazifada, navbatlar haqidagi har qanday murakkab vazifada bo'lgani kabi, vaqt o'tishi bilan navbat cheksiz o'sib boradigan muhim vaziyat yuzaga kelishi mumkin. Parametrlardan biri o'sib borishi bilan tanqidiy vaziyatga yaqinlashishni modellashtirish eng malakali talabalar uchun qiziqarli tadqiqot vazifasidir.

Navbat muammosi misolidan foydalanib, bir vaqtning o'zida bir nechta yangi tushunchalar va ko'nikmalar ishlab chiqiladi:

- * tasodifiy jarayonlar haqida tushunchalar;
- * simulyatsiya modellashtirish tushunchalari va eng oddiy ko'nikmalari;
- * optimallashtirish simulyatsiya modellarini yaratish;
- * ko'p mezonli modellarni yaratish (do'kon egasining manfaatlari bilan birgalikda xaridorlarga eng oqilona xizmat ko'rsatish muammolarini hal qilish orqali).

4.4. Volterning modellari. Farmakokinetik model

Volter Modeli

Ikkinchi misol sifatida, V. Volterra tomonidan shaxslar sonining davriy o'zgarishini tushuntirish uchun taklif qilingan "yirtqich — o'lja" klassik volterrov modelini ko'rib chiqing. Model birinchi marta ishda nashr etilgan. Yirtqichlar va yirtqichlar, masalan, bo'rilar va quyonlar, ba'zi yopiq joylarda yashasin. Quyonlar har doim etarli miqdorda mavjud bo'lgan o'simlik ovqatlarini iste'mol qiladilar. Bo'rilar faqat quyonlarni eyishi mumkin. Biz quyonlar (yirtqichlar) sonini — x , bo'rilar (yirtqichlar) sonini — y ni belgilaymiz. Quyonlarda oziq-ovqat miqdori cheksizligi sababli, ular soniga mutanosib ravishda ko'payadi deb taxmin qilish mumkin: agar quyonlarning tug'ilish darajasi ularning o'limidan oshsa, u holda $g > 0$. Ifoda (5.24) birinchi darajali avtokatalitik reaksiyaga mos keladi. Quyonlarning kamayishi quyonning bo'ri bilan uchrashish ehtimoliga mutanosib bo'lsin, ya'ni. Bimolekulyar reaksiyalarga o'xshashlik bilan

taxmin qilish mumkin, bu erda yangi molekulaning paydo bo'lish ehtimoli ikki molekulaning uchrashish ehtimoliga mutanosib bo'lib, bo'rilar ϵ_x tezroq o'sib boradi, ularning quyonlar bilan uchrashuvlari qanchalik tez-tez sodir bo'lsa, ya'ni X ga mutanosib. Bundan tashqari, bo'rilar ϵ_y o'lim jarayoni sodir bo'ladi va o'lim darajasi ularning soniga mutanosibdir. Ushbu mulohazalar o'lja quyonlari sonining o'zgarishi uchun tenglamalar tizimiga olib keladi x va yirtqich bo'rilar y :

$$E_x X \quad (5.24)$$

Tizim ikkita statsionar echimga ega. Ulardan biri nolga teng: $(0, 0)$ u003d 0. Chiziqli barqarorlik tahlili shuni ko'rsatadiki, bu nuqta har doim egar. Keling, tenglamalar tizimi (5.25) o'zgaruvchilarning fazaviy tekisligida "markaz" turidagi nolga teng bo'lmagan maxsus nuqtaga ega ekanligini ko'rsatamiz. Ushbu nuqtaning koordinatalari:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(\epsilon_x - \gamma y); \\ \frac{dy}{dt} = -y(\epsilon_y - \delta x). \end{cases} \quad (5.25)$$

Xo'sh, barcha parametrlar qanday? $\epsilon_x, \epsilon_y, \delta$ musbat, nuqta (\bar{x}, \bar{y}) faza tekisligining musbat kvadrantida joylashgan. Ushbu nuqta yaqinidagi tizimni linearizatsiya qilish:

$$\bar{x} = \frac{\epsilon_y}{\delta}; \quad \bar{y} = \frac{\epsilon_x}{\gamma}.$$

Ushbu tenglamalardagi koeffitsientlar (5.18) ga muvofiq tizim tenglamalarining o'ng tomonlarining qisman hosilalari (5.25) formulalari orqali ifodalanadi:

$$\begin{cases} \frac{d\xi}{dt} = a\xi + b\eta; \\ \frac{d\eta}{dt} = c\xi + d\eta. \end{cases}$$

Bu yerdami ξ, η - raqamlarning ularning statsionar qiymatlaridan og'ishi x, y :

$$a = \epsilon_x - \gamma\bar{y}; \quad b = -\gamma\bar{x}; \quad c = \delta\bar{x}; \quad d = -\epsilon_y + \delta\bar{x}.$$

Nol statsionar holat uchun xarakterli determinant shaklga ega:

$$\xi(t) = x(t) - \bar{x};$$

$$\eta(t) = y(t) - \bar{y}.$$

Tegishli xarakterli tenglamaning ildizlari: $X_1 = e^x$, $X_2 = -E_y$ Nolinchi maxsus nuqta turi. Nolga teng bo'lmagan statsionar holat uchun tizim koeffitsientlari matritsasining xarakterli determinanti shaklga ega:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_x - \lambda & 0 \\ 0 & -\varepsilon_y - \lambda \end{vmatrix}$$

Xarakterli tenglama:

$$\begin{vmatrix} -\lambda & -\frac{\varepsilon_y \gamma_y}{\gamma_x} \\ \frac{\varepsilon_x \gamma_x}{\gamma_y} & -\lambda \end{vmatrix}$$

Ushbu tenglamaning ildizlari faqat xayoliy:

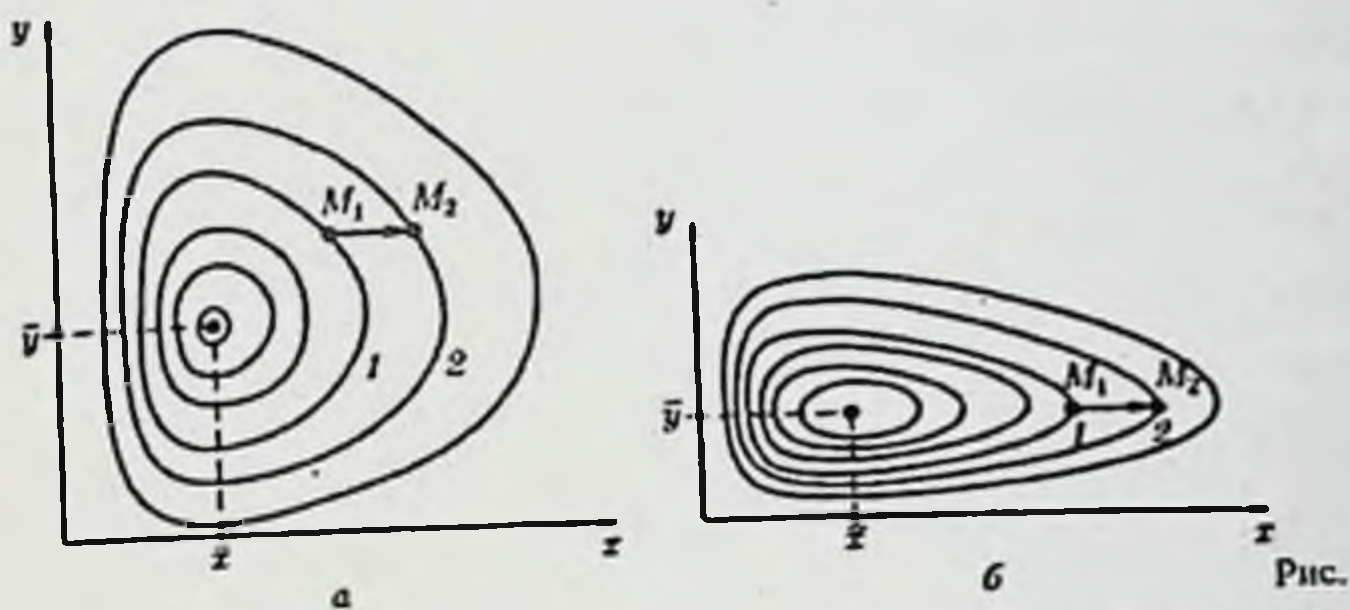
$$\lambda^2 + \varepsilon_x \varepsilon_y = 0$$

Shunday qilib, tizimni o'rganish shuni ko'rsatadiki, nolga teng bo'lmagan maxsus nuqta yaqinidagi traektoriyalar konsentrik ellipslar, maxsus nuqtaning o'zi esa markazdir. Volterming o'rganilgan modeli va maxsus nuqtadan uzoqda yopiq traektoriyalarga ega ekanligini ko'rsatish mumkin, garchi bu traektoriyalarning shakli ellipsoidaldan allaqachon farq qilsa va tizim parametrlari bilan belgilanadi (rasm. 5.11). Vaqt o'tishi bilan yirtqichlar va yirtqichlar sonining o'zgarishi tebranishlar bo'lib, yirtqichlar sonining o'zgarishi o'lja tebranishlaridan fazadan orqada qoladi. "Markaz" turidagi maxsus nuqta Lyapunovga ko'ra barqaror, ammo asimptotik emas. Keling, ushbu misolda bu qanday namoyon bo'lishini ko'rsatamiz. $X(t)$ va $y(t)$ tebranishlari shunday sodir bo'ladiki, tasvir nuqtasi 1-faza traektoriyasi bo'ylab harakatlanadi (rasmga qarang). 5.11).

Nuqta M_i holatida bo'lgan paytda, tizimga tashqi tomondan ma'lum miqdordagi shaxslar qo'shiladi, shunda tasvir nuqtasi M_i nuqtadan m_2 nuqtaga sakraydi. Agar shundan so'ng tizim o'ziga taqdim etilsa, $x(t)$, $y(t)$ tebranishlari avvalgidan kattaroq amplitudalar bilan sodir bo'ladi va tasvir nuqtasi 2-traektoriya bo'ylab harakatlanadi. Bu shuni anglatadiki, tizimdagi tebranishlar beqaror: ular tashqi ta'sir ostida o'z xususiyatlarini abadiy o'zgartiradilar. Kelajakda barqaror tebranish rejimlarini tavsiflovchi modellar ko'rib chiqiladi va faza tekisligida bunday asimptotik barqaror davriy harakatlar chegara tsikllari bilan tavsiflanishi ko'rsatiladi. Shaklda 5.12 Hudson bay kompaniyasining ma'lumotlariga ko'ra, mo'ynali hayvonlar sonining tebranish egri chiziqlari terilar soni to'g'risida. Ko'p yillar davomida barcha klassik darsliklarda ushbu o'zgarishlarning tebranish xususiyati hozirgina ko'rib chiqilgan Volterra modeli uchun asos bo'lgan farazlarni tasdiqlash sifatida keltirilgan.

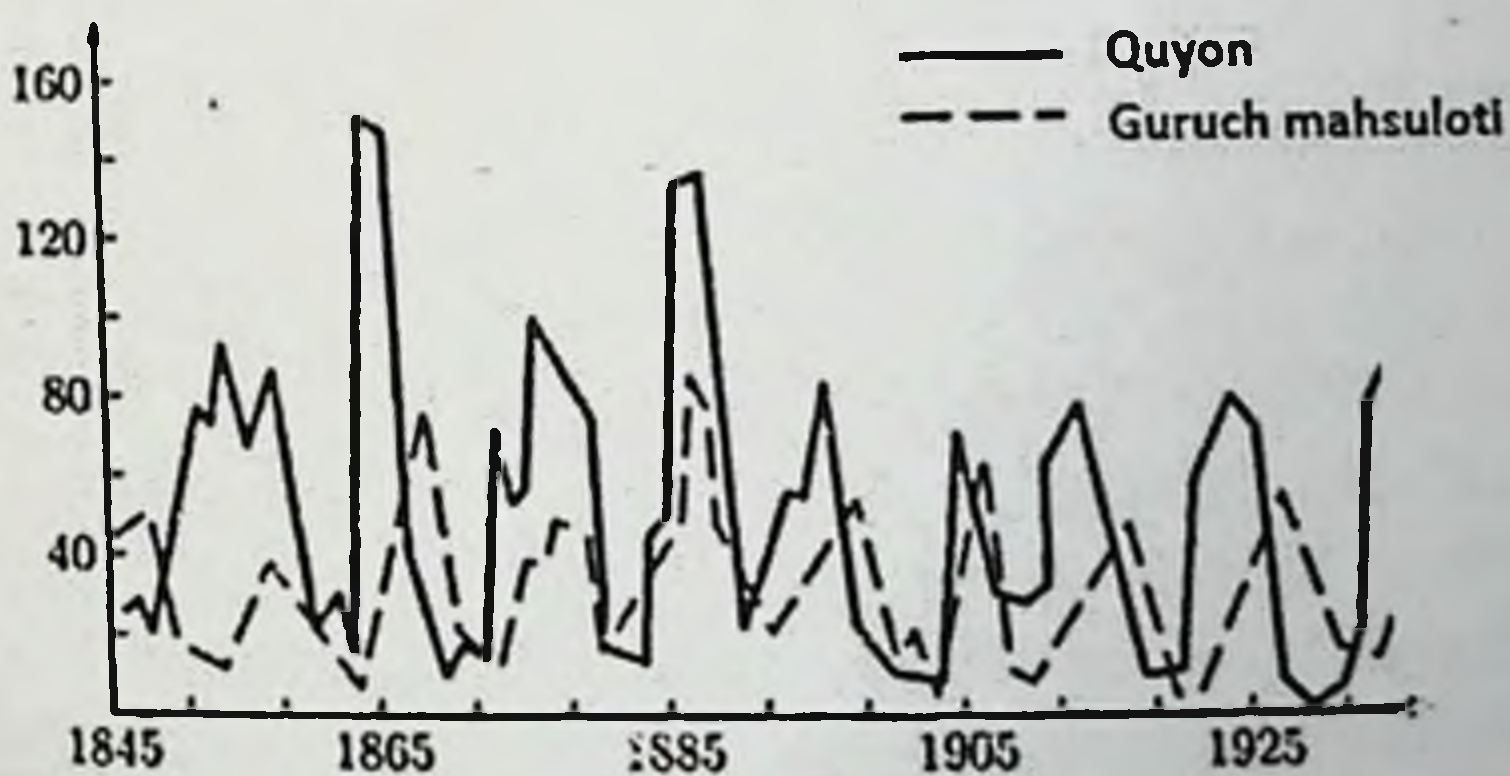
Darhaqiqat, quyonlar (yirtqichlar) va silovsinlar (yirtqichlar) sonining o'zgarishi davrlari taxminan bir xil va taxminan 9-10 yilni tashkil qiladi. Shu bilan birga, quyonlarning maksimal soni, qoida tariqasida, trotterlarning maksimal sonidan bir yil oldinda. Biz ob-havo va beshqalar bilan bog'liq tasodifiy omillar bilan murakkablashgan muntazam tebranishlarni ko'ramiz deb taxmin qilishimiz mumkin. Shu bilan birga, ushbu kuzatuv ma'lumotlarini deterministik betartiblik modellari asosida yana bir talqin qilish mumkin. Ushbu turdagi diskret modellar 1-bobda ko'rib chiqilgan (1.4 ga qarang).

$$\lambda_{1,2} = \pm i \sqrt{\varepsilon_x \varepsilon_y}$$



Rasm. 5.11. Fazodan olingan tasvir tizimi (5.25). Minalashtirilgan joyning aniq nuqtasi (Markazda): a-parametrik tizim: $e^* = 4$, $yxy = 0,3$, $ey = yyx = 0,4$;

b-parametrik tizim: $zx = 2$, $yxy = 0,3$, $ty = yyx = 0,4$



Rasm: 5.12. Kanadadagi quyonlar va guruch mahsulotlari sonining egri chiziqlari [C. Villi, V. Detier, 1974]

Deterministik betartiblikka olib keladigan populyatsiya dinamikasining uzluksiz modellari yanada o'rganiladi. Volterra modelining jiddiy

kamchiligi-bu o'zgaruvchilarning o'zgarishiga olib keladigan kichik tasodifiy ta'sirlarga nisbatan qarorlarning beqarorligi. Bundan tashqari, ushbu tizimning "qo'polligi" tufayli tenglamalarning o'ng qismlari (tizim parametrlari qiymatlari) ko'rinishidagi o'zboshimchalik bilan kichik o'zgarish maxsus nuqta turining o'zgarishiga va shuning uchun faza traektoriyalarining tabiatining o'zgarishiga olib keladi. Tabiiy tizimlar juda ko'p tasodifiy ta'sirlarga duchor bo'lganligi sababli, Real model ularga nisbatan barqaror bo'lishi kerak. Shuning uchun qo'pol bo'lmagan tizimlar tabiiy hodisalarni etarli darajada tavsiflay olmaydi. Volterra va boshqa mualliflar tomonidan o'rganilgan ko'rib chiqilgan tizimning turli xil modifikatsiyalari ushbu kamchiliklardan xoli. Ulardan eng mashhurlari 5.6 da o'rganiladi. Bu erda ikkala populyatsiyaning o'sishida o'z-o'zini cheklashni hisobga oladigan modelga to'xtalamiz. Uning misolida tizim parametrlari o'zgarganda echimlarning tabiati qanday o'zgarishi mumkinligi ko'rsatilgan. Shunday qilib, tizimni ko'rib chiqing:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(\varepsilon_x - \gamma_{xy}y - \delta_x x^2); \\ \frac{dy}{dt} = y(-\varepsilon_y + \gamma_{xy}x - \delta_y y^2), \end{cases} \quad (5.26)$$

tizimdan (5.25) a'zolarining o'ng qismlarida mavjudligi bilan farq qiladi:

Ushbu a'zolar oziq-ovqat resurslari cheklanganligi, yashash doirasi va boshqalar tufayli yirtqichlar bo'lmagan taqdirda ham qurbonlar soni cheksiz ko'payishi mumkin emasligini aks ettiradi, xuddi shu "o'z-o'zini cheklash" yirtqichlar populyatsiyasiga to'g'ri keladi. Tizim (5.26) to'rtta statsionar echimga ega, ulardan uchta uchun ikkala turning soni yoki bitta turning soni nolga teng. Tahlil shuni ko'rsatadiki, nolinch echim beqaror tugundir. Algebraik tenglamalar tizimini ko'rib chiqing, ularning echimi har ikkala turdagi sonlar uchun nolga teng bo'lmagan statsionar holat koordinatalarini beradi. Ushbu tizim tizimning o'ng tomonidagi qavs ichidagi ifodalarni nolga tenglashtirish orqali olinadi (5.26):

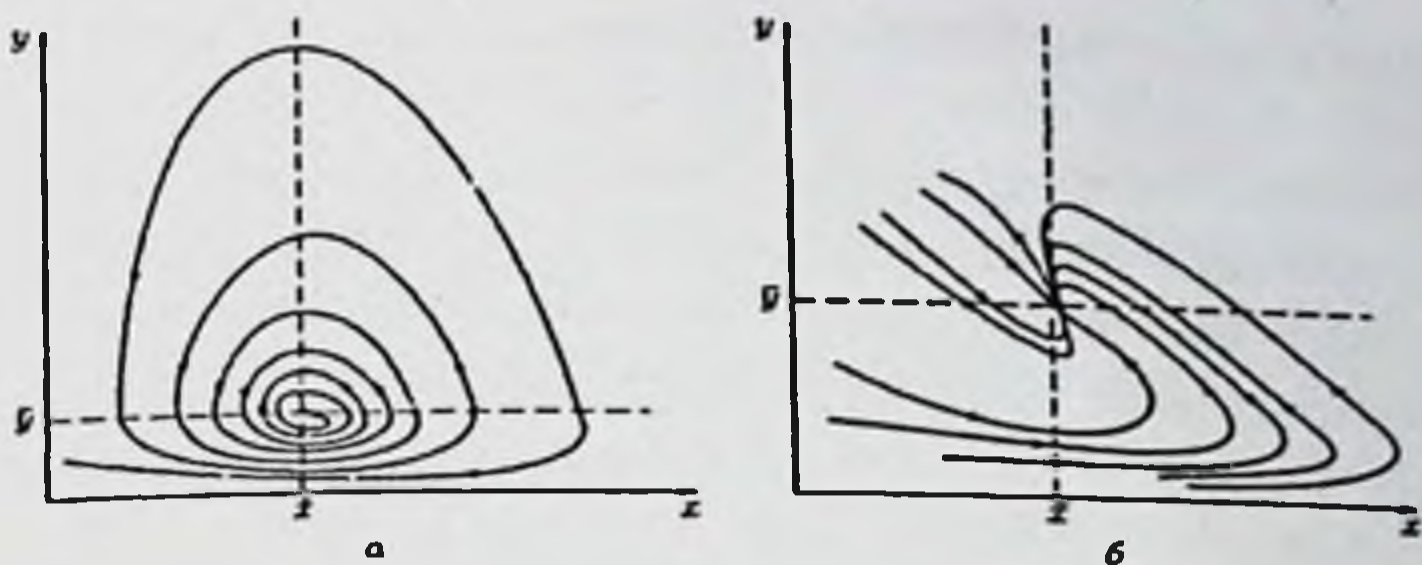
$$-\delta_x x^2 \text{ va } -\delta_y y^2$$

Statsionar echim:

$$\delta_x \bar{x} + \gamma_{xy} \bar{y} = \varepsilon_x ;$$

$$\gamma_{yx} \bar{x} - \delta_y \bar{y} = \varepsilon_y .$$

Xarakterli tenglamaning ildizlarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, koeffitsientlar nisbatiga qarab statsionar echim barqaror fokus yoki barqaror tugun bo'lishi mumkin (rasm. 5.13).



Rasm:5.13. Fazodan olingan tasvir tizimi (5.26): a-barqaror fokus, tizim parametrlari: $Cx=2$, $yXy=18$, $\beta^* = 1$, $cy = 3$, $Yyx = 5$, $Sj = 1$; b — barqaror tugun, tizim parametrlari: $ex = 2$, $yxy 1$, $5a=1$, $Ey=3$, $Yyx=1$, $5y=1$ ikkala holatda ham echim tenglamalarning o'ng tomonidagi kichik o'zgarishlarga chidamli.

Shunday qilib, populyatsiyaning o'zini o'zi cheklashi uning sonining barqarorligiga olib keladi. Shuni ta'kidlash kerakki, ko'rib chiqilgan eng oddiy volterrov modellari doimiy davr va amplituda barqaror tebranishlarni tasvirlay olmaydi. Bunday tebranishlarni tavsiflash uchun fazaviy tekislikda cheklangan tsiklga ega bo'lgan chiziqli bo'lmagan modellar kerak (5.6 ga qarang).

4.5. Epidemiologiya matematik modellar. Epidemiyaning matematik modeli.

Matematik modellar yuqumli kasalliklar epidemiyaning ehtimoliy natijasini (shu jumladan o'simliklarda) ko'rsatish va aholi salomatligi va o'simliklar salomatligi faoliyatini xabardor qilishga yordam berish uchun qanday rivojlanishini bashorat qilishi mumkin. Modellar turli yuqumli kasalliklar uchun parametrlarni topish va ommaviy emlash dasturlari kabi turli aralashuvlarning ta'sirini hisoblash uchun ushbu parametrlardan foydalanish uchun matematika bilan bir qatorda asosiy taxminlar yoki to'plangan statistik ma'lumotlardan foydalanadi.

Modellashtirish qaysi aralashuvlardan qochish va qaysi birini sinab ko'rish kerakligini hal qilishga yordam beradi yoki kelajakdagi o'sish shakllarini bashorat qilishi mumkin va hokazo yuqumli kasalliklarni modellashtirish bu kasalliklarning tarqalish mexanizmlarini o'rganish, epidemiyaning kelajakdagi yo'nalishini bashorat qilish va epidemiyaga qarshi kurash strategiyalarini baholash uchun ishlatiladigan vositadir. O'lim sabablarini muntazam ravishda aniqlashga harakat qilgan birinchi olim 1662 yilda "o'lim hisobida tabiiy va siyosiy kuzatuvlar" kitobida jon Graunt edi.

U o'rgangan hisoblar har hafta e'lon qilingan raqamlar va o'lim sabablari ro'yxati edi.

Grauntning o'lim sabablarini tahlil qilish "raqobatdosh xavf nazariyasi" ning boshlanishi deb hisoblanadi, Deyli va gani "hozirgi kunda zamonaviy epidemiologlar orasida yaxshi tashkil etilgan nazariya". Kasallikning tarqalishini matematik modellashtirish bo'yicha dastlabki hisobot 1760 yilda Daniel Bernulli tomonidan qilingan. Tibbiy ma'lumotga ega bo'lgan Bernulli chechakka qarshi emlash amaliyotini himoya qilish uchun matematik modelni yaratdi.

Ushbu modelga asoslangan hisob-kitoblar shuni ko'rsatdiki, chechakka qarshi universal emlash umr ko'rish davomiyligini 26 yosh 7 oydan 29 yosh 9 oygacha oshiradi. Daniel Bernoullining ishi mikroblar nazariyasini zamonaviy tushunishdan oldin. 20-asrning boshlarida Uilyam Xeymer va Ronald Ross epidemik xatti-harakatlarni tushuntirish uchun ommaviy harakat qonunini qo'lladilar. 1920-yillarda kompartmentar modellar paydo bo'ldi. Kermak-Makkendrik epidemik modeli (1927) va Rid-Frost epidemik modeli (1928) populyatsiyadagi sezgir, infeksiyalangan va immunitetli shaxslar o'rtasidagi munosabatni tavsiflaydi. Kermak-Makkendrikning epidemik modeli ko'plab qayd etilgan epidemiyalarda kuzatilganlarga juda o'xshash epidemiyalarning xatti-harakatlarini bashorat qilishda muvaffaqiyatli bo'ldi. So'nggi paytlarda agentga yo'naltirilgan modellar (ABM) oddiyroq bo'linma modellari o'miga ishlatila boshlandi. Masalan, epidemiologik Pro SARS-CoV-2 tarqalishiga qarshi sog'liqni saqlash choralari (farmatsevtik bo'lmagan) haqida ma'lumot berish uchun ishlatilgan. Epidemiologik raketaga qarshi mudofaa tizimlari, murakkabligi va yuqori ishlov berish quvvatiga qaramay, soddalashtirish va Real bo'lmagan taxminlar uchun tanqid qilindi. Shunga qaramay, ular yumshatish va bostirish choralari to'g'risida qaror qabul qilishda foydali bo'lishi mumkin aniq modellar ular asoslangan taxminlar kabi yaxshi. Agar model kuzatilgan natijalarga mos kelmaydigan bashorat qilsa va matematika to'g'ri bo'lsa, modelni foydali qilish uchun dastlabki taxminlar o'zgarishi kerak.

* Yoshga qarab to'rtburchaklar va statsionar taqsimot, ya'ni populyatsiyadagi hamma L yoshiga qadar yashaydi va keyin o'ladi va har bir yosh uchun (L gacha) populyatsiyada bir xil miqdordagi odamlar mavjud. Bu ko'pincha bolalar o'limi past bo'lgan va aholining katta qismi umr ko'rish davomiyligidan omon qolgan rivojlangan mamlakatlar uchun oqlanadi.

* Populyatsiyaning bir hil aralashmasi, ya'ni o'rganilayotgan populyatsiyaning alohida vakillari tasodifiy saralanadi va aloqa qiladi, asosan kichikroq kichik guruhga aralashmaydi. Ushbu taxmin kamdan-kam hollarda oqlanadi, chunki ijtimoiy tuzilish keng tarqalgan. Masalan, Londondagi aksariyat odamlar faqat boshqa londonliklar bilan aloqa qilishadi. Bundan tashqari, Londonda turk jamoati yoki o'smirlar kabi kichikroq kichik guruhlar mavjud (faqat ikkita misol keltiraman), ular o'z guruhidan tashqaridagi odamlarga qaraganda bir-biri bilan tez-tez muloqot qilishadi. Biroq, bir hil aralashtirish matematikani tushunarli qilish uchun standart taxmindir.

* Epidemiya modellarining turlari stoxastik "stoxastik" tasodifiy o'zgaruvchining mavjudligi yoki mavjudligini anglatadi. Stoxastik model vaqt o'tishi bilan bir yoki bir nechta kirishlarning tasodifiy o'zgarishini hisobga olgan holda potentsial natijalarning ehtimollik taqsimotini baholash vositasidir. Stoxastik modellar infeksiya xavfi, kasallik va boshqa kasalliklar dinamikasidagi tasodifiy o'zgarishlarga bog'liq. Kichik yoki katta populyatsiyalarda agent darajasidagi kasalliklarning statistik tarqalishini stoxastik usullar bilan aniqlash mumkin. Deterministik sil kasalligida bo'lgani kabi, katta populyatsiyalar bilan ishlashda ko'pincha deterministik yoki bo'linuvchi matematik modellar qo'llaniladi. Deterministik modelda populyatsiyadagi shaxslar turli xil kichik guruhlar yoki bo'linmalarga bo'linadi, ularning har biri epidemiyaning ma'lum bir bosqichini anglatadi. Bir sinfdan ikkinchisiga o'tish ko'rsatkichlari matematik ravishda hosilalar sifatida ifodalanadi, shuning uchun model differentsial tenglamalar yordamida shakllantiriladi. Bunday modellarni qurishda, bo'linmadagi aholi soni vaqt bo'yicha farqlanishi va epidemik jarayon deterministik deb taxmin qilish kerak. Boshqacha qilib aytganda, bo'linma populyatsiyasidagi o'zgarishlarni faqat modelni ishlab chiqish uchun ishlatilgan tarix yordamida hisoblash mumkin. Subeksponensial o'sish epidemiya o'sishining keng tarqalgan tushuntirishida aytilishicha, 1 kishi 2, bu 2 kishi 4 va hokazolarni yuqtiradi va hokazo, har bir avlod bilan yuqtirganlar soni ikki baravar ko'payadi. Bu dog ' o'yiniga o'xshaydi, bu erda 1 kishi 2 ni belgilaydi, bu 2 hech qachon belgilanmagan 4 kishini belgilaydi va hokazo. O'yin davom etar ekan, u tobora aqldan ozmoqda, chunki belgilar ilgari hech qachon belgilanmaganlarni kuzatib borish uchun ilgari belgilanganlarning yonidan o'tib ketishadi.

Shunday qilib, epidemiyaning ushbu modeli butun aholi yuqtirganligi sababli nolga tushguncha eksponent ravishda o'sib boradigan egri chiziqqa olib keladi. Poda immuniteti yo'q va haqiqatda kuzatilganidek, eng yuqori

va asta-sekin pasayish yo'q. Ko'paytirish soni [tahrirlash/tahrirlash kodi] asosiy maqola: asosiy reprodktiv raqam ko'paytirishning asosiy soni (R_0) bilan belgilangan) kasallikning qanchalik yuqishini o'lchashdir. Bu bitta yuqtirgan odam o'z infeksiyasi davomida yuqtirgan odamlarning o'rtacha soni. Ushbu miqdor infeksiyaning subeksponentsial ravishda ko'payishini, yo'q bo'lib ketishini yoki doimiy bo'lib qolishini aniqlaydi: Agar $R_0 > 1$ bo'lsa, unda har bir kishi o'rtacha bir nechta odamni yuqtiradi, shuning uchun kasallik tarqaladi; Agar $R_0 < 1$ bo'lsa, unda har bir kishi o'rtacha bir kishidan kam odamni yuqtiradi, shuning uchun; va Agar $R_0 = 1$ bo'lsa, unda har bir kishi o'rtacha bitta boshqa odamni yuqtiradi, shuning uchun kasallik endemik bo'ladi: u butun populyatsiya bo'ylab tarqaladi, lekin ko'paymaydi yoki kamaymaydi yuqumli kasallik tashqi ta'sirga ehtiyoj sezmasdan populyatsiyada saqlanib qolishi mumkin bo'lgan endemik hisoblanadi. Bu shuni anglatadiki, har bir yuqtirgan odam o'rtacha bir xil odamni yuqtiradi (yana bir oz ko'proq va yuqtirgan odamlar soni subeksponentsial ravishda ko'payadi va epidemiya boshlanadi, biroz ko'proq va kasallik yo'qoladi). Matematik nuqtai nazardan, bu: $R_0 S = 1$ ko'payishning asosiy soni (R_0) kasallik, hamma sezgir, aholi soniga ko'paytiriladi, bu haqiqatan ham sezgir (lar) birlikka teng bo'lishi kerak (chunki sezgir bo'lmaganlar bizning hisob-kitoblarimizda ko'rinmaydi, chunki ular kasallikni yuqtira olmaydi).

E'tibor bering, bu nisbat kasallik endemik barqaror holatda bo'lishi uchun ko'payishning asosiy ko'rsatkichi qanchalik yuqori bo'lsa, sezgir populyatsiyaning ulushi shunchalik past bo'lishi kerak va aksincha. Ushbu ifoda sezuvchanlik ulushiga nisbatan cheklovlarga ega, masalan, Agar $R_0 = 0,5$ bo'lsa, u holda $S/2$ ga teng bo'lishi kerak, ammo bu nisbat aholi sonidan oshib ketadi. Aytaylik, yoshga qarab to'rtburchaklar statsionar taqsimot va infeksiyaning yoshi har bir tug'ilgan yil uchun bir xil taqsimotga ega bo'lsin. Infeksiyaning o'rtacha yoshi A ga teng bo'lsin, masalan, a dan yoshroq bo'lganlar sezgir va a dan katta bo'lganlar immunitetga ega (yoki yuqumli). Keyin oddiy argument yordamida sezgir populyatsiyaning ulushi aniqlanganligini ko'rsatish mumkin: biz buni takrorlaymiz L bu modelda har bir inson o'lishini taxmin qiladigan yosh.

Ammo endemik barqaror holatning matematik ta'rifini berish uchun o'zgartirish mumkin: shuning uchun tranzitiv xususiyat tufayli: bu oson kirish mumkin bo'lgan ma'lumotlardan foydalangan holda R_0 parametrini baholashning oson usulini ta'minlaydi. Yoshga qarab eksponensial taqsimotga ega bo'lgan aholi uchun bu har qanday aholi taqsimotida a va L tomonidan berilgan kasallikning ko'payish holatlarining asosiy sonini olish imkonini beradi. Epidemiologiyada bo'lim modellari asosiy maqola: bo'lim

modellari epidemiologiyada bo'lim modellari Markov zanjirlari shaklida tuzilgan. Epidemiologiyada klassik bo'linma modeli sir modeli bo'lib, u epidemiyalarni modellashtirish uchun oddiy model sifatida ishlatilishi mumkin. Bundan tashqari, bir nechta boshqa turdagi kompartmentar modellar qo'llaniladi.

Sir modeli dastlabki qiymatlar va infektsiya va tiklanish ko'rsatkichlari bilan SIR modeli diagrammasi dastlabki qiymatlar va tiklanish tezligi bilan sir modeli animatsiyasi. Animatsiya infektsiya tezligini pasaytirish ta'sirini ko'rsatadi, agar dori-darmonlar yoki emlashlar mavjud bo'lmasa, infektsiya darajasini pasaytirish (ko'pincha "egri chiziqni tekislash" deb ataladi) faqat ijtimoiy uzoqlashish kabi tegishli choralar yordamida amalga oshirilishi mumkin. 1927 yilda U. O. Kermak va A. G. Makkendrik modelni yaratdi, unda ular faqat uchta komponentdan iborat qat'iy populyatsiyani ko'rib chiqdilar: sezgir, infeksiyalangan va tiklangan. Ushbu model uchun ishlatiladigan bo'linmalar uchta sinfdan iborat:

❖ t vaqtida kasallik bilan kasallanmagan yoki aholi kasalligiga moyil bo'lgan shaxslarni ifodalash uchun ishlatiladi.

❖ kasallik bilan kasallangan va kasallikni sezgir toifaga kiruvchi shaxslarga tarqatishga qodir bo'lgan populyatsiyadagi shaxslarni bildiradi.

❖ bu yuqtirgan va keyin emlash yoki o'lim tufayli kasallikdan olib tashlangan populyatsiyadagi shaxslar uchun ishlatiladigan bo'linma. Ushbu toifaga kirganlar infektsiyani qayta yuqtira olmaydi yoki boshqalarga yuqtira olmaydi. Boshqa bo'lim modellari SIR modelining ko'plab modifikatsiyalari mavjud, shu jumladan tug'ilish va o'limni o'z ichiga olgan, tuzalgandan keyin immunitet yo'q bo'lganda (SIS modeli), immunitet faqat qisqa vaqt davomida saqlanib qolganda (SIRS), kasallikning yashirin davri mavjud bo'lganda, odam yuqumli emas (Seisva SEIR) va qaerda chaqaloqlar immunitet bilan tug'ilishi mumkin (MSIR). Yuqumli kasalliklar dinamikasi matematik modellar xost-patogen o'zaro ta'siri haqida hosil bo'lgan ma'lumotlarning ortib borayotgan miqdorini birlashtirishi kerak. O'simliklar va hayvonlarning, shu jumladan odamlarning yuqumli kasalliklari populyatsiyasi dinamikasi, tuzilishi va evolyutsiyasi bo'yicha ko'plab nazariy tadqiqotlar ushbu muammo bilan bog'liq. Tadqiqot mavzulariga quyidagilar kiradi:

- antigenik siljish
- epidemiologik tarmoqlar
- barqarorlik evolyutsiyasi va tarqalishi
- immunoepidemiologiya
- xost ichidagi dinamika

- Pandemiya
- patogenlarning populyatsiya genetikasi
- xost organizmidagi patogenlarning doimiyliigi
- filodinamika
- infeksiyon tanklarining roli va identifikatsiyasi
- xostning genetik omillarining roli
- fazoviy epidemiologiya
- statistik va matematik vositalar va innovatsiyalar
- Shtammlarning tuzilishi va o'zaro ta'siri (biologiya)
- infeksiyani yuqtirish, tarqatish va nazorat qilish
- virulentlik ommaviy emlash matematikasi.

Agar immunitetga ega bo'lgan aholining ulushi ushbu kasallikka qarshi immunitetning umumiy darajasidan oshsa, u holda kasallik endi populyatsiyada saqlanib qolmaydi va uning yuqishi to'xtaydi. Shunday qilib, agar etarli miqdordagi odamlar emlash yoki kasallikning oldingi ta'siridan davolanish tufayli immunitetga ega bo'lsa, kasallikni populyatsiyadan olib tashlash mumkin. Masalan, 1977 yilda so'nggi yovvoyi holat bilan chechakni yo'q qilish va yovvoyi poliovirusning 3 turidan 2 tasini mahalliy uzatishni yo'q qilish sertifikatini (2015 yilda 2-toifa, 1999 yilda qayd etilgan oxirgi holatdan keyin va 2019 yilda 3-toifa, 2012 yilda qayd etilgan oxirgi holatdan keyin). Immunitetning umumiy darajasi q bilan belgilanadi. Eslatib o'tamiz, barqaror holat uchun: poda immuniteti chegarasining tanlangan kasalliklarda ko'payishning asosiy soniga bog'liqligi grafigi s bo'ladi ($1 - q$), chunki q immunitetga ega bo'lgan aholining ulushi va $q + S$ birlikka teng bo'lishi kerak (chunki bu soddalashtirilgan modelda hamma sezgir yoki immunitetga ega).

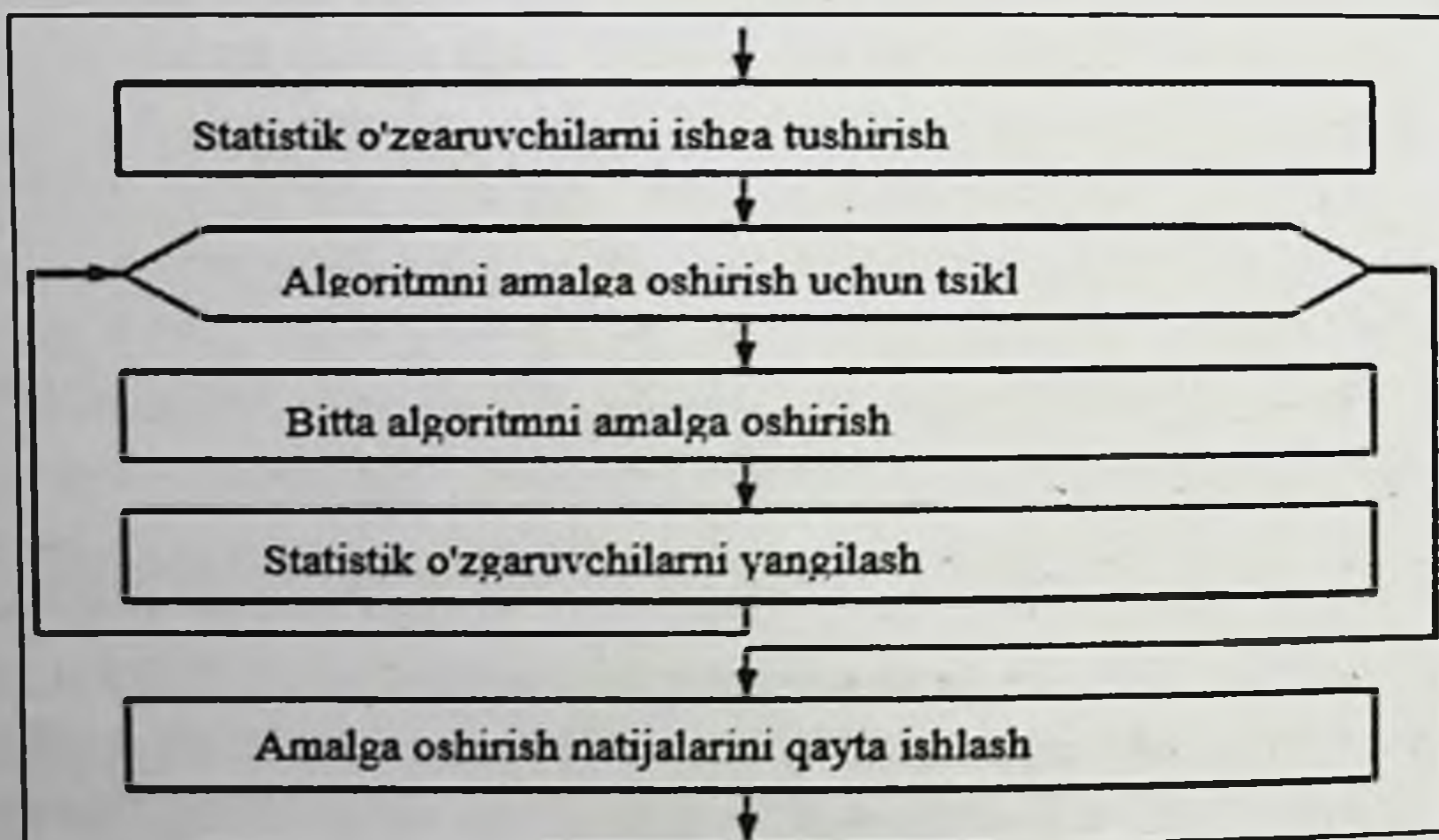
Keyin: esda tutingki, bu chegara darajasi. Yuqish natijasida yo'q bo'lib ketish faqat ommaviy emlash dasturi tufayli immunitetga ega bo'lgan odamlarning ulushi ushbu darajadan oshib ketgan taqdirdagina sodir bo'ladi. Biz hozirgina emlashning muhim chegarasini (Q_C bilan belgilangan) hisoblab chiqdik. Bu populyatsiyadagi infeksiyani yo'q qilish uchun tug'ilish paytida (yoki tug'ilishga yaqin) emlash kerak bo'lgan aholining minimal ulushi. Ommaviy emlash poda immunitetidan oshib keta olmasa agar ishlatilgan vaktsina etarli darajada samarali bo'lmasa yoki kerakli qamrovga erishilmasa, dastur q_c dan oshmasligi mumkin. Bunday dastur emlangan odamlarni kasallikdan himoya qiladi, ammo yuqish dinamikasini o'zgartirishi mumkin. Faraz qilaylik, q populyatsiyasining bir qismi (bu erda $q < q_c$) tug'ilish paytida $R_0 > 1$ bilan infeksiyaga qarshi emlanadi. Emlash dasturi R_0 ni R_q ga o'zgartiradi, bu erda o'zgarish

shunchaki sodir bo'ladi, chunki hozirgi vaqtda aholi orasida infeksiyaga moyil odamlar kamroq. R_0 bu shunchaki R_0 minus odatda yuqtirgan, ammo hozir yuqtira olmaydiganlar, chunki ular immunitetga ega. Ko'payishning pastki bazaviy soni natijasida a infeksiyasining o'rtacha yoshi emlanmaganlar uchun yangi A_0 qiymatiga ham o'zgaradi. R_0 , A va L ni bog'laydigan nisbatni eslang. Agar umr ko'rish davomiyligi o'zgarmagan bo'lsa, endi: lekin $R_0 = L / A$, shuning uchun: shunday qilib, emlash dasturi infeksiyaning o'rtacha yoshini oshirishi mumkin va emlanmagan odamlar emlangan guruh mavjudligi sababli infeksiya kuchini kamaytiradi. Keksa odamlarda klinik zo'ravonlikni kuchayishiga olib keladigan kasallik bilan, emlanmagan aholi bu kasallikka hayotda nisbatan kechroq ta'sir qilishi mumkin, bu emlash bo'lmagan taqdirda sodir bo'ladi. Ommaviy emlash podaning immunitetidan oshib ketganda, agar emlash dasturi populyatsiyadagi immunitetli shaxslarning ulushini sezilarli vaqt ichida kritik chegaradan oshib ketishiga olib keladigan bo'lsa, bu populyatsiyada yuqumli kasallikning yuqishi to'xtaydi. Agar yo'q qilish hamma joyda bir vaqtning o'zida sodir bo'lsa, bu yo'q qilinishiga olib kelishi mumkin. Yo'q qilish yuqumli kasallikning endemik yuqishini to'xtatish, agar har bir yuqtirgan odam bir-biridan kamroq yuqtirsa, immunizatsiya qamrovini saqlab qolish orqali amalga oshiriladi, bu immunitetli odamlarning ulushini emlashning muhim chegarasidan yuqori darajada ushlab turadi. Yo'q qilish yo'q qilish hamma joyda bir vaqtning o'zida yuqumli agent yo'q bo'lib ketishi uchun (masalan, chechak va qoramol vabosi). Ishonchlilik modellarning afzalligi shundaki, ular bitta prognozni emas, balki bir vaqtning o'zida bir nechta natijalarni ko'rib chiqadilar. Modellar SARS, SARS-CoV-2, cho'chqa grippi, MERS va Ebola kabi o'tmishdagi pandemiyalarda yuqori darajadagi ishonchlilikni ko'rsatdi.

4.6. Monte-Karlo usuli yordamida obyektlarni modellashtirish

Stoxastik tizimlarning simulyatsiya modellarini qurish va amalga oshirish jarayonida statistik sinov usuli (Montecarlo) keng qo'llaniladi. Monte-Karlo usuli-bu stoxastik (tasodifiy) jarayonning ko'p sonli dasturlarini olishga asoslangan raqamli usullar guruhining umumiy nomi, uning ehtimollik xususiyatlari echilayotgan muammoning o'xshash qiymatlariga mos keladigan tarzda hisil bo'ladi. Usul ko'pincha fizika, kimyo, matematika, iqtisodiyot, optimallashtirish, boshqaruv nazariyasi va boshqa sohalardagi muammolarni hal qilish uchun ishlatiladi. Monte-Karlo usulining g'oyasi quyidagicha.

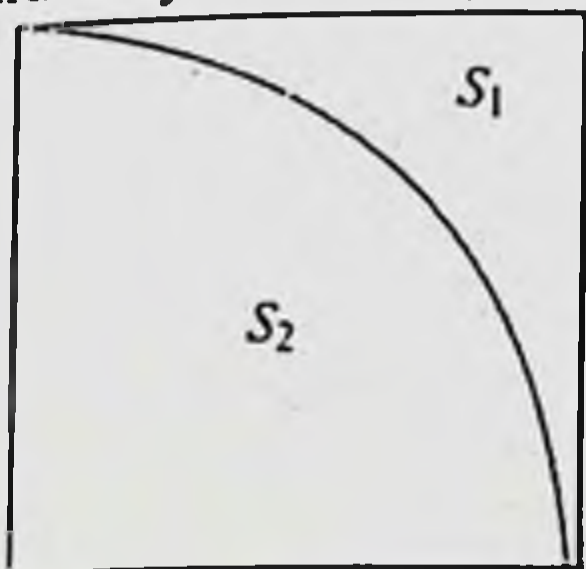
O'rganilayotgan tasodifiy jarayonni analitik tavsiflash o'rniga, ushbu jarayonni taqlid qiluvchi algoritmlar tuziladi. Algoritm tasodifiylikni modellashtirish uchun maxsus protseduralarni o'z ichiga oladi. Algoritmning aniq bajarilishi har safar o'z natijalari bilan boshqacha tarzda shakllanadi. Algoritmni matematik statistika usullari bilan amalga oshirish natijalarini qayta ishlash orqali siz har qanday xususiyatlarni olishingiz mumkin: hodisalar ehtimoli, matematik kutishlar, tasodifiy o'zgaruvchilarning o'zgarishi. Ushbu xususiyatlarning haqiqiydan ma'lum miqdordan ko'p bo'lmagan farq qilish ehtimoli sinovlar sonining funksiyasidir. Monte-Karlo usulini amalga oshiruvchi algoritmlarning umumlashtirilgan sxemasi sek. 6.1. Algoritmning birinchi bosqichida statistik o'zgaruvchilar ishga tushiriladi. Ushbu o'zgaruvchilarda, masalan, biron bir voqea sodir bo'lish ehtimolini baholashda, bizni qiziqtirgan voqea sodir bo'lgan tajribalar soni to'planadi. Keyin tsikl tashkil etiladi, uning tanasida algoritmlarning individual amalga oshirilishi amalga oshiriladi (masalan, hodisani modellashtirish amalga oshiriladi) va statistik o'zgaruvchilar yangilanadi (masalan, agar voqea sodir bo'lgan bo'lsa, unda tegishli statistik o'zgaruvchi 1 ga ko'payadi). Algoritmning oxirgi blokida simulyatsiya natijalari qayta ishlanadi.



Rasm: 6.1. Monte-Karlo usuli bo'yicha umumlashtirilgan modellashtirish algoritmi

Bunday holda, masalan, bizni qiziqtirgan voqea ehtimolini baholash mumkin. Statistik modellashtirish usulining mohiyatini quyidagi misollar bilan tushuntiramiz. misol - 6.1 da . K raqamning qiymatini topish.

yechim. 6.2-Rasmda tomoni g bo'lgan kvadrat ko'rsatilgan, masalan, qog'ozga chizilgan. Uning maydoni $S_1 = g^2$. Kvadrat $S_2 = \frac{kg^2}{4}$ maydoni bo'lgan g radiusining chorak doirasini o'z ichiga oladi. Chorak doira va kvadrat maydonlarining nisbati $S_2/S_1 = k/4$ ga teng.

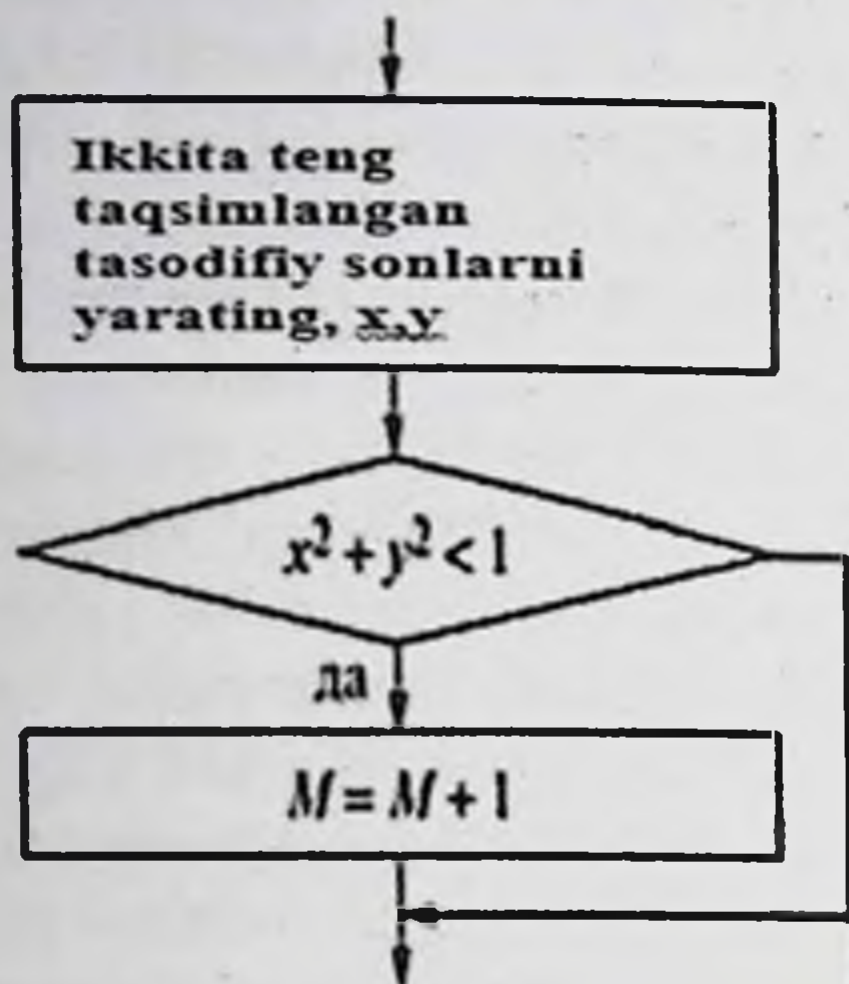


Rasm:6.2.Shaklni topish uchun.

K raqami

6.2- rasmda K raqamni topish uchun bu munosabat, taxminan quyidagi statistik sinovlarni o'tkazish orqali olinishi mumkin. Biz stolda yotgan qog'oz varag'iga mayda donalarni tashlaymiz, shunda ular tasodifiy ravishda varaq yuzasiga teng ravishda tarqalib ketadi. Kvadrat tashqarisidagi donalarni hisobga olmaymiz. Biz n — kvadratga tushgan donalar sonini va m — aylananing chorak qismidagi donalar sonini hisoblaymiz. Donalar rasmning istalgan qismiga kirish ehtimoli bir xil bo'lganligi sababli, etarlicha katta miqdordagi otish bilan m/N nisbati maydonlarning nisbatiga taxminan teng bo'ladi, ya'ni $p/4$. Siz p sonini topish jarayonini biroz o'zgartirishingiz mumkin, buning uchun kvadratning yon tomonlari bo'ylab koordinata o'qlarini chizamiz.

Kvadratning yon tomoni birlikka teng bo'lishi uchun o'lchovni tanlaymiz. Donalar o'rniga biz ushbu kvadratga tasodifiy koordinatalar (x, y) bo'lgan nuqtalarni qo'llaymiz. Tasodifiy koordinatalar deganda biz birlik segmentida bir xil taqsimlangan raqamlarni tushunamiz. Nuqtaning aylana ichida bo'lish ehtimoli maydonlarning nisbatiga teng $n/4$. Bir sinov (bitta amalga oshirish)tengsizlikni tekshirishdan iborat $x^2 + y^2 < 1$ koordinatalar uchun x va y haqiqat uchun (rasm. 6.3).



Rasm:6.3. Tengsizlikni tekshirishni amalga oshirish.

Biz uni N marta takrorlaymiz, keyin M -tengsizlik bajariladigan nuqtalar soni va M / N -bu hodisaning chastotasi, buni bilib, siz π sonining qiymatini topishingiz mumkin. 6.1- jadvalda tasvirlangan algoritmni amalga oshiradigan dastur yordamida olingan k sonini hisoblash natijalari turli xil nuqtalar bilan taqdim etiladi N . e'tibor bering, Monte-Karlo usuli yordamida siz π sonining taxminiy qiymatini olishingiz mumkin va biz qancha ko'p tajriba o'tkazsak, olingan natijalarning xatosi shunchalik kam bo'ladi.

Bundan tashqari, modellashtirish natijalariga tasodifiy sonlar generatorining sifati sezilarli ta'sir ko'rsatishini ta'kidlaymiz. Bu shuni ko'rsatadiki, agar nuqtalar kvadrat ichida notekis joylashtirilsa, modellashtirish natijalari ko'p sonli tajribalar bilan ham noto'g'ri bo'ladi.

Biz uni N marta takrorlaymiz, keyin M -tengsizlik bajariladigan nuqtalar soni va M / N -bu hodisaning chastotasi, buni bilib, siz π sonining qiymatini topishingiz mumkin.

Biz uni N marta takrorlaymiz, keyin M -tengsizlik bajariladigan nuqtalar soni va M / N -bu hodisaning chastotasi, buni bilib, siz π sonining qiymatini topishingiz mumkin.

Jadvalda. 6.1 tasvirlangan algoritmni amalga oshiradigan dastur yordamida olingan k sonini hisoblash natijalari turli xil N nuqtalar bilan taqdim etiladi. E'tibor bering, Monte-Karlo usuli yordamida siz π sonining taxminiy qiymatini olishingiz mumkin va biz qancha ko'p tajriba o'tkazsak, olingan natijalarning xatosi shunchalik kam bo'ladi. Bundan tashqari,

modellashtirish natijalariga tasodifiy sonlar generatorining sifati sezilarli ta'sir ko'rsatishini ta'kidlaymiz. Bu shuni ko'rsatadiki, agar nuqtalar kvadrat ichida notekis joylashtirilsa, modellashtirish natijalari ko'p sonli tajribalar bilan ham noto'g'ri bo'ladi.

Jadval 6.1 K sonining qiymatini aniqlash bo'yicha tajribalar natijalari

Bollar soni(N)	QiymatI N
100	3,2
1000	3,112
10 000	3,114
100 000	3,1374
1 000 000	3,1391
10 000 000	3,1409

6.2-misol. A va B ishtirokchilari o'rtasida duel bo'lib o'tadi. A ishtirokchisi $p = 0,9$ ehtimollik bilan birinchi bo'lib otadi. Otish paytida A ishtirokchisi B ishtirokchiga $p_A = 0,5$ ehtimollik bilan, B ishtirokchisi esa A ishtirokchiga $p_B = 0,8$ ehtimollik bilan baholanadi. Ishtirokchilar bir martadan ortiq o'q uzmaydilar. A va B ishtirokchisilarning g'alaba qozonisning ehtimolini va durang ehtimolini baholang.

Yechim. Ushbu vazifa juda sodda bo'lganligi sababli, kerakli ehtimolliklarni analitik hisoblashni amalga oshirish mumkin.

$$P(A) = p \cdot p_A + (1-p) \cdot (1-p_B) \cdot p_A = 0.46$$

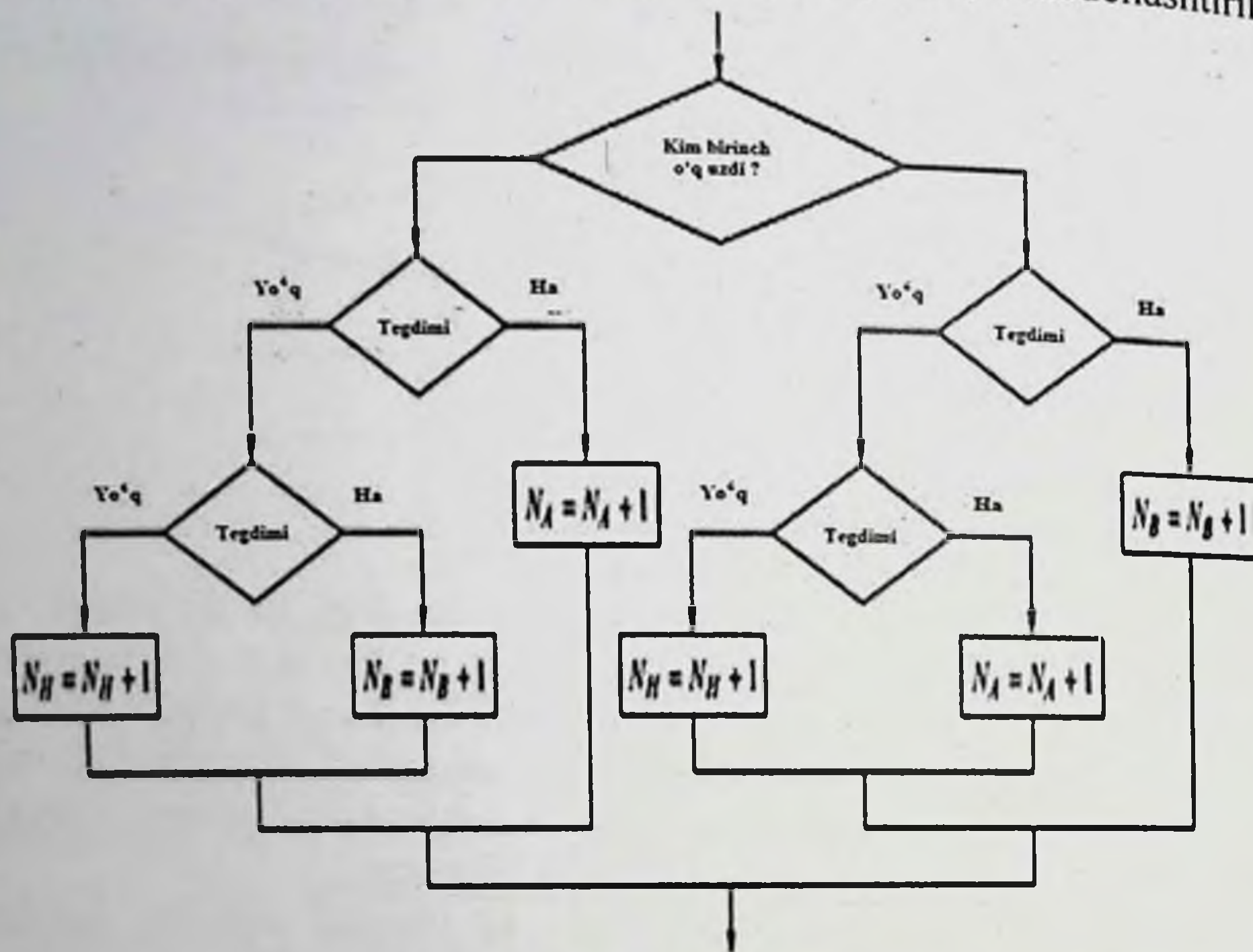
$$P(B) = p \cdot (1 - p_A) \cdot p_B + (1 - p) \cdot p_B = 0.44$$

$$P(H) = (1 - p_A) \cdot (1 - p_B) = 0.1$$

Ushbu natijalar modellashtirish natijalarining to'g'riligini tekshirish uchun ishlatilishi mumkin. Modellashtirishda biz duelning individual voqealarini (birinchi otishni o'rganish, ikkinchi otishni o'rganish) modellashtirish va natija turini aniqlash (A ishtirokchisining g'alabasi, B ishtirokchisi yoki durang) orqali ishtirokchilar o'rtasida ko'p marta duel o'ynashimiz kerak. Bir qator tajribalar o'tkazilgandan so'ng, har bir turdagi hodisalar soni hisoblab chiqiladi va keyin tegishli hodisalarning ehtimolligi baholanadi. Muammoni hal qilish algoritmining umumlashtirilgan sxemasi 6.1-rasm. 6.4- rasmda bitta eksperimentni (bitta duel) chizish algoritmi taqdim etildi. Ushbu algoritmda uchta statistik hisoblagich

(N_A, N_B, N_H) ishlatiladi, ular statistik o'zgaruvchilarni ishga tushirish bosqichida nolga tenglashtiriladi va a ishtirokchisi, b ishtirokchisi va duranglar sonini hisoblash uchun ishlatiladi. Ushbu algoritmning boshida

birinchi otishni tanlashni o'z ichiga olgan hodisani simulyatsiya qilish kerak. Bunday oddiy hodisani modellashtirish algoritmi 0-bo'limda ko'rib chiqilgan. Agar a ishtirokchisi birinchi bo'lib o'q uzsa, u modellashtiriladi



Rasm: 6.4. O'q uzishni bitta ehtimoli bilan chizish algoritmi.

Buning uchun voqea quydagicha bo'ladi. 1 - o'q otganda tegmaslik deb qaraladi ($1 - p_A$ ehtimoli bilan) yoki o'q tegishi (p_A ehtimoli bilan) bo'ladi.

Agar 1 - o'q otganda tegmaslik sodir bo'lish sharti, A ishtirokchisi duelda g'alaba qozondi va biz uning g'alabalari sonini 1 ga oshiramiz. Agar A o'yinchisi o'qni tekkizolmasa, unda B o'yinchisining o'q otishini simulyatsiya qilish kerak, agar 1 - o'q otganda tegmaslik sodir bo'lsa, unda biz B ishtirokchisining g'alabalari sonini ko'paytiramiz, aks holda durang yuz berdi va biz N_H hisoblagichini bittaga oshiramiz. Vaziyat xuddi shunday rivojlanadi, agar ishtirokchi birinchi bo'lib o'q uzsa. N duelni o'ynaganingizdan so'ng, siz quyidagi iboralar yordamida kerakli voqealar ehtimolini taxmin qilishingiz mumkin:

$$\begin{aligned}
 P(A) &= N_A/N, \\
 P(B) &= N_B/N, \\
 P(H) &= N_H/N
 \end{aligned}$$

4.7. Muayyan muhitni modellashtiradigan odatiy funktsional jarayonlar. Aholining omon qolish jarayonlarini matematik modellashtirish.

Muayyan muhitni modellashtiradigan odatiy funktsional jarayonlar. Aholining omon qolish jarayonlarini matematik modellashtirish. Aholining sonini saqlab qolgan holda sanoat baliq ovlash jarayonini tavsiflovchi farq tenglamalari tizimi taklif etiladi. Ushbu modelni o'rganish asosida aholi sonining o'zgarishi va shunga mos ravishda baliq ovlash hajmi prognoz qilinmoqda.

Tutish tezligi uchun javob beradigan parametrlarning modelga ta'siri tahlil qilinadi; populyatsiyaning o'sish tezligini va baliq fermalari orqali populyatsiyaning ko'payishini tavsiflovchi tenglamaning qo'shimcha a'zosining ta'sirini tavsiflovchi koeffitsientlar. Taklif etilayotgan model va natijalar, xususan, qimmatbaho baliq zotlarining sonini kamaytirish va yo'q bo'lib ketish muammolarini hal qilish uchun ishlatilishi mumkin. Atrof-muhitga antropogen ta'sirning ortib borayotgan omili tufayli nafaqat hayvonlar, baliqlar va o'simliklarning qimmatbaho tijorat zotlari sonining keskin kamayishi, balki hayvonot va o'simlik dunyosi vakillarining turlarining xilma-xilligi kamayishi muammosi eng dolzarb bo'lib qolmoqda. Adabiyot tahlili shuni ko'rsatdiki, populyatsiyalarning o'sish modellari va ushbu populyatsiyalarning sanoat ishlab chiqarish modellari alohida-alohida mavjud bo'lib, ular bir-biri bilan hech qanday bog'liq emas. Shu bilan birga, hayvonlar va baliqlarning tijorat zotlari soniga ta'sir qiluvchi asosiy omil ularning yashash muhitining tabiiy sharoitlari yoki ularning tabiiy yo'q bo'lib ketish tezligi emas, balki inson faoliyati bilan bog'liq.

Shuning uchun sanoat miqyosida baliq ovlash jarayonini analitik tavsiflash uchun ularning populyatsiyasini baliq xo'jaliklari hisobidan to'ldirishni hisobga olgan holda, tabiiy resurslardan foydalanishni hisobga olish uchun taklif qilingan model tanlandi:

$$\begin{cases} X_{i+1} = P_0 \frac{X_i R_i}{R_i + X_i N_0} + P_1 \frac{A_i X_i}{A_i + N_1 X_i} \\ R_{i+1} = q_0 R_i - R_i \frac{P_0 X_i}{R_i + X_i N_0} + bA(i - \Delta_i) \\ A_{i+1} = q_1 A_i - A_i \frac{P_1 X_i}{A_i + N_1 X_i} + h \end{cases}$$

Bu erda i - baliqlarni ko'payish davrini populyatsiyalarning o'sish raqami; R_i -tabiiy sharoitda yashovchi baliqlar soni; X_i - baliqlarni ko'payish

davrida i raqam ostida hosil olish hajmi; A_i -fermer xo'jaliklarida etishtiriladigan aholi soni; P_0, p_1 — tabiiy sharoitda va fermer xo'jaliklarida hosil olish hajmining o'sishi; N_0, N_1 -haqiqiy sonlarni tavsiflovchi koeffitsientlar dengiz va fermer xo'jaliklarida baliq ovlash mumkin bo'lgan populyatsiyalar; q_0, q_1 -yovvoyi tabiatda va baliqlarni ko'payish davrini populyatsiyalarning o'sish sur'atlari uchun javob beradigan koeffitsientlar (biz $q_0 < 1, q_1 < 1$ holatini ko'rib chiqamiz, chunki model populyatsiyalarning o'sishini cheklaydigan tabiiy omillarni, masalan, oziq-ovqat etishmasligidan o'lim, noqulay yashash sharoitlari va boshqalarni hisobga olmaydi); h -populyatsiyaning o'sishi tabiiy resurslar hisobiga fermada yashaydigan; b — fermalar hisobiga populyatsiyani to'ldirish parametri; Δ_i -miqdori baliqlarni ko'payish davrini, bu davrda fermer xo'jaliklarida tabiiy resurslarni to'ldirish uchun mo'ljallangan mayda baliqlar etishtiriladi. Bunda

$$\frac{R/N_0}{X+R/N_0}, \frac{A/N_1}{X+A/N_1}$$

- baliq ovlashdan keyin populyatsiyaning umumiy sonidan qolgan qismlar, mos ravishda dengiz va fermer xo'jaliklarida. Biz tizimni (1) $b = 0$ va $h = 0$ da o'rganamiz, ya'ni fermalar hisobiga populyatsiyani to'ldirish sodir bo'lmaganda. Tizimning birinchi tenglamasining o'ng tomonida (1) barcha atamalar ijobiy bo'lganligi sababli, X_i birinchi navbatda ko'payadi. Tizimning ikkinchi va uchinchi tenglamalaridan xulosa qilishimiz mumkinki, tabiiy sharoitda yashovchi R_i populyatsiyasi va shu vaqtning o'zida fermer xo'jaliklarida etishtiriladigan A_i populyatsiyasi kamayadi, chunki;

$$R_{i+1} - q_0 R_i = - \frac{P_0 X_i R_i}{R_i + N_0 X_i}$$

(2) dan $R_i > R_{i+1}/q_0$ keladi. Shundan so'ng, biz quydagiga ega bo'lamiz

$$A_{i+1} - q_1 A_i = - \frac{P_1 X_i A_i}{A_i + N_1 X_i},$$

Xuddi shunday, (3) dan biz A_i kamayadigan tezlikni aniqlaymiz :

$$\frac{A_{i+1}}{A_i} = \frac{q_1 N_1 - P_1}{N_1} \stackrel{\text{def}}{=} d_1$$

Qaysi baliqlarni ko'payish davridan boshlab X_i qiymatlari pasayishni boshlashini aniqlaymiz. Buning uchun tizimning birinchi tenglamasidan olingan munosabatni ko'rib chiqing (1):

$$\frac{X_{i+1}}{X_i} = P_0 \frac{R_i}{R_i + N_0 X_i} + P_1 \frac{A_i}{A_i + N_1 X_i} < 1,$$

$$\frac{P_0 R_i N_1 + P_1 A_i N_0}{N_0 N_1} < X_i .$$

(2) formulani quyidagi shaklga o'tkazamiz:

$$\frac{R_{i+1}}{R_i} = q_0 - \frac{p_0 X_i}{R_i + N_0 X_i} = \frac{q_0 R_i + (q_0 N_0 - p_0) X_i}{R_i + N_0 X_i}$$

Agar $R_i \rightarrow 0$, $i \rightarrow \infty$ bo'lsa, unda chegarada

$$\frac{R_{i+1}}{R_i} = \frac{q_0 N_0 - p_0}{N_0}$$

Shunday qilib, ba'zi baliqlarni ko'payish davrini i dan boshlab, $R_{i+1} = R_i d_0$, bu erda $d_0 = (q_0 N_0 - p_0) / N_0$ — bu keyingi ovdan keyin populyatsiya sonining o'zgarishini tavsiflovchi o'lchovsiz koeffitsient. Umumiylikni cheklamasdan, biz $R(n) = R_1 d_0^{n-1}$ ekanligini qabul qilishimiz mumkin. Shunga o'xshash fikrlash bizni $A(n) = A_1 d_1^{n-1}$ uchun bir xil natijaga olib keladi, bu erda $d_1 = (q_1 N_1 - p_1) / N_1$. Tenglamalar tizimini echmasdan sonlarni aniqlash mumkin, berilgan parametr qiymatlari uchun baliqlarni ko'payish davrini n raqamini bashorat qilishga imkon beradi, shundan so'ng R_i va A_i pasayishni boshlaydi, natijada X_i kamayadi. Xususan, parametrlar maydonida R_i , A_i , X_i cheksiz o'sish mintaqalarini va ularning nolga intilish sohalarini ajratib turadigan chegaralarni birlashtiruvchi nuqtalar, egri chiziqlarni olish mumkin. Keyin (4) va (5) ni hisobga olgan holda biz $R_n = R_1 d_0^{n-1}$, $A_n = A_1 d_1^{n-1}$ ni olamiz va (6) ni o'zgartirib, nihoyat quydagiga ega bo'lamiz

$$\frac{p_0 N_1 R_1 d_0^{n-1} + p_1 N_0 A_1 d_1^{n-1}}{N_0 N_1 X_1} < (d_0 + d_1)^{n-1}$$

Oxirgi nisbatda tengsizlik belgisini tenglik bilan almashtirib, quyidagi tenglamadan n ni aniqlash mumkin:

$$\frac{(p_0 N_1 R_1 + p_1 N_0 A_1) \min(d_0^{n-1}, d_1^{n-1})}{N_0 N_1 X_1} = (d_0 + d_1)^{n-1}$$

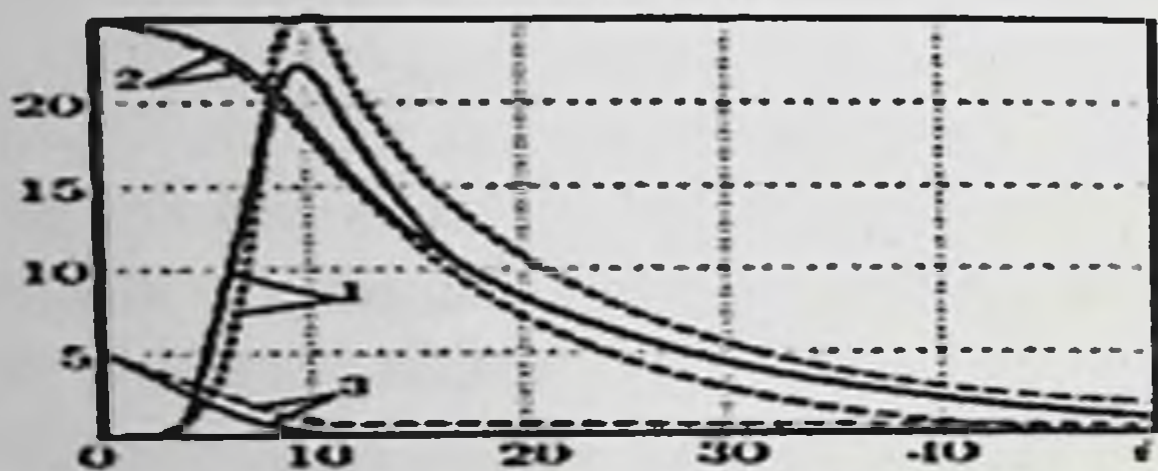
Misol tariqasida Kaspiy dengizida baliq ovlashni ko'rib chiqing. (1) tenglamalar tizimining echimini quyidagi koeffitsient qiymatlari bilan topamiz: $N_0 = 10$; $N_1 = 5$; $p_0 = 1,53$; $p_1 = 1,31$; $q_0 = 0,99$; $q_1 = 0,89$ va boshlang'ich shartlar $x_1 = 0,001$, $R_1 = 25$, $A_1 = 5$ (birliklar: baliqlarni ko'payish davri -yil, minglab tonna baliq ovlash hajmi). Biz baliq ovlash hajmi maksimal qiymatga yetadigan vaqtni taxmin qilamiz

$$d_0 = \frac{q_0 N_0 - p_0}{N_0} = 0,837, \quad d_1 = \frac{q_1 N_1 - p_1}{N_1} = 0,628.$$

Barcha raqamli qiymatlarni (7) ga almashtirib, n ga nisbatan ushbu tenglamani echsak, $n = 10$ — Baliqlarni ko'payish davri raqamini olamiz, shundan X_i pasayishni boshlaydi. Tabiiyki, agar x_1 baliq ovlashning

boshlang'ich qiymati kamroq qiymatga ega bo'lsa, unda ovning pasayishi natijasida baliqlarni ko'payish davrida baliqlar ko'payadi. $h=0$ va $b=0$ (qalin chiziqlar) va $h=0.15$ va $b=0$ (qirqilgan chiziqlar) uchun tizimning raqamli echimining natijalari 1-rasmda. Bu erda i yillarni bildiradi. Yechimni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, yovvoyi tabiatda (yoki faunaning boshqa vakillari) ning boshlang'ich katta populyatsiyasi mavjud bo'lganda va fermalar hisobiga populyatsiya to'ldirilmasa ($b=0$), ishlab chiqarish hajmini faqat birinchi marta oshirish mumkin. Keyin aholi soni halokatli darajada kamayadi va ishlab chiqarish darajasi fermer xo'jaliklarida ishlab chiqarish darajasida barqarorlashadi. Ushbu topilmalar 2-rasmda keltirilgan statistik diagramma bilan tasdiqlangan.

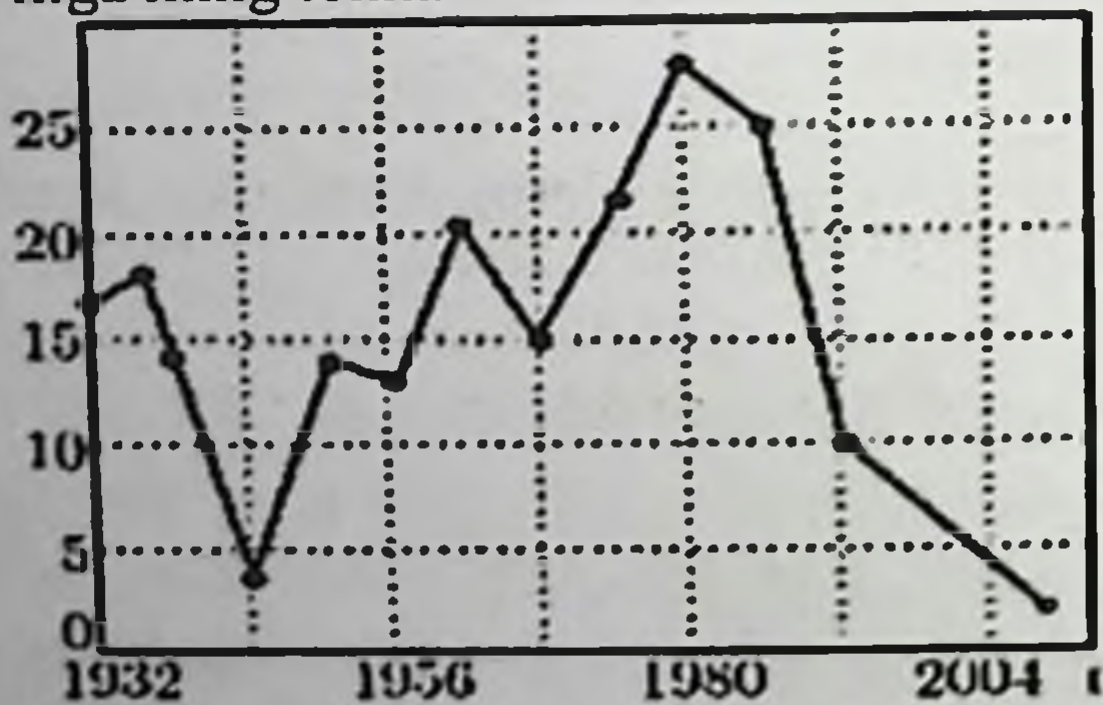
Ming tonna



Rasm: 1 tizim yechimini (1):

- 1- baliq ovlash hajmi.
- 2- tabiiy sharoitda R_i populyatsiyasi.
- 3- fermer xo'jaliklarida A_i populyatsiyasi:
- $h=0, b=0$ - to'liq chiziqlar;
- $h=0.15, b=0$ - shtrixli chiziqlar

Yiliga ming tonna

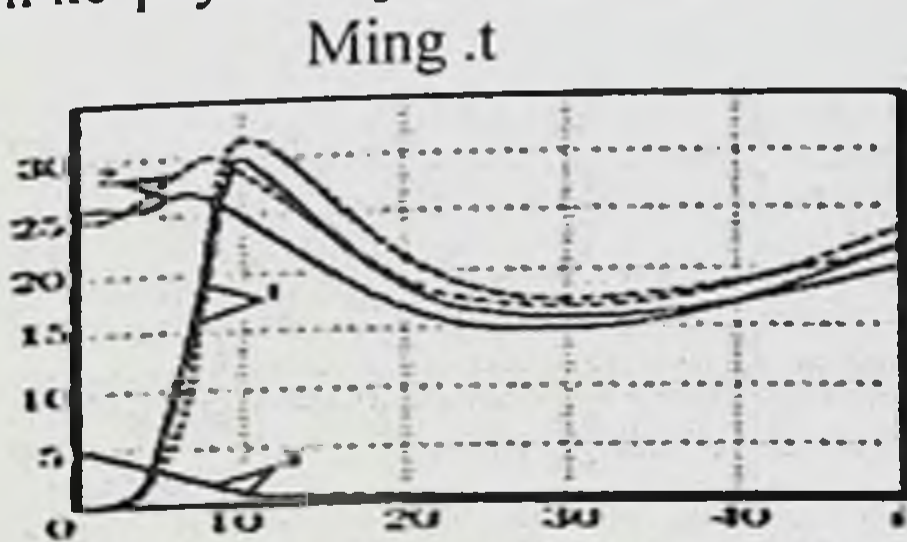


Rasm: 2. 1932 yildan 2007 yilgacha Kaspiy dengizida baliq turlarining ovlanishi

2-rasmdan ko'rinib turibdiki, baliq ovlash hajmi faqat qirqinchi yillarning o'rtalarida sezilarli darajada kamaydi, keyin ba'zi pasayishlar bilan baliq ovlash hajmi oshdi. Agar biz 1968 yildan boshlab baliq ovlash hajmining o'sishini tahlil qilsak, o'n yil ichida u eng yuqori darajaga ytgan

degan xulosaga kelishimiz mumkin, shundan so'ng uning tez pasayishi boshlandi, bu tizim echimidan ko'rinib turibdiki, (1) tizim ychimi populyatsiyasining halokatli kamayishi bilan bog'liq.

$B=0,1$, $\Delta i=3$ (to'liq chiziqlar) va $b=0,1$, $\Delta i=1$ (shtrixli chiziqlar) uchun tizimning raqamli echimining natijalari 3-rasmda tasvirlangan. Qarorning tahlili shuni ko'rsatadiki, tabiiy resurslarni fermer xo'jaliklarida yetishtirilgan mayda baliqchalar bilan to'ldirish ushbu populyatsiyalar soni va ularni ko'payish hajmining barqaror o'sishini ta'minlaydi.



Rasm.3. tizim yechimi (1):

- 1-baliq ovlash hajmi X_i
- 2-tabiiy sharoitda R_i populyatsiyasi.
- 3-fermer xo'jaliklarida A_i populyatsiyasi:
- $b=0,1$; $\Delta i=3$ - to'liq chiziqlar;
- $b=0,01$; $\Delta i=1$ - shtrixli chiziqlar

Shunday qilib, taklif qilingan model bo'yicha o'tkazilgan hisob-kitoblar natijalari shuni ko'rsatadiki, model tabiiy resurslarning kamayishi jarayonini sifat jihatidan aks ettiradi va baliqlar va boshqa hayvonlar va baliqlarning resurslarini to'ldirmasdan ularning zaxiralari tezda kamayadi va butunlay yo'q bo'lib ketishi mumkin. Ma'lum modellardan farqli o'laroq sanoat ovini hisobga oladigan baliqlar populyatsiyasi dinamikasini tavsiflash uchun yangi model (1) taklif qilindi. Farq tenglamalari tizimining ychimlarini tahlil qilish (1) taklif qilingan model va haqiqiy statistika yordamida olingan natijalarning sifat jihatidan mos kelishini ko'rsatdi.

4.8. Mushaklar qisqarishining matematik va fizik modellari

Mushaklarning qisqarish mexanizmlarini tushunish uchun matematik modellashtirish tadqiqotning muhim qismini tashkil qiladi. Biz dinamikani to'g'ridan-to'g'ri mushakda kuzata olmaymiz, ammo sarkomerning molekulyar tuzilishi va uning fizik-kimyoviy xususiyatlari haqidagi bilimlar asosida uning ishini modellashtirishimiz mumkin. Modelning etarlicligi mezoni-bu modeldagi mushaklarning makroskopik xususiyatlarini tavsiflashning eksperimental natijalar bilan mos kelish darajasi. Ushbu sohadagi asosiy taraqqiyot T. Xill, E. Xaksli va V. I. Deshcherevskiy ismlari

bilan bog'liq [1]. Mushaklarning qisqarishini matematik modellashtirish bir qator postulatlarga asoslanadi:

1. Har bir sarkomer tomonidan ishlab chiqilgan kuchlar tengdir, chunki bu elementlar ketma-ket bog'langan.

2. Elyaf tomonidan ishlab chiqilgan kuch 0,5 sarkomer qalinlikdagi qatlamdagi ko'prik kuchlarining yig'indisiga teng, chunki bu qatlamdagi ko'priklar ketma-ket bog'langan va sarkomerning o'ng va chap qismlari oyna nosimmetrikdir.

3. Elyaf uzunligining o'zgarish tezligi $\sqrt{2nv}$, bu erda n sarkomerlar soni, v – iplarning nisbiy siljish tezligi.

4. Ekvivalent yo'naltirilgan ko'priklar 42,9 nm masofada joylashgan va harakatlanish diapazoni 10-20 nm dan oshmaydi. Shunday qilib, erkin ko'prik yaqinida faqat erkin aktin markazi bo'lishi mumkin [2].

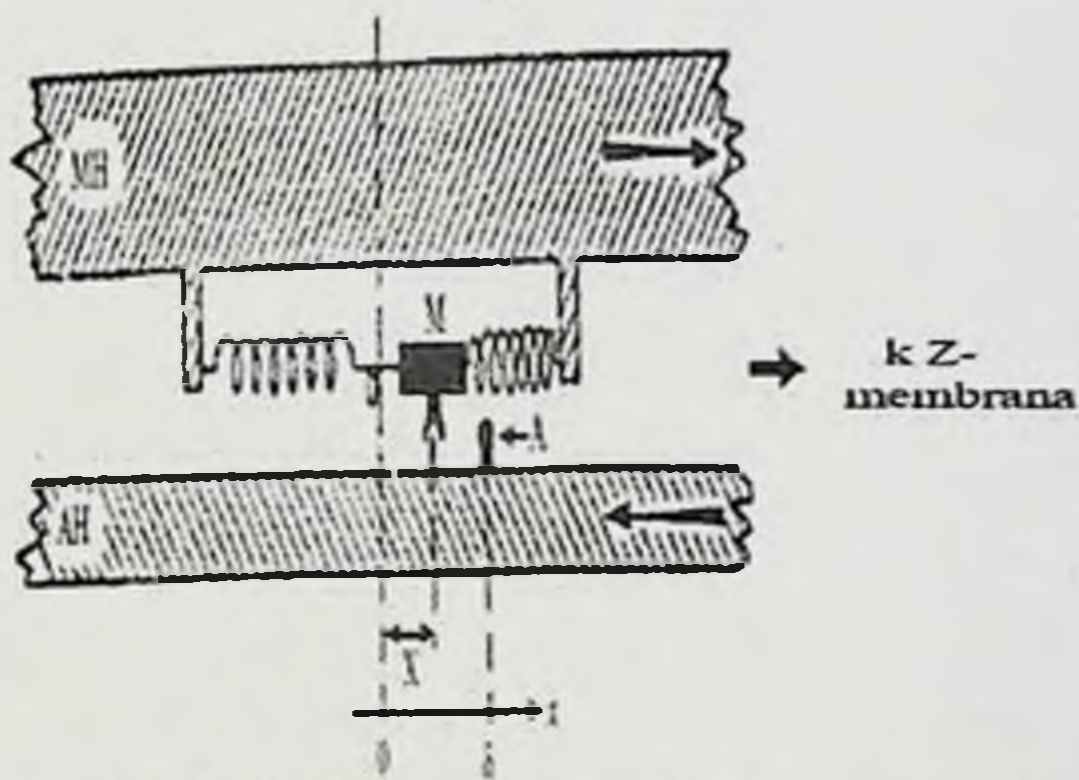
Hill Modeli

Ushbu model mushak-skelet tizimining bo'g'inlari harakatini qanday tushuntirishini ko'rib chiqing. Biz ikkita tushunchadan foydalanamiz: dam olish uzunligi va dam olishning muvozanat uzunligi. Dam olish uzunligi-kontraktil (kontraktil) komponentlarning kuchi maksimal bo'lgan mushak uzunligi. Muvozanat uzunligi - mushak yuklamasdan qabul qilishga intiladigan uzunlik. Birinchi holat: mushak ilgari cho'zilmagan, passiv, konsentrik (mushak uzunligi kamayadi) qisqarish rejimi. Mushakning qo'zg'alishi bilan kontraktil komponentda tortishish kuchi paydo bo'ladi, ammo mushak oxirida kuchning oshishi qayd etilmaydi. Buning sababi shundaki, mushak qo'zg'alganda, mushakning kontraktil komponenti uzunligining pasayishi ketma-ket elastik komponentning cho'zilishi bilan qoplanadi. Va faqat ketma-ket elastik komponent etarlicha cho'zilganida, mushak oxirida kuch o'zgarishi qayd etiladi. Bundan buyon cho'zilgan ketma-ket elastik komponent asl uzunligini tiklaydi. Bu holda chiqarilgan elastik deformatsiyaning energiyasi kinetik energiyaga aylanadi va unga ma'lum bir tezlikni beradi. Kontraktil komponentda qo'zg'alish to'xtatilgandan so'ng (tortish kuchi yo'q) va ketma – ket elastik komponentning asl uzunligiga erishilgandan so'ng (deformatsiyaning yo'qligi-elastik kuchning yo'qligi), aloqa inertsiya bo'ylab harakatlanadi. Ikkinchi holat: mushak ilgari cho'zilmagan, passiv, eksantrik (mushak uzunligi oshadi) qisqarish rejimi. Agar siz passiv mushakni cho'zsangiz, harakatning rivojlanishiga asosiy "hissa" parallel elastik komponentga tegishli bo'ladi. U cho'zilganda elastik kuch paydo bo'ladi, ammo passiv mushak kuchi va cho'zilish o'rtasidagi bog'liqlik chiziqli bo'lmaydi. Avvaliga mushak osonlikcha cho'zilib ketadi, ammo keyin ozgina cho'zish

uchun ham ko'proq kuch sarflash kerak bo'ladi. Uchinchi holat: mushak cho'zilmaydi, faol, eksantrik qisqarish rejimi. Agar siz ilgari hayajonlangan mushakni cho'zsangiz, unda kontraktil komponent rivojlanayotgan kuchga asosiy "hissa" qo'shadi. Keyin, bu "hissa" kamayganda, mushaklarning keyingi cho'zilishi parallel elastik komponent orqali kuchning oshishiga olib keladi [3].

Xaksli Modeli

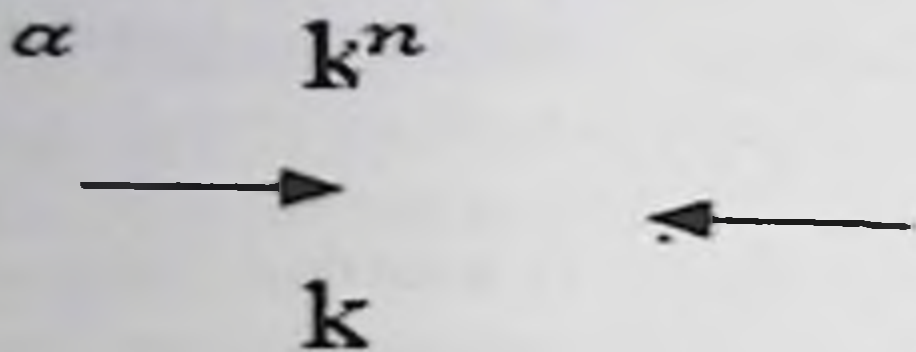
Mushaklarning qisqarishi jarayonini nazariy modellashtirishning asosiy yondashuvlari Xaksli iplarining siljishi nazariyasida shakllantirilgan (rasm. 1). Garchi u soddalashtirilgan va ko'priknining molekulyar tuzilishi haqidagi zamonaviy ma'lumotlarga mos kelmasa ham, uning misolida mushaklarning qisqarishini modellashtirishda ishlatiladigan asosiy tushunchalarni kiritish qulay.



Rasm. 1. E. Xaksli tomonidan miyozin ko'prigi modeli. Mn -miyozin filamenti, an -aktin filamenti, m -miyozin ko'prigining aktin bilan bog'lovchi segmenti, a – aktin markazi, δ – aktin markazining koordinatasi, 0 -miyozin ko'prigining muvozanat holati. O'qlar iplarning siljishiga nisbatan yo'nalishlarni ko'rsatadi

1-rasm ostida kiritilganlarni hisobga olgan holda x ko'priknining koordinatasi uning muvozanat holatidan og'ish qiymatiga teng. Δ koordinatasiga yetganida ko'prik aktin ipida yopiladi. Bunday holda, prujinaning elastik deformatsiyasi natijasida hosil bo'lgan kuch o'qlar tomonidan ko'rsatilgan yo'nalishlarda iplarning nisbiy harakatlarini keltirib chiqarishga intiladi. Iplarning bunday harakati ko'priknining X koordinata o'qi bo'ylab chapga harakatiga to'g'ri keladi. Bunda ko'prik tomonidan Guk qonuniga muvofiq ishlab chiqilgan kuch chiziqli ravishda kamayadi va $x < 0$

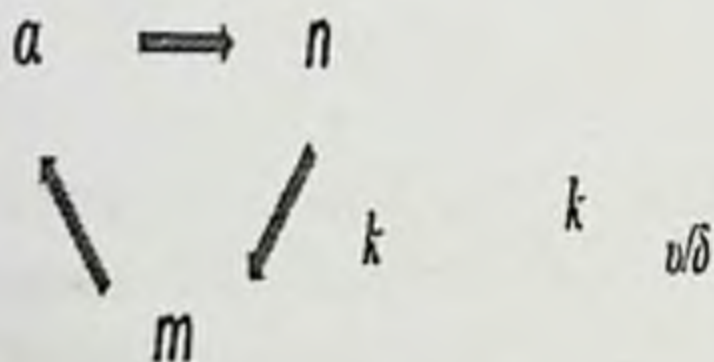
da manfiy bo'ladi. Bunday sxemadagi ko'prik sikli faqat ikkita holatni o'z ichiga oladi – erkin α va yopiq n :



bu erda: Ko'prik koordinatasining funktsiyalari K_1 -yopilish tezligi konstantasi, K_2 -ochilish tezligi konstantasi, [2].

V. I. Deshcherevskiy nazariyasi.

E. Xaksli nazariyasi V. I. Deshcherevskiy tomonidan takomillashtirilgan. Uning kinetik nazariyasida uch bosqichli kinetik siklli ko'prik modeli ko'rib chiqildi:



Rasm. 2. Mushaklarning qisqarishining kinetik modelidagi miyozin ko'prigining elementar siklining tasviri.

α ko'prikning bitta erkin holatini va ikkita yopiq holatni o'z ichiga olgan n tortish da $x > 0$ ("tortish" zonasi) va m tormozlashda $x < 0$ ("tormozlash" zonasi). Shunday qilib, Xaksli tomonidan e'lon qilingan bitta holat kuchning ortib boorishiga qarab ikkiga bo'linadi. Shunga asoslanib Deshcherevskiy modelining tenglamalari quydagi ko'rinishni oladi:

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= K_1 a(l) - K_1(n + m) - \frac{v}{\delta} n \\ \frac{dm}{dt} &= -K_2 m + \frac{v}{\delta} n \end{aligned} \quad (1)$$

$$2NM \frac{dv}{dt} = (n - m)f - P$$

bu erda n va m -tortish va tormozlash ko'priklari soni, (1) tenglama esa - sarkomerning l yarmining qisqarishiga bog'liq bo'lgan barcha faol

ko'priklarning soni, p -mushakka qo'llaniladigan tashqi kuch, M -tashqi yukning massasi, N -mushakdagi sarkomerlar soni, v -bitta sarkomerning qisqarish tezligi, $\frac{dl}{dt}$ ga teng .

k_1 va k_2 konstantalari-mos ravishda erkin ko'priklarning yopilish tezligini va yopiq ko'priklarning ochilish tezligini tavsiflaydi [4].

LUG'AT.

"Mikro va makroiqtisodiy jarayonlarni modellashtirish" kursi bo'yicha lug'at

("strategik rejalashtirish" ixtisosligi)

Modelning etariligi-bu o'rganilayotgan ob'ektning xususiyatlarini, holatini va xatti-harakatlarini maqsadlar uchun etarli aniqlik bilan va uning holati va atrof-muhit holatining etarlicha keng o'zgarishi bilan takrorlash qobiliyatidan iborat bo'lgan modelga qo'yiladigan talab. Modelning etariligi uchun etarli shart uning o'rganilayotgan ob'ektga homomorfizmidir.

Analitik modellar-simulyatsiya qilingan tizimning tuzilishini o'rganish uchun ishlab chiqilgan *matematik modellar*. Iqtisodiy va matematik modellashtirishda, qoida tariqasida, ular modellashtirilgan tizim samaradorligini oshirish uchun zaxiralarni yoki iqtisodiy faoliyatning o'rganilayotgan ko'rsatkichlariga ta'sir qiluvchi omillarni, shuningdek ularning ta'sir shakllari va darajalarini aniqlashga qaratilgan.

Posterior echim-stoxastik ikki bosqichli modellarda-iqtisodiy natijalarga ta'sir qiladigan ma'lum bir tasodifiy hodisaning paydo bo'lishi to'g'risida ma'lumot olgandan keyin bajariladigan rejalashtirilgan vazifalarni tavsiflovchi o'zgaruvchilarning maqbul qiymatlari vektori. Tasodifiy hodisalarning har bir varianti (natijasi) uchun alohida posterior echim taqdim etiladi.

Aprior echim-stoxastik ikki bosqichli modellarda-kutilayotgan iqtisodiy natijalarga ta'sir qiladigan tasodifiy hodisalar to'g'risida ma'lumot olishdan oldin bajarilishini talab qiladigan rejalashtirilgan vazifalarni tavsiflovchi o'zgaruvchilarning maqbul qiymatlari vektori.

Balans-iqtisodiy va matematik modellashtirishda-resurs manbalari va undan foydalanish yo'nalishlari o'rtasidagi yozishmalarni belgilaydigan tenglama yoki tengsizlik. Agar mavjud resurs manbalaridan qoldiqsiz foydalanish kerak bo'lsa yoki qoldiqning mavjudligi iqtisodiy ta'sirga ta'sir qilsa (yo'q qilish xarajatlarini talab qilsa yoki foyda keltirishi mumkin bo'lsa, tenglamalar qo'llaniladi.bozorda sotilgan). Aks holda, balanslar tengsizliklar shaklida yoziladi, unga ko'ra resursdan umumiy foydalanish uning mavjud manbalari hajmidan oshmaydi.

Vektorli dasturlash - (1) vektorli dasturlash muammolarini hal qilish usullarini o'rganadigan matematikaning bo'limi; (2) vektorli dasturlash muammosi shaklida simulyatsiya qilingan ob'ektlarning tuzilishi haqidagi bilimlarni ifodalash uchun ishlatiladigan rasmiyatchilik.

O'zaro munosabat (matematik dasturlashda) — bu konveks (shu jumladan chiziqli) dasturlash muammolarining mulki bo'lib, u optimal echimning o'zgarmasligi va Lagranj omillari shkalasiga aniqlik bilan O'zgarmaslikdan iborat bo'lib, maqsad funksiyasini har qanday samarali cheklov bilan almashtiradi. oldingi maqsad funksiyasining qiymati optimal qiymatga teng bo'lib qoladi.

Gomomorfizm-bu ikki tizim tuzilmalari o'xshashligining bir tomonlama munosabati. Tizim boshqa tizimning homomorfik deb ataladi, agar uning o'zgaruvchilarining har qanday ruxsat etilgan vektorini boshqa tizimning ba'zi tanlangan o'zgaruvchilarining vektoriga ko'rsatadigan munosabatni ko'rsatish mumkin bo'lsa, uning tarkibiy qismlari uning holatining ba'zi ruxsat etilgan vektorining tarkibiy qismlari hisoblanadi. Model uchun majburiy talab uning modellashtirilgan ob'ektga homomorfizmidir.

Ikki tomonlama baholash-ma'lum bir cheklovning erkin a'zosi qiymatining ozgina o'zgarishi bilan *matematik dasturlash* muammosining maqsadli funksiyasi qiymatining oshishini tavsiflovchi qiymat; matematik dasturlash muammosining cheklovlarining erkin shartlari funksiyasi sifatida ko'rib chiqilgan maqsad funksiyasining optimal qiymatining qisman hosilasi, ushbu cheklovning erkin a'zosi kattaligi bo'yicha. Cheklov birligi uchun maqsadli funktsiya birliklari bilan o'lchanadi.

Deskriptiv modellar-*modellashtirilgan* ob'ektning tuzilishi haqidagi bilimlarni rasmiylashtirishga qaratilgan modellar.

Vektorli dasturlash vazifasi-o'zgaruvchilarning ruxsat etilgan qiymatlarining ma'lum bir to'plamida berilgan vektor funksiyasining *Pareto optimalligini* topish vazifasi.

Simulyatsiya modeli-o'rganilayotgan ob'ektning xatti-harakatlarini takrorlaydigan va turli xil tashqi sharoitlarda va boshqaruv ta'sirida ob'ektning ishlash xususiyatlarini aniqlaydigan kompyuter tajribalarini o'rnatish uchun ishlatiladigan *matematik model*.

Chiziqli dasturlash — (1) chiziqli tenglamalar va (yoki) tengsizliklar tizimi tomonidan berilgan o'zgaruvchilarning ruxsat etilgan qiymatlari to'plamida chiziqli funktsiyaning ekstremumini topish muammolarini o'rganadigan matematik dasturlash bo'limi; (2) tizim tomonidan berilgan o'zgaruvchilarning ruxsat etilgan qiymatlari to'plamida chiziqli funktsiyaning ekstremumini topish muammosi shaklida modellashtirilgan ob'ektlarning tuzilishi haqidagi bilimlarni ifodalash uchun ishlatiladigan rasmiyatchilik chiziqli tenglamalar va (yoki) tengsizliklar.

Makroiqtisodiy model-*bu modellashtirilgan iqtisodiy tizimni tashkil etuvchi alohida xo'jalik yurituvchi sub'ektlarni (korxonalar, tarmoqlar) tavsiflovchi o'zgaruvchilar ajratilmaydigan va faqat ushbu tizimga xos bo'lgan aloqalarni butun sifatida aks ettiradigan iqtisodiy va matematik model.*

Matematik model-o'rganilayotgan tizimga homomorfik bo'lgan va uning xususiyatlari va xatti-harakatlarini baholash uchun ishlatiladigan matematik bog'liqliklar to'plami.

Matematik modellashtirish-haqiqiy ob'ektlarni matematik modellarida eksperimentlar o'tkazish orqali o'rganish usuli.

Matematik dasturlash - (1) o'zgaruvchilarning ruxsat etilgan qiymatlarining ma'lum bir to'plamida ekstremumni topish muammolarini hal qilish usullarini o'rganadigan matematikaning bo'limi; (2) o'zgaruvchilarning ruxsat etilgan qiymatlarining ma'lum bir to'plamida ekstremumni topish muammosi shaklida simulyatsiya qilingan ob'ektlarning tuzilishi haqidagi bilimlarni ifodalash uchun ishlatiladigan rasmiyatchilik.

Makroiqtisodiy model-*bu modellashtirilgan iqtisodiy tizimni tashkil etuvchi turli xil xo'jalik yurituvchi sub'ektlarni (korxonalar, tarmoqlar) tavsiflovchi o'zgaruvchilar va ushbu sub'ektlar o'rtasidagi munosabatlarning matematik tavsifi mavjud bo'lgan iqtisodiy va matematik model.*

Model-uni o'rganish uchun ishlatiladigan haqiqiy ob'ektning soddalashtirilgan o'xshashligi.

Maqsad funksiyasining cheksizligi-*matematik dasturlash muammosi o'zgaruvchilarining ruxsat etilgan qiymatlari to'plamida maqsad funksiyasining o'zboshimchalik bilan katta qiymatini beradigan qiymatlar mavjud bo'lgan holat. Agar maqsad funksiyasining cheksizligi mavjud bo'lsa, muammoning maqbul echimi yo'q.*

Cheklovlar tizimining nomuvofiqligi-*bu to'plamni belgilaydigan o'zaro eksklyuziv tenglamalar yoki tengsizliklar mavjudligi sababli matematik dasturlash muammosi o'zgaruvchilarining ruxsat etilgan qiymatlari to'plami bo'sh bo'lgan holat. Tizimning mos kelmasligi bilan ruxsat etilgan qiymatlarning yo'qligi sababli, muammoni optimal hal qilishda cheklovlar mavjud emas.*

Resursni (mahsulotni) ob'ektiv ravishda baholash-*mavjud resurs hajmining kichik o'zgarishi yoki mahsulot ishlab chiqarish uchun rejalashtirilgan topshiriq miqdori tufayli iqtisodiy samaraning o'sishi qiymati. Iqtisodiy va matematik modellashtirishdan foydalanganda, tegishli*

cheklovning ikki tomonlama bahosiga teng. Resurs (mahsulot) birligiga qarab iqtisodiy ta'sirni o'lchash birliklarida o'lchanadi.

Optimal reja-tenglamalar va tengsizliklar tizimi shaklida berilgan talablarga rioya qilgan holda rejalashtirish obyekti faoliyati samaradorligining tanlangan mezonini aks ettiruvchi maksimal maqsadli funktsiyani etkazib beradigan reja. Optimal reja tasdiqlanishi va keyinchalik bajarilishi kerak bo'lgan eng yaxshi reja bo'lishi shart emas, chunki u faqat matematik shaklda tavsiflangan iqtisodiy faoliyat shartlarini hisobga oladi. Ko'pgina hollarda, rejalashtirish jarayoni turli xil optimal rejalaridagi ma'lumotlardan foydalanishni talab qiladi.

Optimallashtirish modeli-matematik dasturlash muammosi shaklidagi *matematik model*.

Pareto optimali — vektor uchun maqbul $x^* \in X$, berilgan vektor funktsiyasini etkazib beradi $f(x)$ qiymati, buning uchun $\epsilon \rightarrow 0$ mavjud emas, shunda quyidagilar bajariladi: $x^* + \epsilon \in X$, $f(x^* + \epsilon)$ ning hech bir komponenti mos keladigan $f(x)$ komponentidan kam emas va kamida bitta komponent ko'proq.

Sintetik modellar-ma'lum xususiyatlarga ega bo'lgan ma'lum tizimlardan farq qiladigan yangi tizimlarni loyihalash uchun ishlab chiqilgan *matematik modellar*. Sintetik iqtisodiy va matematik modellar qatoriga, masalan, mashina-traktor parki modellari, investitsiya dasturlarini shakllantirish modellari va boshqalar kiradi.

Matematik modellar tizimi-iqtisodiy ob'ektning (iqtisodiy, tashkiliy, texnologik, moliyaviy va boshqalar) Real muhit sharoitida ishlashining muhim qonuniyatlarini aks ettiruvchi mantiqiy, axborot va algoritmik jihatdan bog'liq *matematik modellar* to'plami (P. P. Pasternak).

Tizimni modellashtirish-matematik modellar tizimi (P. P. Pasternak) yordamida amalga oshiriladigan, ularni boshqarish uchun murakkab yoki juda murakkab tuzilishga ega tizimlarning tashqi muhitidagi xususiyatlarini, holatini va xatti-harakatlarini taqlid qilish jarayoni.

Tizimli tahlil-o'rganilayotgan tizimning tuzilishini o'rnatishga qaratilgan ilmiy bilish usuli. Tizimni tahlil qilish usuli *matematik modellashtirish* usulining zaruriy shartidir.

Stoxastik ikki bosqichli modellar-tasodifiy sharoitlar to'g'risidagi ma'lumotlar (apriori yechim) va tasodifiy sharoitlar to'g'risidagi ma'lumotlarga bog'liq bo'lgan rejalar variantlarini (*posteriorli yechim*) olishdan oldin amalga oshiriladigan rejani tavsiflovchi o'zgaruvchilarni o'z ichiga olgan iqtisodiy-matematik modellar.

Nazariy model-o'rganilayotgan ob'ektning tuzilishini umumiy shaklda, parametrlarning aniq raqamli qiymatlarini tavsiflamasdan tavsiflovchi matematik model.

Optimal rejaning barqarorligi-chiziqli dasturlash muammosi shakliga ega bo'lgan matematik modellarning xususiyati bo'lib, u cheklovlarning erkin shartlari ma'lum chegaralarda o'zgarganda cheklovlarning ikki tomonlama baholarining o'zgarmasligidan va maqsadli funktsiya parametrlari ma'lum chegaralarda o'zgarganda o'zgaruvchilar qiymatlarining o'zgarmasligidan iborat.

Ekonometrik modellar-iqtisodiy va matematik modellar, ularning maqsadi o'rganilayotgan iqtisodiy tizim parametrlarining qiymatlarini to'g'ridan-to'g'ri kuzatish mumkin emas. Qoida tariqasida, ular kerakli parametrlarni o'z ichiga olgan o'rganilayotgan tizimning nazariy modelining empirik spetsifikatsiyasi bo'lib, u ma'lum bir statistik usul yordamida mavjud empirik ma'lumotlar asosida baholanadi (masalan, eng kichik kvadratlar usuli, ma'lumotlarni o'rash usuli, maksimal entropiya usuli va boshqalar).

Iqtisodiy va matematik modellashtirish-boshqariladigan tizimning eng muhim munosabatlari va xatti-harakatlari qonuniyatlarining matematik shaklda jamlangan ifodasi (V. S. Nemchinov).

Empirik model-qiymatlari tajriba yoki kuzatuv ma'lumotlari bilan asoslangan raqamli parametrlarni o'z ichiga olgan matematik model.

Rasmiyatchilik - (1) bilimlarni namoyish qilish uchun ishlatiladigan ramziy tizim; (2) bilimlarni namoyish etishning lingvistik (vizual) va protsessual (hisoblash) vositalari to'plami.

Tizimlarni taqdim etish shakli-ma'lum bir tadqiqot yoki amaliy muammolarni hal qilish uchun qo'llanilishi asosida ajratilgan tizim haqidagi bilimlarning ramziy tasvirlari sinfi. Masalan, kibernetik tizimning shakli ushbu tizimni boshqarishga vositachilik qiladigan axborot jarayonlarini o'rganishga qaratilgan.

Maqsad funktsiyasi-o'rganilayotgan tizimning matematik modelida ishlash samaradorligining tanlangan mezonini aks ettiruvchi matematik ifoda.

Ekonometrik modellar-iqtisodiy va matematik modellar, ularning maqsadi o'rganilayotgan iqtisodiy tizim parametrlarining qiymatlarini to'g'ridan-to'g'ri kuzatish mumkin emas. Qoida tariqasida, ular kerakli parametrlarni o'z ichiga olgan o'rganilayotgan tizimning nazariy modelining empirik spetsifikatsiyasi bo'lib, u ma'lum bir statistik usul yordamida

mavjud empirik ma'lumotlar asosida baholanadi (masalan, eng kichik kvadratlar usuli, ma'lumotlarni o'rash usuli, maksimal entropiya usuli va boshqalar).

Iqtisodiy va matematik modellashtirish-boshqariladigan tizimning eng muhim munosabatlari va xatti-harakatlari qonuniyatlarining matematik shaklda jamlangan ifodasi (V. S. Nemchinov).

Empirik model-qiymatlari tajriba yoki kuzatuv ma'lumotlari bilan asoslangan raqamli parametrlarni o'z ichiga olgan *matematik model*.

ADABIYOTLAR

1. Звонарев, С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие / С.В. Звонарев. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 112 с.
2. «Математические модели в иммунологии и эпидемиологии инфекционных заболеваний» А.А.Романюха БИНОМ «Лаборатория знаний», 2011, 293 с.
3. Амосов Н. М., Палец Б. Л., Агапов Б. Г. и др. (1977). Теоретические исследования физиологических систем. Математическое моделирование. Киев, Наукова думка.
4. Мосткова Е.В. (1988). Разработка математической модели сердца для применения в физиологических исследованиях. Acta et Comm. Univ. Tartuensis, 800, 80-91.
5. Ю.В. (1988). Математическая модель сердечно-сосудистой системы для прикладных имитационных задач физиологии и медицины. Acta et Comm. Univ. Tartuensis, 800, 92-113.
6. Г.М. Порсаев, А.Э. Кубаев. Современные гипертехнологии офисных приложений. Учебное пособие. — Самарканд: из-ство СамГУ, 2022 г.— 196 с.
7. Амосов Н. М., Лищук В. А., Пацкина С. А. и др. (1969). Саморегуляция сердца. Киев, Наукова думка.
8. Бозоров Э.Х. Медицинская информатика. -Т .: «Fan va texnologiya», 2019,352 стр.
9. Омельченко В.П., Демидова А.А. практикум по медицинской информатике 2001г. 101000, Москва, ул. Покровка, д.25, стр.1, оф.2.
10. Х.С Далиев,Э.Х Бозоров в/б . Медицинская электроника. -Т .:, «Fan va texnologiya», 2019,400 стр.
11. Медицинская литература: Клиническая лабораторная диагностика. Учебник в 2-х томах. Том 2 - 2021г. Авторы: Кишкун А.А., Беганская Л.А. - ГЭОТАР-Медиа (2021)
12. Руденко О.В. и Сарвазян А.П. Волновая биомеханика скелетной мышцы // Акустический журнал, 2006.
13. Галкин А.В. и Дятчина Д.В. Численное решение математических моделей объектов, заданных составными системами дифференциальных уравнений // Современные проблемы науки и образования, 2011.

14. Дещеревский В.И. Математические модели мышечного сокращения [Книга] [б.м.]: Наука, 1977.
15. Селицкая Е.А. Моделирование мышечного сокращения [Статья] // Вестник СанктПетербургского университета. Санкт-Петербург: Вестник Санкт-Петербургского университета, 2009.

"Internet" axborot-telekommunikatsiya tarmog'i resurslari ro'yxati

1. Perm GATU kutubxonasining elektron katalogi [elektron resurs]: ma'lumotlar bazalarida barcha turdagi adabiyotlar haqida ma'lumotlar mavjud., Perm GATU kutubxonasi fondiga kiruvchi. - Elektron.berilgan. (251 141 ta yozuv). Perm: [b.i., 2005]. Kirish cheklanmagan. <https://pgsha.ru/generalinfo/library/webirbis/>
2. O'zining elektron kutubxonasi. Kirish cheklanmagan <https://pgsha.ru/generalinfo/library/elib/>
3. Garant tizimi: elektron davriy ma'lumotnoma [elektron resurs]. Elektr.berilgan. (7162 Mb: 887 970 ta hujjat). - [B. I., 199 -]; muddat cheklanmagan. Universitet binolaridan kirish.
4. ConsultantPlus: ma'lumot va qidiruv tizimi [elektron resurs]. Elektr.berilgan. (64 231 7651 ta hujjat) [B. I., 199]. Muddat cheklanmagan. Universitet binolaridan kirish.
5. Lan nashriyot markazining EBS veterinariya va qishloq xo'jaligi, o'rmon xo'jaligi va o'rmon injener ishi; muhandislik-texnika fanlari, Informatika, oziq-ovqat ishlab chiqarish texnologiyalari, asarlarga bo'limlardan alohida kirish (39 nom). <http://e.lanbook.com/> kirish cheklanmagan.
6. "EBS Yurayt" elektron kutubxona tizimi www.biblio-online.ru
7. Rukont Milliy raqamli resurs elektron kutubxona tizimi. K. A. Timiryazev nomidagi RGAU MXA FGBOU VPO dissertatsiyalari avtoreferatlari elektron kutubxonasi to'plami (1992 yildan hozirgi kungacha hujjatlar to'plami), qishloq xo'jaligi mavzusidagi to'plam. O'rmon xo'jaligi. <http://rucont.ru/> kirish cheklanmagan.
8. Ilmiy elektron kutubxona MCHJ. Rossiya Internet tarmog'idagi integratsiyalashgan ilmiy axborot portali, shu jumladan ilmiy nashrlarning ma'lumotlar bazalari va fan va oliy ta'limni axborot bilan ta'minlash xizmatlari. (RSCI o'z ichiga oladi - rus mualliflari nashrlarining bibliografik ma'lumotlar bazasi va SCIENCE INDEX - rus olimlari va ilmiy tashkilotlarining nashr faoliyati bo'yicha tahliliy va statistik tadqiqotlar o'tkazishga imkon beradigan axborot-tahliliy tizim). <http://elibrary.ru/> kirish cheklanmagan.

9. "Grebennikov" MCHJ. Grebennikon elektron kutubxonasi Grebennikov nashriyotining ixtisoslashtirilgan jurnallarida chop etilgan maqolalar mavjud bo'lib, unda iqtisodiyot bo'yicha keng ko'lamli masalalar (shu jumladan marketing, menejment, xodimlarni boshqarish, moliyaviy menejment va boshqalar) yoritilgan. <http://grebennikon.ru>. kirish cheklanmagan.
10. "Ai Pi er Media" MCHJ. IPRBOOKS EBS ma'lumotlar bazasi. Platforma orqali tematik to'plamlar "Informatika va kompyuter muhandisligi", "Geodeziya. Yer tuzish, texnik fanlar. <http://www.bibliocomplectator.ru/>. kirish cheklanmagan.
11. "To'liq vakil ma'lumotnomalari" MCHJ. EBS Polpred.com (Polpred.kom). Rossiya Federatsiyasida va chet ellarda Agroprom elektron nashrlariga kirish. Kirish cheklanmagan.
12. Samarqand davlat tibbiyot universiteti. O'zbekiston. https://www.sammu.uz/pages/use_site_materials. kirish cheklanmagan.
13. Samarqand davlat tibbiyot universiteti https://t.me/sammu_education

A.E.Kubayev, E.X.Bozorov

**TIBBIYOTDA MATEMATIK MODELLARNI QURISH VA
RAQAMLI AMALGA OSHIRISH**

O'quv qo'llanma

Muharrir: S. Karimova
Musahhih: M. Sattarova
Tex.muharrir: Sh. Sohibov

ISBN 978-9910-9151-4-7

Bosmaxona tasdiqnomasi:



4268

Nashriyot tasdiqnomasi:

№ 1243-7560-5999-432c-2125-1211-8655

Bosishga ruxsat etildi: 11.09.2024-yil.

Ofset bosma qog'ozi. Qog'oz bichimi 60x84 1/16.

"Times New Roman" garniturasini. Ofset bosma usuli.

Hisob nashriyot t.: 13,1. Shartli b.t.: 10,4.

Adadi: 100 nusxa. Buyurtma 205.

SamDCHTI tahrir-nashriyot bo'limida chop etildi.

Samarqand sh., Bo'stonsaroy ko'chasi, 93-uy.

ISBN 978-9910-9151-4-7



9 789910 915147