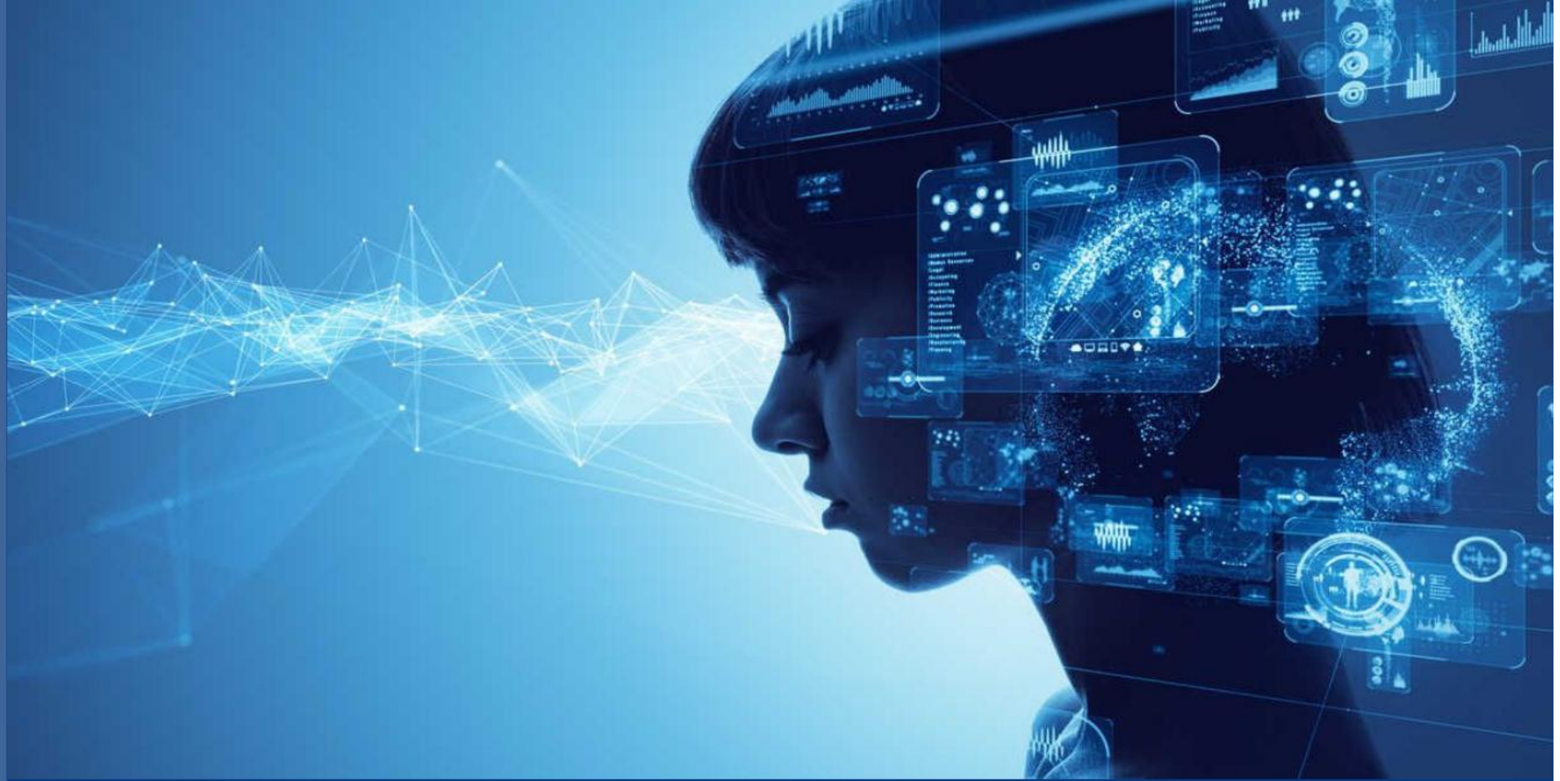
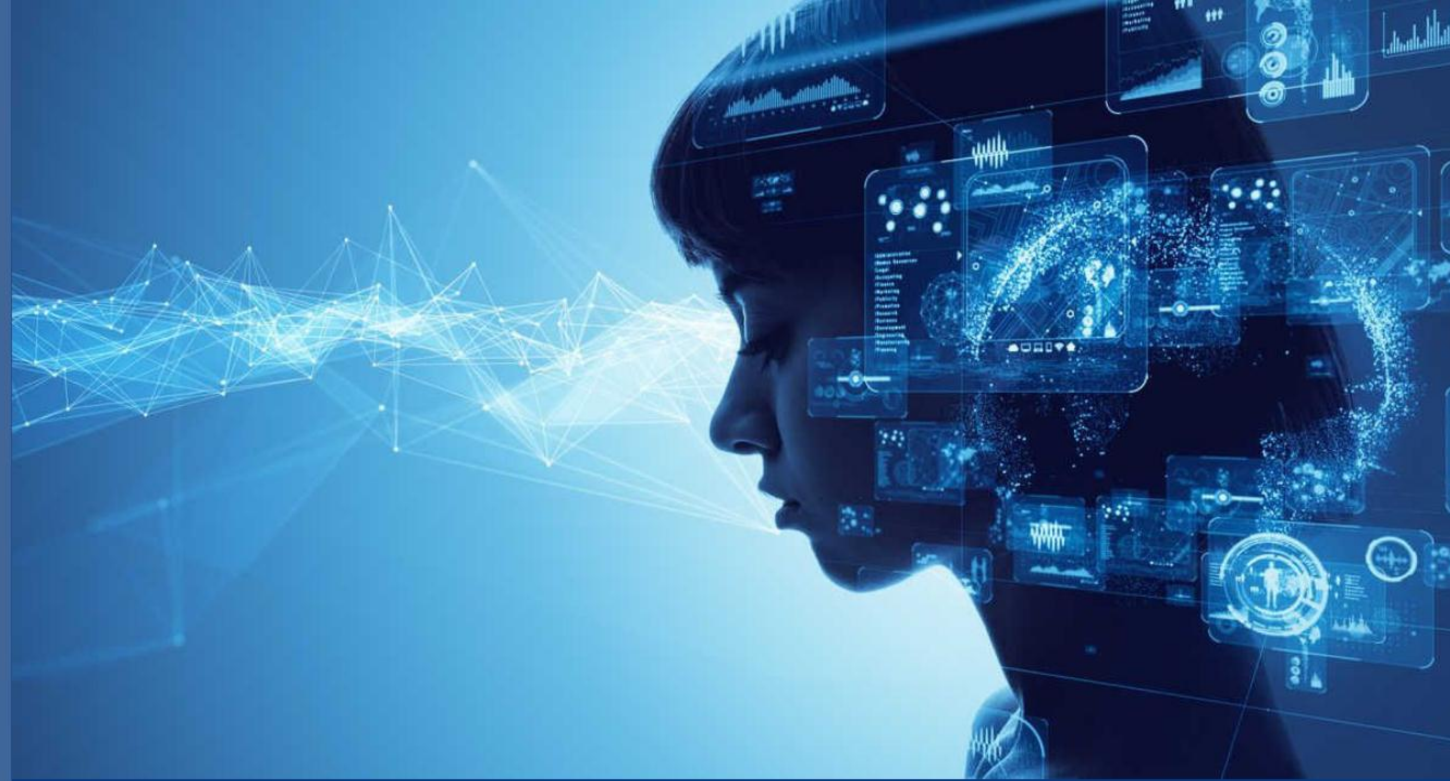


Muhamediyeva Dildora Kabilovna

NOCHIZIQLI MUQOBILLASHTIRISH MASALALARINI YECHISH MUAMMOLARI



Muhamediyeva Dildora Kabilovna

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALAR UNIVERSITETI
HUZURIDAGI AXBOROT-KOMMUNIKATSIYA
TEXNOLOGIYALARI ILMIY-INNOVATSION MARKAZI

Muhamediyeva Dildora Kabilovna

NOCHIZIQLI MUQOBILLASHTIRISH MASALALARINI YECHISH MUAMMOLARI

TOSHKENT – 2021
“NAVRUZ” NASHRIYOTI

UO’K: 330.115
KBK 79.14(5O`z)
M 20

D.K.Muhamediyeva. «Nochiziqli muqobillashtirish masalalarini yechish muammolari». Toshkent: Monografiya – Toshkent; «Navruz» nashriyoti, 2021.300 bet.

Mazkur ishda nochiziqli sust shakllangan jarayonlarning muqobillashtirish, modellarini qurish, ularni noravshan axborotni qayta ishlash asosida hamda evolyutsion algoritmlar yordamida amaliyotga tadbiq etish kabi dolzarb nazariy-uslubiy masalalar ko’rib chiqilgan. Qo’llanilayotgan matematik apparatning noan'anaviyligi hisobiga kitobda noravshan kattaliklar va evolyutsion algoritmlar asosida modellashtirish masalalarini tizimlashtirilgan izohiga katta e'tibor qaratiladi. Izoh qat'iy, ayni vaqtda tushunarli shaklda olib boriladi. Hamma asosiy holat va amallar ko’pgina misollar bilan tasvirlanadi.

Kitob keng doiradagi o’quvchilar, shu jumladan, amaliy matematika bo’yicha mutaxassislar, injenerlar, hamda matematik iqtisodiyot, tizimlar nazariyasi, qaror qabul qilishning umumiy masalalariga qiziquvchi shaxslarga mo’ljallangandir.

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalar universiteti huzuridagi axborot-kommunikatsiya texnologiyalari ilmiy-innovatsion markazi ilmiy kengashi tomonidan bosmaga tavsiya etilgan

Mas’ul muharrir

O’zR FA ning akademigi Bekmuratov T.F.

ISBN 978-9943-602-26-7

MUNDARIJA

1-bob. NOANIQLIK SHAROITIDA MATEMATIK MODELLASHTIRISH

1.2. Ma'lumotlarni tahlil qilish matematik modellashtirishning vositasi sifatida

Obyektlarni ma'lumotlarni tahlil qilish usullari asosida modellashtirish xususiyatlarini tahlil qilishdan avval, tadqiqotchi modelni qurishdan avval o'z oldiga qo'yadigan maqsadiga to'xtalib o'tamiz. Bu o'rganilayotgan jarayonning mazmunini chuqurroq anglash, mazmunga ko'ra ahamiyatli bo'lgan omillarning o'zaro bog'lanishlardagi qonuniyatlarini aniqlash, bir qator obyektlar o'rtasidagi o'xshashlikni aniqlashga intilish kabilar bo'lishi mumkin. Lekin ko'pincha matematik model u yoki bu boshqaruv ta'sirlarning samaradorligini baholash uchun, uning asosida obyekt rivojlanishining bashoratli hisoblashlarni olib boorish maqsadida ishlab chiqiladi. Agar bunda tadqiqotga moyil obyekt yoki jarayon ma'lum bir tarixga ega bo'lgan bo'lsa (bunday holat- istisnoga qaraganda, qoidadir), u holda bashoratli modelni qurishda mazmuniy, shakily vositalarni jalb etgan holda ushbu tarixni o'rganib chiqish mumkin. Buning asosi bo'lib, jarayon u yoki bu ma'noda inersiyaviy bo'lsa, u holda uning oldingi jadalliklari kelajakda namoyon bo'lishi tog'risidagi umumiy tezis xizmat qiladi. Bunda retrospektiv axborotni qayta ishlash sifati alohida ahamiyatga ega. Uni o'rganilayotgan obyekt funksionallashuvining u yoki bu qirralari to'g'risidagi yolg'on xulosalarga kelmaslik uchun to'laligicha (chunki bir qator kuzatishlar ko'pincha qisqa uzunlikka ega bo'ladi) va to'g'ri ishlatish lozim.

Har xil tabiatli obyektlarning matematik modelini qurish maqsadida turli jinsdagi axborotni qayta ishlashning samarali vositasi ma'lumotlar tahlili (ko'pincha "amaliy statistika" atamasi qo'llaniladi, lekin bu unchalik to'g'ri emas) dir. Uning doirasida matematik modellarni qurishga mo'ljallangan ma'lumotlarni qayta ishlashning ko'plab usullari ishlab chiqilgan.

Agar ma'lumotlarni tahlil etish bo'yicha mashhur mutaxassis S.A.Ayvazyanning fikriga quloq solsak, joriy ma'lumotlarni interpretasiyalashning ikkita variant, ya'ni ularni statistic qayta ishlashga ikkita yondashuv mavjud [2]. Ularning birinchisida ma'lumotlar ehtimolli mazmunda interpretasiyalanadi, ikkinchisida ularning ehtimolli tabiati to'g'risida hech qanday aprior axborotlar yo'qligi faraz qilanadi.

Shuning uchun, ushbu ikkita yondashuv doirasida axborotni qayta ishlash usullari ham har xil. Ularning umumiy jihati, ma'lumotlar usul sifatining funksionaliga mos ravishda qayta ishlanadi. Farq esa bunday funksional tanlanishining asoslanishidan va olingan xulosalarning interpretasiyasidan iborat bo'ladi.

Ma'lumotlarni qayta ishlash yondashuvlaridan birini tanlashda hal etuvchi omil [2] da tasdiqlangani kabi "tanlangan model va o'rganilayotgan haqiqatning tog'rilik meyori" bo'ladi. Shuning uchun, bunday tanlovni tahlil obyektning xossalari va tadqiqotchi modelni qurishda erishmoqchi bo'lgan maqsadlar bilan mos qo'yish kerak.

Keltirilgan ish ikkinchi yondashuv doirasida bo'lib, bunda u yoki bu usulni qurishda omilli ma'lumotlar approksimasiyasining yaxshiroq sifatiga model trayektoriya orqali erishish asosiy muammo bo'ladi. Bunday yondashuv ehtimolli usullarning kamchiliklari bilan bog'liq ravishda tanlanmaydi albatta. Ular ehtimolli tabiatli jarayonlarni modellashtirishda juda samaralidir. Xususan, imitasion modellashtirish usullari ([50,61] ga qarang) va boshqa ehtimolli xarakterdagi usullar ([82,83]) keng tarqalgan bo'lib, ular keng qamrovli muammolar doirasini yechishda muvaffaqiyatli qo'llanilib kelinmoqda. Bunda, tadqiqot obyektning ta'rifi analitik ifodalar orqali emas, modellashtirishning ma'lum bir tilida ifodalangan algoritmlar majmui yordamida amalga oshiriladi. Lekin, qayd etilganidek, mazkur ishda asosiy e'tibor bashoratli modellarni qurish usullariga qaratiladi, lekin imitasion modellashtirishning bashoratli imkoniyatlari analitik modellarga qaraganda ancha kichik bo'lganligi uchun, aynan oxirgisiga asosiy e'tibor qaratiladi.

Ma'lumotlarning amaliy tahlili doirasida maxsus muammolar-regression, konflyuent, omilli, dispersiyaviy, diskriminantli, korrelyatsion tahlil, bayesli yondashuv, butstrep-proseduralarni yechishning ko'pgina usullari ishlab chiqilgan, jumladan ularning soni yangi masalalarning paydo bo'lishiga qarab, doimiy ravishda o'sib bormoqda. Ularning ko'pchiligi ehtimolli xarakterga ega bo'lsada, ushbu usullardagi yondashuvlarni qo'llash ma'lumotlarni statistik qayta ishlashning ikkinchi yondashuvida juda foydali bo'ladi. Ushbu yondashuvlarning ayrimlari birinchi navbatda regression tahlil bilan bog'liqdir.

Ma'lumotlar tahlili- har xil obyektlarni modellashtirishning universal vositasidir. Ulardan iqtisodiy tizimlarni modellashtirishda foydalanish iqtisodiy, ijtimoiy modellarni qurishga olib keladi.

Iqtisodiy o’lchovli yondashuvning keng tarqalishi bir qator sabablarga asoslanadi [8]. Birinchidan, u bog’lanishlarning stoxastikligini hisobga olgan holda, muhim ko’rsatkichlar o’rtasidagi bog’lanishning mavjudlilik omili va shaklini belgilaydi. Ikkinchidan, iqtisodiy o’lchovli modellardan foydalanish o’rganilayotgan tizimlarni chuqur tahlil etishga sharoit yaratadi, bashoratning asosiy variantlardan tashqari, modellashtiruvchi obyejtlarning kelgusi rivojiga oid turli xil gipotezalarga asoslangan ko’pgina yordamchi variantlarni ishlab chiqish imkonini beradi. Uchinchidan, ushbu modellar tuzilmaviy va dinamik o’zgarishlarning akslantirish imkoni natijasida boshqaruv yechimlarning amaliyotda qo’llanishni nazorat qilishda o’ta samaralidir. To’rtinchidan, iqtisodiy yondashuv modellarga qiyinchiliklarsiz, sezilarli o’zgartirishlarsiz yangiliklar va to’ldirishlar oralig’ini kiritish, bu bilan esa o’rganilayotgan jarayonlar akslantirilishining to’g’riligini oshirish imkonini beradi. Beshinchidan, iqtisodiy o’lchovli modellar qurish paytida ko’rsatkichlarning dinamik kuzatishlar qatori shaklidagi mavjud statistik hisobotga asoslanuvchi axborot bazani qo’llashni nazarda tutadilar va turli xil normativ ko’rsatkichlarning ustuvorligiga nisbatan mehnat harajatli ishlarni bajarishga katta harajatlar (masalan, to’g’ridan-to’g’ri harajatlar koeffitsiyentlarini) talab etmaydi. Budan tashqari, bunday modellarni ishlab chiqish va ulardan foydalanish zamonaviy amaliy statistikaning murakkab bo’lmagan shakily usullarni qo’llashga asoslanadi, ularning nazariy, algoritmik va dasturiy apektlarining qayta ishlanish darajasi juda yuqori. Va nihoyat, kelgusida ko’rsatilishicha, iqtisodiy yondashuv doirasida ham statistic, ham o’ziga xos tajribaviy axborotg asoslanuvchi matematik modellar qurilishi va qo’llanilishi mumkin.

1.2. Nobarqaror funskionallashtirishli va qayta ishlanuvchi axborotdagi noaniqlilikka ega bo’lgan obyektlarni modellashtirishning xususiyatlari

Ixityoriy tabiatli murakkab sistemalarning matematik modelini ma’lumotlar tahlili nuqtai nazaridan ishlab chiqish bir qator yirik bosqichlarni amalga oshirishni nazarda tutadi. Avvalo, modelni qurish asosiy maqsad bo’lmaganligi uchun, tadqiqotchi model yordamida erishmoqchi bo’lgan maqsadni ravshan bayon etishi kerak. Ko’pincha, yuqorida sanab o’tilgan muammolarning tag zamirida bunday maqsad ehtimolli bashoratli hisoblashlarni olib boorish, olingan natijalarni tahlil qilish va mos boshqaruv organlar tomonidan qabul qilingan yechimlarning asoslanib berilishini oshirishga qaratilgan aniq amaliy tavsiyalarni ishlab chiqishdan iborat bo’ladi.

Modellashtirish maqsadini bayon etgandan so’ng, modelning ishlab chiqaruvchisi tuzilmani va tadqiqot obyekti funksionallashuvining asosiy qonuniyatlarini tahlil etadi, bunda u o’z bilimlari, boshqa tadqiqotchilarning tajribasini jalb etadi va ushbu fan sohasi mutaxassislarining tavsiyalarini qo’llaydi. Bunday tahlilni o’tkazishda umumiy mulohazalardan kelib chiqmasdan, yuqorida bayon etilgan modelni qurish maqsadini qo’llash kerak, chunki model “obyektni umuman” emas, kelgusi yechim imkoniyatiga “mas’ul” tomonlari va tavsiflarini ta’riflashi kerak.

Ishlab chiqaruvchi tomonidan modellashtirish maqsadiga nisbatan qo’llanilgan o’rganilayotgan jarayonlar tarmog’ining modeli anglab yetilganidan so’ng, modelni qurishga yondashuvni tanlash kerak. Oldingi bo’limda ko’rsatilgani kabi, bashoratli xarakterli masalani yechish uchun ma’lumotlar tahliliga asoslangan yondashuv juda samaralidir.

Modelni qurishning o’ta muhim bosqichi modellashtiruvchi omillarning majmuini ajratib, ularni ichki (model doirasida ta’riflanuvchi) va tashqi (tashqaridan beriluvchi) ga bo’lishdan, hamda ushbu majmuaga ko’rsatkichlarning bir qator kuzatishlar ko’rinishidagi zaruriy axborot bazasini moslashtirishdir. To’lalik va joriy ma’lumotning ishonchlilik talablari bajarilmasa, model tuzilmalar aniqligining buzilishiga va natijada modellashtirish maqsadiga erishmaslikka olib keladi.

Keyingi bosqichda modelning tuzilmaviy mutaxassisligi, ya’ni uning harf ko’rinishidagi bayoni quriladi. Ushbu bosqichni mavaffaqiyatli amalga oshirish uchun, uning doirasida ma'lumotlar tahlili o'tkaziladi, unga ko'ra turli xil grafik va diagrammalar, korrelyatsion matrisalar quriladi. Aynan shu yerda shartli usullar qo'llanila boshlaydi.

Shuni qayd etish joizki, ushbu ishda ishlab chiqilgan deyarli barcha usullar bu va keyingi bosqichlar bilan bog'liqdir, chunki ularda obyekt to'g'risidagi axborot yuqorida qayd etilgan ko'rinishda ham, maxsus ko'rinishlarda ham saqlanadi.

Modelning umumiy tavsifi keyingi, anchagina mas'uliyatli bosqichga- usullarning ko'pini va dasturiy vositalarni jalb etgan holda, parametrlarni sonli baholashga o'tish imkonini beradi.

Nobarqaror rivojli statistic modelni qurish uchun kerak bo'lgan joriy axborotni uchta turga: ko'rsatkichlar kuzatuvining dinamik qatori shakliga ega bo'lgan statistik; modellashtiriluvchi obyektning funksionallashuv jadalliklari o'zgarishining sonli baholashlarga tegishli ekspert; va bashoratni qayd etish davrida tasgqi o'zgaruvchilarning qiymatini belgilovchi bashoratli ko'rinishga ega.

Ushbu axborotning aniqlanish darajasi har xil bo'lishi mumkin. Bu aniqlanish odiy tarzda tashqi o'zgaruvchilarning qiymatlar vektoriga ichki o'zgaruvchining aniq sonli qiymati mos kelganida to'la (yoki, yuqorida ko'rib chiqilgan misolga muvofiq, "qattiq" bo'lishi mumkin). Bunda axborot asosiy davrga nisbatan statistic va bashoratni qayd etish davrda bashoratli bo'lishi mumkin. Bashoratli axborotning aniqlanish to'laligi tashqi o'zgaruvchilarning aniq qiymatini bashoratli davrda belgilash orqali ta'minlanadi.

Murakkab tizimlarni modellashtirish har doim ham joriy axborotni operirlash bilan har doim ham bog'liq bo'lavermaydi, ayniqsa asoslash yoki bashoratni tasdiqlash davrida bunday tizimlar o'tish davriga kiradi, ularda har xil turdagi axborotni to'plashga mas'ul qismlar funksionallashtiriladi.

Odatda, yirik masshtabli tizimlarning statistic modellari nisbatan "ochiq" dir, ya'ni dinamikasi berilgan modelda ta'riflanmagan ko'p sondagi tashqi o'zgaruvchilarni o'z ichiga oladi. Obyektning masshtabi qanchalik kichik bo'lsa, uni ta'riflovchi funksional model shunchalik "ochiq" bo'ladi. Shuning uchun, bashoratlash rejimida statistik modellardan foydalanganda, tashqi o'zgaruvchilarning qiymatini bashoratlash paytida belgilash lozim. Buni bir paytning o'zida qilib bo'lmaydi. Masalan, iqtisodiy obyektlarni o'rganganda, u yoki bu sanoatda texnologiyalarning o'zgarishi unchalik aniq bo'lmaydi.

Shuning uchun, tashqi o’zgaruvchilarning aniq qiymatlari o’rniga mutaxassislar tomonidan ushbu qiymatlar tegishli bo’lishi mumkin bo’lgan sohalar qayd etilishi mumkin. Bashoratli axborotning shu turdagi noaniqliklari uni qayta ishlashning maxsus usullarini talab etadi, ularning ayrimlari mazkur ishning beshinchi ishida taqdim etiladi.

O’zgaruvchan jadallikka ega bo’lgan funksionalli tizimlarni modellashtirishda tajribaviy bilimlarni jalb etish zarurati statistic va tajribaviy axborotni mos qo’yish masalasining yechimini talab etadi.

Matematik modelni ishlab chiqishda tajribaviy axborotli ma’lum bir obyektning ishtiroki o’rinli bir savolni keltirib chiqarishi mumkin: bunday axborot obyektning kelgusi rivojlarining qonuniyatlarini aniqlab berishga imkon bersa, ushbu model nima uchun kerak? Bu savolga javob quyidagicha. Ekspertlar tomonidan obyekt funksionallashuvining kelgusidagi o’zgarishlari to’g’risida qayd etilgan mulohazalari noaniq tavsifga egadir. Bu bilan birga, ushbu mulohazalarni statistic axborot bilan umumlashtirish bashoratlash davrida ichki o’zgaruvchilarning qiymatini baholashda noaniqlikni bartaraf etish imkonini beradi. Lekin o’rganilayotgan obyekt jadalliklarining o’zgarishi tajribaviy axborotni jalb etish talabini keltirib chiqaradi. Retrospektiv davr o’zgaruvchilar o’rtasidagi o’zaro bog’lanishlardagi qonuniyatlarini aniqlovchi har xil jadalliklarning namoyon bo’lishi borasida juda ham mazmunga boy bo’ladi. Bunday hollarda, tanlovning har xil sohalari turli xil tavsiflarga ega bo’ladi, bu esa o’zgaruvchilar o’rtasidagi bog’lanishlarni tahlil qilishning an’anaviy shakllaridan foydalanish asosida modellashtiriluvchi jarayonlar approksimatsiyasiyasining noadekvatligiga olib keladi. Bunday holat bu kabi shakllar va usullarning arsenalini kengaytirish talabini keltirib chiqaradi, bu esa tadqiqotchiga har xil model munosabatlar variantligini oshirish imkonini beradi. Bitta munosabatning har xil ustuvor variantlarining mavjudliligi ushbu variantlar o’rtasida adekvatlikning local mezonlari to’plami sharoitida “tanlov” ni tashkil etish usullarini ishlab chiqishga talab uyg’otadi.

1.3 Modellarni qurishning uslubiy masalalari

Ma’lum bir obyektning funksionallashuvini tahlil etish paytida tadqiqotchi mazmuniy tavsifga ega bo’lgan mulohazalardan kelib chiqqan holda, endogen y ko’rsatkichning hatti-harakati $x_1, x_2,..., x_m$, ekzogen omillarning qiymatlari orqali aniqlanishini faraz qiladi, ya’ni y ning $x_1, x_2,..., x_m$ ga bog’liqlikning mavjudligi postulat hisoblanadi. Xususan, quyidagi ko’rinishdagi chiziqli bog’lanish (regressiya) faraz qilinsin:

$$y_k = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_{ki} + \varepsilon_k \ , \quad k=1..n \tag{1.3.1}$$

bu yerda n – kuzatishlar soni; y_k va x_{ki}, k=1..n, i = 1..m –mos ravishda erksiz va erkli o’zgaruvchilarning qiymatlari ; α_i, i=1..m – baholanadigan parametrlar; ε_k, k=1..n – approksimatsiyadagi xatoliklar. (1.3.1) tenglamada bunday tashkil etuvchilarning ishtiroki, berilgan bog’lanish jarayonni aniq emas, ma’lum bir xatolik bilan ta’riflashini anglatadi. Buning sabablari quyidagilar:

- erkli va erksiz o’zgaruvchilarning qiymatlarini qayd etishdagi noaniqliklar;
- shovqinlarning ta’siri;
-bir qator muhim omillarning hisobga olinmaganligi;
- o’zgaruvchilar o’rtasidagi bog’lanish shaklini yoki parametrlarni baholash usullarini noravshan (muvaffaqiyatsiz) tanlash.

Keyingi bayonotni qulaylashtirish uchun, (1.3.1) tenglamani matrisa ko’rinishida ifodalaymiz

$$y = X\alpha + \varepsilon \tag{1.3.2}$$

Bu yerda $y = (y_1,..., y_n)^T$, $\alpha = (\alpha_1,.., \alpha_n)^T$, $\varepsilon = (\varepsilon_1,.., \varepsilon_n)^T$, $X = (n*m)$ - x_{ki} komponentali matrisa.

(1.3.1)Tenglama α parametrlarning baholarini hisoblab chiqqandan so’ng, u yoki bu maqsadlarda qo’llanilishi mumkin.

Quyida amaliyotda uchraydigan regression teglamalar parametrlarini baholashning eng ko’p uchraydigan usullari ko’rib chiqilgan.

Ma’lumki, (1.3.2) chiziqli regressiyaning α parametrlari vektorini baholashning keng tarqalgan usuli eng kichik kvadratlar usuli (EKKV) dir. Uni quyidagi farazlarda qo’llash kerak [29] (Ehtimolli ε bayonotda):

ε ehtimolli kattalikning E(ε) matematik kutilmasi nolga teng; $i \neq j$ da barcha $i, j = \overline{1,n}$ lar uchun $E(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$; $E(\varepsilon^2)=\sigma^2$ bu yerda σ^2 - qoldiqlar dispersiyasi (cheklanishlarning gomoskedastiklik xossasi); X matrisa determinatsiayalangan; rank $X = m$; $\hat{\alpha}$ parametrlar vektori uchun quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$\hat{\alpha}^1 = (X^T X)^{-1} X^T y \,. \tag{1.3.3}$$

Yuqori indeks 1 baholash usulining raqamini anglatadi.

Endilikda, ε ning bayonoti bilan bog'liq muhim uslubiy vaziyatni aniqlashtirib olamiz. Joriy ma'lumotlarni interpretasiyasiyalashga va ularning statistic qayta ishlashga ikkita yondashuv mavjud. Ularning birinchisiga binoan, bir qator kuzatishlarning majmui moslari ichidan bosh majmuaning tanlovi sifatida talqin etiladi. Bunday talqinda, tadqiqotchi oxirgilarni o'rganishning usullarini joriy ma'lumotlarning ehtimolli tabiatiga asoslaydi, buning uchun u mos ehtimolli modeldan foydalanadi. Bunday holatda (1.3.2) dagi ε ni ma'lum qonuniyat bo'yicha taqsimlangan deb olish va shu asosda uning xossalarini tahlil etish mumkin. Ikkinchi yondashuvda tadqiqotchi bitta, unikal tanlov bilan ish ko'radi, joriy ma'lumotlarning ehtimolli tabiati to'g'risidagi har qanday aprior ma'lumotlar bo'lmaydi.

Joriy ishda olingan barcha natijalar qayd etilganidek, ikkinchi yondashuvning doirasida joylashadi, bunda ε faqat va faqat approksimatsiya xatoligi bo'ladi. Shuning uchun ε qo'zg'almas tavsifli biror-bir taqsimlanishga tegishlilik, qo'zg'almaslik, samaradorlik va boshqa asimptotik xossaga ega bo'lgan talablar qo'yilmaydi. Oxir oqibat, yondashuvning to'g'ri tanlanganligi, uning foydalanuvchiga qo'yilgan masalani yechish imkonini berishi yoki bermasligiga qarab aniqlanadi. Bizning holimizda, approksimatsiya xatoligini minimallashtirish kerak.

EKKV larni qo'llashdagi xatoliklarni muhokama qilib chiqaylik. α vektorga chiziqli cheklanishlar-$A\alpha = a$ ko'rinishdagi tengliklar qo'yilgan bo'lsin. U holda EKKV ning qo'llanilishi parametrlarni aniqlashning quyidagi formulasiga olib keladi [29]:

$$\hat{\alpha}^2 = \hat{\alpha}^1 + (X^T X)^{-1} X^T A^T [A(X^T X)^{-1} A^T]^{-1} (a - A\hat{\alpha}^1) \,. \tag{1.3.4}$$

Agar cheklanish-tengliklardan tashqari, α vektorning komponentalariga cheklanish-tengsizliklar yuklatilgan bo'lsa, $\hat{\alpha}^2$ baholash oshkor ko'rinishda yozila olmaydi, chunki bunday holatda u kvadratik dasturlash masalasining yechimi bo'ladi.

ε_k cheklanishlar o'zaro korrelyatsiyalanganda yoki ularning dispersiyalari nobarqaror bo'lganida Eytken bahosidan foydalanilgan [32]:

$$\hat{\alpha}^3 = (X^T W^{-1} X)^{-1} X^T W^{-1} y, \qquad (1.3.5)$$

bu yerda W – dipersiya-kovariatsiyalarning musbat aniqlangan matrisasi. Lekin, amaliyotda u oldindan ma'lum bo'lmaganligi uchun, uning elementlari qo'shimcha mulohazalarga asoslangan maxsus usullar yordamida taxminan hisoblanadi.

X matrisaning rangi to'g'risidagi farazning bajarilmasligi $|X^T X|$ determinantning nolga teng bo'lishini, bundan esa (1.3.3)-(1.3.5) formulalarning qo'llab bo'lmasligini keltirib chiqaradi. Amaliyotda ushbu determinantning qat'iy nolga teng bo'lishi kamdan-kam hollarda kuzatiladi. Lekin, noma'lum o'zgaruvchilar o'rtasidagi korrelyatsiyada $X^T X$ matrisa "deyarli" keltirib chiqariladi, bu esa baholarning sezilarli darajada buzilishiga olib keladi. Multikollinearlik bilan "kurashish" usullari sifatida bosh komponentalar usuli qo'llaniladi yoki quyidagi formula bo'yicha ridj-baho hisoblanadi:

$$\hat{\alpha}^4 = (X^T X + \theta I_m)^{-1} X^T y. \qquad (1.3.6)$$

Bu yerda I_m - m-tartibli birlik matrisa, θ - (0,1) oraliqdan tanlanadigan kichik musbat son.

(1.3.3), (1.3.4), (1.3.6) formulalarning qo'llanilishi qayta ishlanuvchi tanlovning barcha n kuzatishlari bir xil bo'lishini faraz qiladi. Lekin, ko'pincha tadqiqotchining tajribasi unga har bir kuzatishning "og'irligi" ni sonli baholash imkonini beradi. Bunday holatda, α ni baholashda (1.3.5) formuladan foydalanish darkor, bu yerda W matrisa quyidagi ko'rinish qabul qiladi:

$$W = \alpha\, tag(w_k^{-1}), \qquad k = \overline{1,n},$$

bu yerda w_k - aprior tarzda belgilangan "og'riliklar". Shunday qilib, bashoratli tavsifga ega bo'lgan masalalarni yechishga mo'ljallangan regression tenglamalarni qurishda katta "og'irliklar" ni kechki kuzatishlarga belgilash tavsiya etiladi [45]. Bunday yondashuv har doim ham o'zini oqlayvermaydi. Shunday qilib, agar tanlovning oxirgi kuzatishlari ichida "ortiqchalari" ishtirok etsa, ularga katta "og'irlik" larni avtomatik tarzda berish erksiz o'zgaruvching bashoratli qiymatlaridagi aniqlikni sezilarli darajada pasaytiradi. Shuning uchun, bundanda samaraliroq evristik va matematik yondashuvlardan foydalanish kerak. Bunday usullardan biri ikkinchi bobda keltirib o'tiladi.

Kuzatishlar "og'irligi" ni

$$w_k = \left(y_k - \sum_{i=1}^{m} \hat{\alpha}_i^1 x_{ki} \right)^2 .$$

Ko'rinishda belgilash cheklanishlar geteroskedastikligini kamaytirishning asosiy usullaridan biridir.

EKKV ning samaradorligi qo'llanilish doirasi buzilganida, xususan qayta ishlanuvchi tanlovda qolganlari bilan muvozanatda bo'lmagan kuzatishlar ishtirok etganida sezilarli darajada pasayadi. Bunday hollarda, mutaxassislik xatoliklariga EKKV ga nisbatan uncha sezgir bo'lmagan baholash usullaridan foydalanish mumkin. Bunday usullar qatoriga eng kichik modullar usuli (EKMU) kiradi, uni ishga tushirish bo'lakli-chiziqli dasturlashning quyidagi masalasiga olib keladi:

$$\hat{\alpha}^5 = \arg\min_{\alpha} \sum_{k=1}^{n} \left| y_k - \sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_{ki} \right| . \qquad (1.3.7)$$

Uni yechishning ikkita usuli mavjud: chiziqli dasturlash masalasiga olib kelish va variasion-o'lchangan kvadratik taxminlar usulidan foydalanish. Mazkur ishda ulardan birinchisi keng qo'llanilgani uchun, uni to'laqonli ko'rinishda keltirib o'tamiz.

Nomanfiy haqiqiy o'zgaruvchilar u_k va v_k $k = \overline{1,n}$ ni quyidagi tarzda kiritaylik:

$$u_k = \begin{cases} y_k - \sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_{ki}\ , & y_k - \sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_{ki} > 0\, da \\ 0, & aks\ holda \end{cases}$$

$$v_k = \begin{cases} \sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_{ki} - y_k, & \sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_{ki} - y_k > 0\ da \\ 0, & aks holda \end{cases}$$

Quyidagi ayniyatlar o'rinlidir

$$\sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_{ki} + u_k - v_k = y_k\ , \quad k = \overline{1,n}\ . \qquad (1.3.8)$$

(1.3.7) dagi funskional quyidagi chiziqli formaga aylanadi

$$\sum_{k=1}^{n} (u_k + v_k) \to \min. \qquad (1.3.9)$$

Shunday qilib, (1.3.7) joriy masala $u_k\ ,v_k\ ,\ k \geq \overline{1,n}$ o'zgaruvchilarning nomanfiy bo'lish shartli, (1.3.8) cheklanishli (1.3.9) masalaga olib kelinadi.

u_k va v_k o'zgaruvchilarning ta'rifidan kelib chiqqan $u_k v_k = 0$ shart barcha k lar uchun ushbu masalaning muqobil yechimida amalga oshiriladi.

EKMU-baholashni aniqlashning keltirilgan usuli shunisi bilan qiziqki, u α ga ixtiyoriy chiziqli cheklanishlar-ham tengsizliklar, ham tengliklarni yuklash imkonini beradi.

Variatsion-o'lchangan kvadratik taxminlar usuli nafaqat $\hat{\alpha}^5$ baholashni, balki quyidagi ko'rinishdagi yig'indilarni minimallashtirish masalalarini yechish orqali hisoblanadigan L_v -baholashlarni [29] hisoblash imkonini beradi:

$$J_v = \sum_{k=1}^{n} \left| y_k - \sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_{ki} \right|^v,\ \ v \geq 1.$$

Bu usul iterasion tavsifga ega bo'lib, parametrga cheklanishlar yuklamaydi.

Regression tenglamalarning parametrlarini baholash usullaridan foydalanish amaliyotining ko'rsatishicha, KMU ni bir qator ko'rsatkichlar dinamikasini ta'riflovchi bog'lanishlarni aniqlashda qo'llash bashoratlash paytida EKV ga nisbatan samaraliroq bo'ladi [25]. Bu bilan birga, har bir tanlovni qayta ishlashda baholarning qaysi biri $L_v,\quad v \in [1,2]$ eng afzal bo'lishini aniqlash qiyin. Ular o'rtasidagi, bahoni tanlashda mavjud xavfni minimallashtirish imkonini beruvchi kompromiss sifatida $L_{1.5}$ –baho qabul qilinadi. Har qanday vaziyatda baholash usulini tanlash ma'lum bir modelning ishlab chiqaruvchisi zimmasida bo'lishi kerak va bu tanlov tadqiqotchining zimmasida qanchalik usul ko'p bo'lsa, shunchalik muvaffaqiyatli bo'ladi. Bunda eng oson usul har doim ham eng yaxshi bo'lib chiqavermaydi (EKVU bundan mustasno).

Ayrim usullar ikkinchi bobda keltirib o'tilgan.

Ma'lum bi statik modelning tarkibiga kirgan regression tenglamalar parametrlarini baholash tenglamalar sistemasi parametrlarini tuzilmaviy yoki birgalikda baholash masalasini yechishni nazarda tutadi. Bunda, sistema rekursiv bo'lmasa, umumiy sistema parametrlari baholari har bir regressiya uchun alohida hisoblangan baholardan farq qiladi. Tuzilmaviy baholashning oraliq bosqichi-qo'shimcha aprior axborotni jalb etishdir. Statik modellar chiziqlilar bilan bir qatorda, o'z ichiga nochiziqli regression tenglamalarni qamrab oladi va katta o'lchamga ega bo'ladi, bu esa tuzilmaviy baholash usullari singari modellarning paramaetrlarini aniqlashtirish masalasini yechishda ma'lum bir qiyinchiliklarni keltirib chiqaradi.

Yana ikkita muhim holatni qayd etaylik. Modelni qurishda uning regressiyalarini tashkil etuvchi parametrlarini baholash zarurati tug'iladi. Va nihoyat, mashhur dilemmani hamisha yodda tutish kerak: nima afzalroq- ma'lum bir obyektni taxminan ta'riflovchi modelning parametrlarini aniq baholashmi, yoki aniqroq modelning parametrlarini taxminan aniqlashmi? Bunday holatda javob modelni qurish jarayonini osonlashtiruvchi, uni texnologik ko'rinishga keltiruvchi tavsif bo'ladi.

Keltirilgan mulohazalar statistic modellarni rekursiv sistemalar ko'rinishida ishlab chiqish maqsadga muvofiq ekanligini qayd etadi. Bu, har bir tenglamaning paramaetrlarini alohida-alohida baholashni matematik jihatdan to'g'ri ekanligini isbotlaydi, koeffitsiyentlarning belgilari joyida qolishini nazorat qiladi, buni tuzilmaviy baholashda amalga oshirish juda qiyindir. Agarda rekursiv modelni uning to'g'riligini buzmagan holda qurib bo'lmasa, bu har bir regressiyaning parametrlarini alohida baholashda to'siq vazifasini o'taydi.

Ayni vaqtda, amaliy statistikada va xususan, ekonometrikada modellashtiriluvchi obyektlar o'rtasidagi o'zaro bog'lanishlarni ta'riflashning an'anaviy usullari ishlab chiqilgan. Bunda asosiy e'tibor asosan ishlab chiqaruvchi funksiyalar (IF) ni qurish masalalariga qaratiladi

$$y = F(x_1, x_2, ..., x_m; \alpha) + \varepsilon \,. \qquad (1.3.10)$$

Ular $F(*)$ haqiqiy funksiya ta'siri ostida $x_i, \; i = \overline{1,m}$ o'zgaruvchilarning y ko'rsatkichga ta'sirini shakllantirish imkonini beradi. Boshqa tabiatli obyektlarni modellashtirishda bunday funksiyalarni boshqa talqinda qo'llash mumkin.

Shunday qilib, masalan, hududda kriminogen vaziyatni modellashtirishda y- jinoyatlarning fosh bo'lish darajasi, x_i esa xavfsizlik organlarining moddiy-texnik va kadrli ta'minlanish ko'rsatkichlari vazifasini o'tashi mumkin.

Ko'pincha, chiziqli IF bilan bir qatorda (1.3.1) Kobb-Duglas funksiyasi deb nomlanuvchi darajali funksiya qo'llaniladi

$$y = \alpha_0 \prod_{i=1}^{m} x_i^{\alpha_i} + \varepsilon, \quad \alpha_i > 0, \; i = \overline{1,m}, \qquad (1.3.11)$$

u statistik ma'noda kvazichiziqli regressiyalar sinfiga tegishli bo'ladi [29]. Bunday regressiyalarning ajoyib xossasi, h almashtirish yordamida ularni parametrlar bo'yicha nochiziqli ko'rinishga keltirishdir:

$$h(F(x_1, x_2, ..., x_m; \alpha)) = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i f_i(x_i). \qquad (1.3.12)$$

Bu yerda $f(*)$, $i = \overline{1,m}$ - haqiqiy funksiyalar. Chiziqli EKKV usulini kvazichiziqli regressiyaga nisbatan qo'llash α parametrlar vektorinining bahosini oshkor ko'rinishda yozib olish imkonini beradi:

$$\tilde{\alpha}^1 = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T h(y). \qquad (1.3.13)$$

Bu yerda $\Phi = n \times m$ - $f_i(x_{ki})$ elementli matrisa, $k = \overline{1,n}$, $i = \overline{1,m}$, $h(y) = (h(y_1), h(y_2), ..., h(y_n))^T$. Umumiy holda $\tilde{\alpha}^1$ ε additive xatolikli kvazichiziqli regressiya EKKV sining bahosi bo'lmaydi va ko'pincha bunday bahodan juda katta farq qiladi. W matrisa bilan farqni $\tilde{\alpha}^2$ Eytken bahosini (1.3.5) [29] hisoblash orqali kamaytirish mumkin:

$$W = diag((h(y_k))^2), \qquad k = \overline{1,n}.$$

Yoki quyidagi munosabat yordamida

$$\tilde{\alpha}^2 = (\tilde{\Phi}^T \tilde{\Phi})^{-1} \tilde{\Phi}^T \tilde{h}(y), \qquad (1.3.14)$$

bu yerda

$$\tilde{f}_i(x_{ki}) = f(x_{ki}) / |f'(x_{ki})|, \qquad \tilde{h}(y_k) = h(y_k) / |h'(y_k)|.$$

Uchinchi bobda (1.3.11) darajali regressiya parametrlari baholarini aniqlashtirishning chiziqli EKKV asosidagi yana bir usuli keltirilgan.

IF ga yuklanadigan x_i, $i = \overline{1,m}$ o'zgaruvchilar bo'yicha botiqlik sharti α_i parametrlarning bahosini hisoblash chog'ida qo'shimcha $\sum_{i-1}^{m} \alpha_i = 1$ cheklanishni keltirib chiqaradi, u ortiqcha bo'lishi ham mumkin, chunki u funksiyaning egiluvchanligini buzadi, buzilish esa approksimatsiyaviy tavsiflarni yomonlashtiradi. Ko'pincha amaliyotda bu cheklanishdan voz kechiladi, bunda botiqlik talabi hisobga olinmaydi.

Kobb-Duglas IF sining ko'pgina zamonaviy ko'rinishlari mavjud, xususan, Ferguson-Pfugs, Nyumen-Rid, Xed-Dillon, Tinbergen funksiyalari. Bular ichida Tinbergin PF si keng tarqalgan

$$y(t) = \alpha_0 e^{\gamma t} \prod_{i=1}^{m} x_i(t)^{\alpha_i} + \varepsilon(t).$$

Unda $e^{\gamma t}$ ko'paytuvchi yordamida "neytral" texnik progressning ta'siri hisobga olinadi.

Bir qator ishlab chiqarish funksiyalarining safiga doimiy elastikli o'rinbosarli funksiya tegishli bo'ladi (CES):

$$y = \left(\sum_{i=1}^{m} \alpha_i \, x_i^{-\rho} \right)^{-\gamma/\rho} + \varepsilon. \qquad (1.3.15)$$

U ichki jihatdan nochiziqli, ya'ni parametrlari bo'yicha chiziqliga keltirilmaydigan formadir. Ularni baholashning eng soda usuli ρ va γ qiymatlarni oldindan berilgan to'rning tugunlarida qayd etish va chiziqli EKKV ni har bir tugundagi α_i, $i=\overline{1,m}$ koeffitsiyentlarni aniqlash uchun kvazichizqli regressiyalar majmuiga nisbatan chiziqli EKKV ni qo'llashdir. Bundan so'ng, ularni to'g'ridan-to'g'ri ko'rib chiqish natijasida eng yaxshi baho ajratiladi.

CES IF si uchun turli xil ekonometrik modellarda qo'llaniluvchi ko'pgina modifikatsiyalar ishlab chiqilgan:

Har xil parametrli ko'p rejimli IF

$$y = \left(\sum_{i=1}^{m} \alpha_i \, x_i^{-\rho_1} \right)^{-\gamma/\rho_1} \left(\sum_{i=1}^{m} \alpha_i \, x_i^{-\rho_2} \right)^{-\gamma/\rho_2} + \varepsilon \, .$$

Solou IF si

$$y = \left(\sum_{i=1}^{m} \alpha_i \, x_i^{\beta_i} \right)^{\gamma} + \varepsilon \, .$$

Chiziqli elastik o'rinbosarli IF

$$y = x_1^{\gamma} \left(\sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_i \right)^{\rho} + \varepsilon \, .$$

Allen IF si

$$y = \sum_{i>j} \alpha_{ij} \, x_i x_j - \sum_{s=1}^{m} \beta_s x_s^2 + \varepsilon \, .$$

Ushbu IF lar uchun "neytral" texnik jarayonni hisobga olish imkonini beruvchi modifikatsiyalar mavjud.

CES IF parametrlari va uning modifikatsiyalarini aniq topish nochiziqli baholash usullari (masalan, Markvardt, Gauss-Nyuton va boshqalar) ni jalb etishni talab etadi.

Ayrim hollarda IF sifatida quyidagi ko'rinishdagi multiplikativ tuzilmalardan foydalaniladi

$$F(\cdot) = F_1(\cdot) F_2(\cdot) , \qquad (1.3.16)$$

bu yerda $F_1(\cdot)$ va $F_2(\cdot)$ - yuqorida keltirilgan an'anaviy ishlab chiqarish funksiyalari. (1.3.16) tuzilmalarga misol tariqasida Sato funksiyasini keltirish mumkin [11]:

$$y = \alpha_0 \prod_{i=1}^{m} x_i^{\alpha_i} \left(\sum_{j=1}^{m} \beta_j x_j^{-\rho} \right)^{-\gamma/\rho} + \varepsilon \, .$$

CES funksiyasining xususiy holi (1.3.15) Koks-Boksning darajali almashtirishiga asoslangan PF dir:

$$\frac{y^{\lambda}-1}{\lambda}=\alpha_0+\sum_{i=1}^{m}\alpha_i\,\frac{x_i^{\lambda}-1}{\lambda}\;+\varepsilon\;.$$

Sanab o'tilgan ishlab chiqarish funksiyalariga nisbatan ekonometriyada resurslarni almashtirishning nol elastikli yoki doimiy proporsiyali IF lar biroz kamroq qo'llaniladi

$$y=\min\{a_1x_1,a_2x_2,...,a_mx_m\}+\varepsilon\;. \qquad (1.3.17)$$

Uni qurish mahsulotni ishlab chiqarish modellashtiriluvchi tizimda "ingichka joy", aniqrog'I eng kam ishlab chiqarishni ta'minlovchi resurslar soni orqali aniqlanadi. Bunda iste'mol qilinuvchi resurslarning sonini oshirish limit omil tanqisligining o'rnini bosa olmaydi.

(1.3.17) funksiyaning parametrlarini bevosita baholash uchun odatda muqobillashtirish usullaridan foydalaniladi. Ayrim hollarda ushbu parametrlar to'g'ridan-to'g'ri baholanmaydi, ekonometrik modelda esa (1.3.17) bilan bir qatorda α_i, $i=\overline{1,m}$, munosabatni tar'iflash uchun qo'shimcha dinamik munosabatlar kiritiladi, ular resurslarning "zichligi" ga teskari kattaliklar deb talqin etiladi.

Doimiy proporsiyali funksiya approksimatsiyaviy va bashoratli tavsiflari jihatidan (1.3.1), (1.3.11), (1.3.15), (1.3.16) funksiyalarga yon beradi, lekin bu holat uni statik modellarda aqalli "yordamchi" tariqasida qo'llanilishiga to'siq bo'lishi kerak emas.

O'zgaruvchilar o'rtasidagi bog'lanishning klassik shakllari yaxshi mazmuniy talqinga ega va qonuniyatlarni aniqlovchi barqarorlikli berk tizimlarni ta'riflash uchun yuqori adekvatlik darajali modellarni ishlab chiqarishga imkon beradi. Shu bilan bir qatorda, bu kabi shakllarning qamrovi asosiy ko'rsatkichlari dinamikasi yuqori darajada nobarqaror bo'lishida namoyon bo'luvchi rivojlanishning oshkormas inersiyaviyligi xarakterli bo'lgan tizimlarni modellashtirishda yetarli darajada keng bo'lmaydi. Ushbu vaziyat mos modellarni qurishda an'anaviylari bilan bir qatorda egiluvchan bog'lanish shakllaridan foydalanish maqsadga muvofiq ekanligini belgilab beradi. 1.1-p da qayd etilganidek, ma'lumotlarni amaliy tahlil etishning katta afzalligi uning doirasida ishlab chiqarilgan modellarning adekvatligini baholashning mezonlar tizimidir. Bu mezonlar o'rganilayotgan obyekt yoki jarayonni modelli ta'riflashning har xil sifatli tomonlarini baholash imkonini beradi va ular yuqorida qayd etilgan adabiy manbaalarda izchil tasvirlab berilgan. Bundan tashqari, ekonometrik modellarning tizimini ta'riflashda yaxshi ‘odat” alohida bog’lanish ostidan mezonlarni keltirib, modelning sifatini namoyon qilishdir. Chiziqli regressiya (1.3.1) uchun ishlab chiqarilgan adekvatlik mezonlarining eng ko’p tarqalganlarini ko’rib chiqamiz.

a) To’plamli determinatsiyalash mezoni R^2, erkli o’zgaruvchining hisoblangan va omilli qiymatlari o’rtasidagi moslik darajasini ifodalaydi, chunki u mos vektorlar o’rtasidagi korrelyatsiya koeffitsiyentining kvadratini anglatadi. mazmun jihatdan R^2 ning ekvivalent talqini quyidagicha: u y dispersiyaning qaysi bo’lagi (1.3.1) regressiya bilan tushuntirilishini ko’rsatadi.

R^2 ni hisoblash formulasi quyidagi ko’rinishdadir ((1.3.1) da ozod had ishtirok etgan hol uchun):

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^{n}(\hat{y}_k - \bar{y})^2}{\sum_{j=1}^{n}(y_j - \bar{y})^2}$$

yoki, huddi shuning o’zi

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{n}\varepsilon_k^2}{\sum_{j=1}^{n}(y_j - \bar{y})^2},$$

bu yerda $\hat{y}_k$, $k = \overline{1,n}$- erksiz o’zgaruvchining hisoblangan qiymatlari, $\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} y_j$ - y ning o’rta qiymati. Har doim $R^2 \in [0,1]$.

To’plamli determinatsiyaning boshqacha talqini (1.3.1) regressi o’rta modeldan qanchalik yaxshiroq ekanligini ko’rsatishdan iboratdir. Shuning uchun, quyidagi trendli tashkil etuvchini o’z ichiga olgan dinamik jarayonlarni regressiya yordamida ta’riflashda

$$y_k = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{m}\alpha_i x_{ki} + \alpha_{m+1}k + \varepsilon_k.$$

Bunday regressiya $y_k = \beta_0 + \beta_1 k + \delta_k$ soda trendning modelidan qanchalik yaxshi ekanligini solishtirish uchun, [29] da R^2 analog sifatida R_T^2 ko’rsatkichdan foydalanish tavsiya etiladi, u quyidagi formula bo’yicha hisoblanadi:

$$R_T^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{n}\varepsilon_k^2}{\sum_{j=1}^{n}\delta_j^2}.$$

R^2 mezonning sezilarli kamchiligi shundaki, u (1.3.1) ga yangi o'zgaruvchilar qo'shilganda o'zining qiymatlarini kamaytirmaydi. Shuning uchun R^2 ni regressiyaga qo'shimcha mustaqil o'zgaruvchilarni qo'shish orqali birga yaqinlashtirish mumkin. Bu kamchilikni elimentlash uchun ko'pincha R^2 ning o'rniga erkinlik darajalari soniga moslashtirilgan R^2 qiymatdan foydalanishadi:

$$R^2 = 1 - \frac{n-1}{n-m}(1-R^2).$$

b) Regressiyaga nisbatan Chiquvchi ko'rsatkichning variatsiya me'yorini ko'rsatuvchi qoldiq dispersiya s^2 ning qiymati:

$$s^2 = \frac{1}{n-m}\frac{\sum_{k=1}^{n}\varepsilon_k^2}{\bar{y}^2}100\%.$$

c) F – Fisher mezoni bo'lib, u y omilli qiymatlar dispersiyasining qoldiq dispersiyaga nisbatini ko'rsatadi. Shu mezon talqinining mavjud variantlariga qarab, u quyidagilarga ishora qiladi: erksiz o'zgaruvchining mustaqillar ichida birontasi bilan chiziqli bog'lanishning yo'qligi (yoki borligi); R^2 mezonning qiymati; chiziqli tenglamaning darajasi. F-mezon quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$F = \frac{R^2(n-m)}{(1-R^2)(m-1)}.$$

F-mezon statistik xarakterga ega bo'lib, F-taqsimlanishning mos jadvallaridan foydalanishni talab etadi. F ning qiymati jadvaldagidan oshib ketsa, birinchisi qoniqarli hisoblanadi. Har qanday holda F-mezon qanchalik yuqori bo'lsa, shunchalik yaxshi bo'ladi.

d) Darbin-Utson mezoni d ε qoldiqlar korrelyatsiyasining (musbat yoki manfiy) mavjudligi yoki yo'qligiga ishora qiladi:

$$d = \frac{\sum\limits_{k=2}^{n}\left(\varepsilon_k - \varepsilon_{k-1}\right)^2}{\sum\limits_{k=1}^{n}\varepsilon_k^2}.$$

D mezon [0,4] kesmadagi qiymatlarni qabul qilib, mos statistik jadvallarning jalb etilishini talab qiladi. Uning avtokorrelyatsiyaning yo'qligiga ishora qiluvchi ideal qiymat ikkiga teng.

e) t –mezon, (1.3.1) regressiyadagi har bir parametrning baholangan qiymati uning standart xatosidan qanchalik katta ekanligini ko'rsatadi. Ushbu mezon har bir parametrning variatsiya me'yori bo'lib, F va d mezonlar singari mos taqsimlash jadvallari, berilgan holda Styudentning jalb etilishini talab etadi. Uni hisoblash formulasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$t_i = \frac{\hat{\alpha}_i}{\sqrt{(X^T X)^{-1}_{ii}}\ S}, \quad t = \overline{1, m},$$

bu yerda $\hat{\alpha}_i$-(1.3.1) regressiyadagi t-parametrning baholangan qiymati, $(X^T X)^{-1}_{ii}$ - $(X^T X)^{-1}$ matrisaning t-diagonal elementi.

t-mezonning birdan katta qiymati qoniqarli hisoblanadi. Aks holda mos regressor hisobga olinmaydi.

f) λ approksimatsiyasining o'rtacha nisbiy xatoligi. Bu odatda injenerlik hisoblashlarda qo'llaniluvchi ko'rsatkich bo'lib, u quyidgai formula bo'yicha hisoblanadi

$$\lambda = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\left|\frac{y_k - \hat{y}_k}{y_k}\right| 100\%.$$

i) $\bar{\varepsilon}$ bashoratning o'rtacha nisbiy xatoligi, u sinaluvchi tanlov bo'yicha quyidagi tarzda hisoblanadi.

Butun tanlov ikkita qismga- $1, 2, \ldots \tau$ kuzatish raqamli katta (ta'lim beruvchi) va $\tau+1, \tau+2, \ldots, n$ raqamli kichik (sinaluvchi) qismlar. Ta'lim beruvchi tanlovning kuzatuvlari bo'yicha (1.3.1) regressiyaning $\hat{\alpha}$ parametrlari hisoblanadi, bundan so'ng $\bar{\varepsilon}$ qiymat quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n-\tau}\sum_{k=\tau+1}^{n}\frac{\left|y_k - \sum_{i=1}^{m}\hat{\alpha}_i x_{ki}\right|}{\left|y_k\right|}.$$

Berilgan mezon qurilgan tenglamaning bashoratli imkoniyatlarining bahosi bo'lib xizmat qiladi. Tabiiyki, ularni tekshirib bo'lgandan so'ng, regressiyaning parametrlari to'liq tanlov bo'yicha qayta hisoblanadi.

j) Ko'chirish mezoni n_{CM} [42-44] parametrlar bahosining tanlovning turli xil sohalariga nisbatan "barqarorlik" mezonidir.

Ushbu mezonni hisoblash uchun tanlov ikkiga bo'linadi va har bir qism uchun $\hat{\alpha}^1$ va $\hat{\alpha}^2$ baholar hisoblanadi.

U holda n_{CM} qiymat quyidagi ko'rinishni qabul qiladi:

$$n_{CM} = \frac{\sum_{k=1}^{n}\left(\sum_{i=1}^{m}\hat{\alpha}_i^1 x_{ki} - \sum_{i=1}^{m}\hat{\alpha}_i^2 x_{ki}\right)^2}{\sum_{k=1}^{n} y_k^2}.$$

Bu formuladan kelib chiqadiki, n_{CM} mezonning qiymati qanchalik kichik bo'lsa, u shunchalik yaxshi bo'ladi.

Shuni qayd etish joizki, pdatda adabiyotlarda keltirilgan mezonlar unchalik qo'llanilmaydi, chunki mezonlarning qiymatlari talab etilgan oraliqqa tushib qolsa, qurilgan model sifatining qoniqarli ekanligi rasmiy ravishda isbotlanmaganligidadir. Ko'pincha, har xil sinfdagi, xususan murakkab ijtimoiy-iqtisodiy obyektlar yoki jarayonlarning funksionallashuvini ta'riflovchi ekonometrik matematik modellarni ishlab chiqishda tadqiqotchi qayta ishlanuvchi joriy ma'lumot aniq ko'rinishda emas, ma'lum bir noaniqlik bilan berilgan vaziyatga duch kelishga to'g'ri keladi. Bunday noaniqlik matematik usullar yordamida viloyatlardagi ta'limning rivojlanish qonuniyatlarini o'rganishda yaqqol namoyon bo'ladi, buning sababi shundaki, viloyat ancha "ochiq" bo'lib, undagi statistic hisobotni shakllantirish tartibi Markazdagiga qaraganda ancha sustroqdir. Oxirgi paytlarda, davlat iqtisodiyotini reformatsiyalash hisobiga qayd etilgan noaniqlik sezilarli darajada o'sib bormoqda.

Joriy ma'lumotlarda noaniqlikning ishtiroki "nuqtaviy" xarakterga ega bo'lgan axborotni qayta ishlashga layoqatli modellashtirishning an'anaviy hisoblash sxemalarini ishga tushirishni qiyinlashtiradi va yangi modellashtirish usullarini ishlab chiqishni talab etadi.

Ayni vaqtda "joriy axborotning noaniqligi" atamasini talqin etishning bir nechta yondashuvlari ma'lumdir. Mazkur ishda modellashtirish amaliyotida eng ko'p uchraydigan "oraliqli noaniqlik" holatiga asosiy e'tibor qaratiladi. Noaniqlikning bunday talqinida modellashtirish jarayonida qayta ishlanishi kerak bo'lgan joriy ma'lumotlar (p_i) ning butun majmui (yoki uning ma'lum bir qismi) noravshan, shunday xatolik bilan berilganki, p_i qiymatga nisbatan faqat o'zi tegishli bo'lgan $[p_i^-, p_i^+]$ oraliq ma'lumdir. Bunda, p_i ning $[p_i^-, p_i^+]$ ichidagi yoki chegarasidagi vaziyatini aniqlashtiruvchi ehtimolli yoki boshqa har qanday tavsiflar yo'q. $p_i^- = p_i^+$ da barcha I lar uchun biz sodda nuqtaviy-berilgan joriy axborotga ega bo'lamiz.

Albatta “noaniqlik” atamasining bunday talqini uning mazmunini to’liq ta’riflamaydi. Ushbu atamaning ehtimolli va noravshan amaliyotiga bag’ishlangan ko’pgina ishlar mavjud.

Ma’lumotlarning oraliqli berilishi ularning qaydlaridagi xatoliklari bilan, butun tanlovni yoki uning ma’lum bir qismini shakllantirishning tajribaviy usulida mavjud subyektivizm bilan tushintirilishi mumkin. Bundan tashqari, oraliqlar bilan tashqi muhit holatining ochiq matematik modellarini akslantiruvchi omillarning qiymatlari o’lchanishi mumkin.

Ma’lumotlarni xatolik bilan qayd etishga misol bo’lib, hududiy rivojlanishni modellashtirishda uchraydigan, statistic hisobotning har xil formalaridan olingan ma’lum bir ko’rsatkichning qiymati farq qilishi misol bo’lishi mumkin, jumladan bunday “fenomen” ning sababini tushuntirib bo’lmaydi.

Bunday holatda kuzatilayotgan kattalik sifatida chap va o’ng chegarasi ushbu ko’rsatkichning har xil formalaridagi maksimal va minimal qiymatlariga teng bo’lgan oraliqni qabul qilish mumkin.

Axborotni qayta ishlash muammolarini yechish uchun oxirgi 10-20 yillar mobaynida oraliqli matematika sohasida jadal tadqiqotlar olib borilmoqda. [48] oraliqli tahlildan foydalanishning boshlang’ich nuqtasi matematik- hisoblachilarning yaxlitlash xatoliklarini avtomatik ravishda hisobga olgan holda raqamli mashinalarda algoritmlarning bajarilish imkonini yaratishdir va shu bilan birga xatolikning qat’iy chegaralarini hisoblash. Oraliqli tahlil usullarining ilovalari ma’lumotlardagi oraliqli noaniqlikning mavjudligini hisobga oluvchi har xil masalalarni yechishda samarali foydalanila olinish imkonini hisobiga keng tavsifga egadir.

Statistik modellarni ishlab chiqish masalasiga nisbatan qo’llaniluvchi oraliqli qo’yilish quyidagi tarzda bayon etiladi. (1.3.1) chiziqli regressiyaning α_i, $i=\overline{1,m}$ parametrlarini baholash talab etilsin, bunda x_{ki}, y_k , $i=\overline{1,m}$, $k=\overline{1,n}$ aniq qiymatlar tarixiy ilovada ma’lum emas, faqatgina shu qiymatlar tegishli bo’lgan $[x_{ki}^{-}, x_{ki}^{+}]$ va $[y_{ki}^{-}, y_{ki}^{+}]$ oraliqlargina ma’lum bo’lsin. Bunday umumiy qo’yilish doirasida quyida ko’rib chiqiladigan parametrlar bahosining turli xil talqinlari mavjud bo’lishi mumkin.

Oraliqli chiziqli statistik bog’lanish (ya’ni elementlari yuqorida qayd etilgan oraliqlar bo’lgan tanlovli (1.3.1) bog’lanishlar) ning parametrlarini baholash bilan bog’liq markaziy masala oraliqli tahlil uchun klassik bo’lgan chiziqli algebraik tenglamalar oraliqli sistemasining (ChATOS-oraliqli tahlilda qabul qilingan belgilash) yechimini topish masalasidir

$$Az = B, \qquad (1.3.18)$$

bu yerda A-($n \times m$) o'lchovli oraliqli haqiqiy matrisa, B- elementlari mos ravishda $[a_{ki}^{-}, a_{ki}^{+}]$ и $[b_{ki}^{-}, b_{ki}^{+}]$, $z \in R^m$ oraliqlar bo'lgan n-o'lchovli oraliqli vector. (1.3.18) sistemaning yechimlar to'plami matrisaning koeffitsiyentlari bilan [18] ning o'ng tomoni qanday kvantorlar bilan bog'langanligiga qarab, har xil usullar bilan aniqlanishi mumkin. Ko'pincha adabiyotlarda (1.3.18) ning quyidagi yechimlar to'plami uchraydi:

$R_1 = \{z \in R^m \mid \exists C \in A, \quad \exists\, c \in B \quad Cz = c\}$-[99, 101, 103] yechimlarning birlashgan to'plami;

$R_2 = \{z \in R^m \mid \exists C \in A, \quad \exists\, c \in B \quad Cz = c\}$-[96,98,106] larning mavjud yechimlar to'plami;

$R_3 = \{z \in R^m \mid \exists C \in A, \quad \exists\, c \in B \quad Cz = c\}$-birinchi bora [94] modal boshqaruv masalasini oraliqli yechishda ko'rib chiqilgan to'plam;

$R_4 = \{z \in R^m \mid (\forall C \in A\, \exists c \in B\, Cz = c) \& (\forall d \in B\, \exists D \in A\, Dz = d)\}$ -[39,105] ning barcha nuqtaviy algebraik oraliqli yechimlar to'plami.

R_i, $i = \overline{1,4}$ to'plamlar shuningdek quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\begin{aligned} R_1 &= \{z \in R^m \mid ([A^-, A^+]z) \cap [b^-, b^+] \neq \varnothing\}, \\ R_2 &= \{z \in R^m \mid [A^-, A^+]z \subseteq [b^-, b^+]\}, \\ R_3 &= \{z \in R^m \mid [A^-, A^+]z \supseteq [b^-, b^+]\}, \\ R_4 &= \{z \in R^m \mid [A^-, A^+]z = [b^-, b^+]\}. \end{aligned} \qquad (1.3.19)$$

Bu yerda A^-, A^+ va b^-, b^+ mos ravishda a_{ki}^-, a_{ki}^+ va b_k^-, b_k^+, $k = \overline{1,m}$ elementlardan tashkil topgan matrisa va vektorlar.

R_i, $i = \overline{1,4}$ lar o'rtasida quyidagi munosabatlar o'rinli bo'ladi:

$$R_1 \supseteq R_2 \cup R_3 \supseteq R_4 = R_2 \cap R_3. \qquad (1.3.20)$$

R_1 (1.3.18) birlashgan yechimlar to'plamining birinchi ta'rifi Oettli va Prager tomonidan keltirilgan [103, 104]. Uning ko'rinishi quyidagicha:

$$R_1 = \{z \in R^m \mid \ |A_c z - b_c| \leq \Delta|z| + \delta\}. \qquad (1.3.21)$$

Bu yerda

$$A_c = \frac{1}{2}(A^- + A^+), \quad b_c = \frac{1}{2}(b^- + b^+), \quad \Delta = A_c - A^- = A^+ - A_c, \quad \delta = b_c^- - b = b^+ - b_c.$$

(1.3.18) sistemaning mavjud yechimlar to'plami R_2 birinchi bora Ron tomonidan ta'riflangan [106]:

$$R_2 = \{z = z^1 - z^2 \,|\, z^1 \geq 0,\, z^2 \geq 0,\, A^- z^1 - A^+ z^2 \geq b^-,\; A^+ z^1 - A^- z^2 \leq b^+\}. \quad (1.3.22)$$

Odatda interval tahlil uchun (1.3.18) sistemani yechish yondavushini quyidagi masala (1.3.18) dagi Az=b nuqtaviy sistemalarning yechimlar to'plamini koordinatalar bo'yicha baholash [96]:

ISLAU birlashgan yechimlar to'plamini o'z ichiga olgan V interval vektorni topish.

Agar bunda V ning komponentalari eng kichik kenglikka ega bo'lsa, u holda V muqobil oraliq yechim deyiladi.

Oraliqli qo'yilishning boshqa misoli murojaatlar to'g'risidagi chiziqli masaladir [97]:

ISLAU R_2 yechimlar to'plamida ishtirok etgan U oraliqli vektorni topish.

Umumiy holda V va U taxminiy ravishda R_1 va R_2 ni ta'riflaydi, chunki V da R_1 ga tegishli bo'lmagan nuqtalar ishtirok etishi, U es aksincha- R_2 da ishtirok etgan nuqtalarni o'z ichiga olishi mumkin. Shuning uchun oraliqli qo'yilish bilan bog'liq masalarni yechishda R_i, $i = \overline{1,4}$, to'plamlarning taxminiy tar'filari bilan emas, o'zlari bilan ishlash maqsadga muvofiqdir. Mazkur ishda oraliqli statistik modellarni qurishda ikkala yondashuv- ham aniq, ham ISLAU yechimlar to'plamining har xil taxminiy ta'riflari qo'llaniladi.

Endilikda erksiz o'zgaruvchi y va ekli oz'garuvchilar x_i, $i = \overline{1,m}$ o'rtasida chiziqli bog'lanish mavjud degan faraz asosida (1.3.1) oraliqli chiziqli regressiya parametrlarini baholash masalasini ko'rib chiqamiz. (1.3.19) ga muvofiq bu masala quyidagi to'plamlardan birini qurishdan iboratdir:

$$\begin{aligned} R_1 &= \{a \in R^m \,|\, ([X^-, X^+]a) \cap [y^-, y^+] \neq \varnothing\}, \\ R_2 &= \{a \in R^m \,|\, [X^-, X^+]a \subseteq [y^-, y^+]\}, \\ R_3 &= \{a \in R^m \,|\, [X^-, X^+]a \supseteq [y^-, y^+]\}, \\ R_4 &= \{a \in R^m \,|\, [X^-, X^+]a = [y^-, y^+]\}. \end{aligned} \quad (1.3.23)$$

Bu yerda $X^- = \| x_{ki}^- \|$, $X^+ = \| x_{ki}^+ \|$ - erkli o'zgaruvchilar rost qiymatlarining quyi va yuqori chegaralarining $(n \times m)$-matrisalari, $y^- = (y_1^-, ..., y_n^-)^T$, $y^+ = (y_1^+, ..., y_n^+)^T$ -esa ekrsiz o'zgaruvchi rost qiymatlarining quyi va yuqori chegaralari vektorlari.

UUshbu masalaning har xil hususiy qo'yilishlari va ularning yechimlari ma'lum. [23] o'quv qo'llanmasida faqatgina y ma'lum bo'lgan holda R_1 va R_2 to'plamlarni qurish masalasi qo'yiladi. Bunday holda

$$R_1 = R_2 = \{a \in R^m \mid y_k^- \le \sum_{i=1}^{m} a_i x_{ki} \le y_k^+ \text{ hamma } k = \overline{1,n} \text{ uchun}\} \qquad (1.3.24)$$

(1.3.23) ko'rinishda berilgan to'plamlar bilan ishlashni osonlashtirish maqsadida [23] da ularni Π^+ to'g'ri burchakli gipertizma yordamida taxminiy ta'riflash usuli hisobga olingan bo'lib, bunda

$$\prod{}^{+} = (\alpha \in R^{b} \mid \alpha_i^- \le \alpha_i \le \alpha_i^+), i = \overline{1,m}\,. \qquad (1.3.25)$$

α_i, α_i^+ chegraviy nuqtalar esa LP ning 2m masalalari yechimi sifatida hisoblanadi:

$$\alpha_i^- = \min_{\alpha \in R_1} \alpha_i \ , \alpha_i^+ = \max_{\alpha \in R_1} \alpha_i \,,$$

Π^+ da R_1 to'plamni koordinata bo'yicha tashqi baholashning V ta masalasi ustma-ust tushadi.

Umumiy holda $R_1 = R_2 \in \Pi^+$. Agar R_1 o'zi gipetizmani ifodalasa, u holda $R_1 = R_2 = \Pi^+$.

Bundan tashqari, [23] da R_1 to'plam asosida oraliqli chiziqli regressiya koeffitsiyentlarini nuqtaviy baholashning har xil usullari taklif etiladi.

a) Maksmin baholash.

Ushbu baholash α ning R_1 to'plamdan notog'ri tanlanish xavfining maksimal ehtimoli minimallashtiradi va quyidagi masalaning yechimidan aniqlanadi

$$\min_{\alpha \in R_1} \max_{\beta \in R_2} p(\alpha, \beta), \qquad (1.3.26)$$

bu yerda $\rho(.,.)$ – tanlangan o'lchov.

[23] da minimaks masalaning yechimi evklid o'lcham uchun quyidagi formula bo'yicha hisoblanadigan $\tilde{a}$ vektor ekanligi aytib o'tiladi:

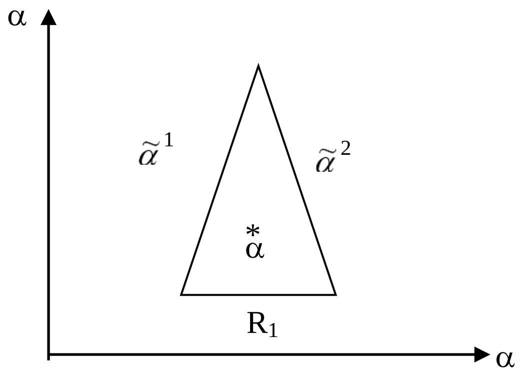
$$\tilde{a} = \frac{1}{2} | a^1 - a^2 | \,. \qquad (1.3.27)$$

Bu yerda a^1 va a^2 - (1.3.24) formula bilan berilgan R^1 ko'pyoqning chetki burchakli nuqtalari, a^1 va a^2 qiymatlar kvadratli dasturlash masalasining yechimidir

$$\max\,(\alpha - \beta)^T (\alpha - \beta).$$

$\alpha,\beta \in R_1$

Lekin (1.3.27) formula umumiy holda noto'g'ri ekanligini ko'rsatish mumkin. Haqiqatdan ham, to'plam 1.3.1-rasmdagi kabi ko'rinishga ega bo'lsin.



1.3.1-Rasm

Eng chetki burchak nuqtalar [23] da o'rinli tasdiqlangani kabu baholash aniqligining yaxshi sonli tavsifi bo'lgan to'plam o'lchamini hisoblash imkonini beradi. Lekin hisoblashlar [23] da taklif etilgan

$$P(R_1) = \left| \alpha^1 - \alpha^2 \right|$$

formula bo'yicha emas

$$P(R_1) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \left| \frac{\alpha_i^1 - \alpha_i^2}{\alpha_i^1} \right|$$

formula bo'yicha olib boriladi, bu har xil oraliqli tanlovlarda qurilgan R_1 to'plamlarning o'lchamlarini solishtirish imkoni beradi.

b) O'rtacha baholash.

Ushbu baholash R_1 to'plamning og'irlik markazi sifatida topiladi:

$$\tilde{\beta} = \frac{1}{u} \sum_{j=1}^{u} \alpha^j \quad ,$$

bu yerda (a^j), $j = \overline{1,u}$ - R_1 ko'pyoqning barcha burchaklilari to'plami.

Qidiruv saralash tavsifidagi anchagina mehnat talab hisoblash masalasidi, chunki u to'plamning barcha uchlarini topishni talab etadi.

c) O'rtacha oraliqli baholash.

Ushbu bahoni qurish uchun oraliqli tanlov quyidagi formulalar bo'yicha soda nuqtaviy ko'rinishga keltiriladi

$$X = \frac{1}{2}(X^- + X^+), \; Y = \frac{1}{2}(Y^- + Y^+),$$

bundan so'ng bahoni aniqlash uchun mazkur bo'limda keltirilgan usullar, masalan MNK yoki MNM dan foydalaniladi. Ammo, umumiy holda o'rta oraliqli baholash R_1 to'plamga tegishli bo'lmasligi mumkin.

Bashoratlash rejimida oraliqli chiziqli regressiyadan foydalanganda erkli o'zgaruvchi uchun bashoratli oraliq sifatida $[\hat{y}^-, \hat{y}^+]$ dan foydalanish tavsiya etiladi, uning chegaralari quyidagicha bo'ladi

$$\hat{y}^- = \min_{\alpha \in R_1} \sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_i \,, \hat{y}^+ = \max_{\alpha \in R_1} \sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_i$$

R_1 ning o'rniga Π^+ gipertizmadan foydalanganda ushbu oraliq quyidagi ko'rinishni qabul qiladi:

$$[\hat{y}^-, \hat{y}^+] = \sum_{1=1}^{m} [\alpha_i^-, \alpha_i^+] \; x_i \;,$$

Oraliqli tanlov quyidagi ko'rinishga ega bo'lsin:

$$X^- = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \qquad X^+ = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \qquad y^- = \begin{pmatrix} -6 \\ -2 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix} \qquad y^+ = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

U holda R_1 baholar to'plami bog'lanmagan, chunki u ikkita nuqtadan iborat xolos:

$$R_1 = ((1,-1),(-1,1)).$$

Demak, qayd etilgan algoritm to'g'ri emas.

Oraliqli chiziqli statistic bog'lanishlarni qurishda barcha $R_i, \quad i = \overline{1,4}$ to'plamlar bo'sh bo'lishi mumkin. Ikkincha bobda bu kabi bog'lanishlarning paramaetrlarini nuqtaviy baholash usullari talkif etiladi.

Ayni vatqgacha oraliqli tahlilda va uning turli xil ilovalarida $R_i, \quad i = \overline{1,4}$ yechimlar to'plamidan har bir vaziyat uchun eng mos bo'lganini tanlashga taalluqli tavsiyalar bilan bog'liq masalalar yetarli darajada qayta ishlanmagan.

Kelgusida, mazkur ishda oraliqli tanlov bo'yicha parametrlar jihatidan chiziqli bo'lgan parametrlarni baholash uchun "oraliqli baholash" atamasidan foydalaniladi. Muallif ushbu tushuncha ishonchli ehtimollikni hisobga olgan holda "nuqtaviy" tanlovning statistic xossalarini tahlil qilish asosida $(\alpha_i - \Delta_i, \alpha_i + \Delta_i)$ ishonchlilik oraliqlarini hisoblash proseduralari uchun an'anaviy regression tahlilda qo’llanilishini anglagan. Bu holatda esa baholashlar to’plami m-o’lchovli parallelipipedga qaraganda murakkabroq tuzilmaga ega bo’ladi (lekin R_i to’g’ri burchakli gipertizma Π^+ tomonidan approksimatsiyalanganda oraliqli baholashlar ham bo’lishi mumkin) va faqatgina algebraic usullar yordamida statistic tavsiflarni hisobga olmagan holatda quriladi. Shuning uchun qayd etilgan atamaning taklif etilgan talqini qabul qilinganidan farq qilsada, unga zid bo’lmaydi, chunki u “nuqtaviy” baholashdan farqli o’laroq regressiya parametrlarining “to’plamli” baholar tabiatini taklif etadi.

1.1, 1.2 p.p larda qayd etilganidek, turli xil jarayonlarni bashoratlash v abu bilan bog’liq ravishda paydo bo’ladigan boshqaruv masalalarini yechish uchun ma’lumotlarning amaliy tahlilini ularning an’anaviy ma’nosida qo’llash shu jarayonlarning rivojlanishi bashoratning jadallashuvi tabiatida bashoratning paydo bo’lish tabiatidagi jadalliklarga rioya etsagina to’g’ri bo’ladi. Agarda or’ganilayotgan jarayonning mexanizmlari davlat iqtisodiyotidagi barcha bosqichlaridagi kabi sezilarli darajada o’zgarishi kutilayotgan bo’lsa, bunday usullardan “sof” ko’rinishda foydalanish maqsadga muvofiq bo’lmaydi. Bunday sharoitlarda bashoratlashda tajribaviy baholashlarning an’anaviy apparatidan yoki boshqa usullardan foydalangan holda tajribachilarning yordamiga murojaat etishga to’g’ri keladi. O’rganilayotgan jarayonlarning o’tmishi haqidagi ma’lumotlar hisobga olinmaydi. Bunday yondashuv bir tomonlamadir, chunki yuqorida qayd etilgan haqiqiy jarayonlarning inersiyaviyligi hisobiga ularning kelgusida xarakteri o’zgarsada, o’tmish to’g’risidagi statistic ma’lumotlar foydali axborotni o’zida saqalashi mumkin, u tajribaviy bilan bir qatorda modellashtirish va bashoratlashda hisobga olinishi kerak. Bunda ma’lumotlar tahlilining doirasida qolish maqsadga muvofiqdir.

Statistik va tajribaviy axborotni modellashtirishda qayd etish muammosi dolzarb bo’lishiga qaramay, yechimning samarali usullarini qidirish bosqichida turibdi xolos. U bayesli yondashuvdan foydalangan holda soda va rasmiy ko’rinishda o’rganilib chiqilgan, lekin amaliy jihatdan bu yerda olingan natijalarning ahamiyati cheklangan, bunday holatda modelning parametrlariga taaluqli tajribaviy bilimlar kerak bo’lib, ular jalb etilayotgan mutaxassis-tajribachilarga xos emas.

Tadqiqotlarning boshqa yo’nalishi tajribachilarning bashoratlanayotgan ko’rsatkichning qiymatlari va unga ta’sir etuvchi omillar to’g’risidagi mulohazalarni qayta ishlash uchun noravshan to'plamlar apparatidan foydalanish bilan bog'liqdir. Bunday yondashuv juda ham samaralidir, lekin u aniqlanmagan maxsus ma'nodagi statistic ma'lumotlar holiga mo'ljallangan bo'lib, ijtimoiy-iqtisodiy axborot uchun xarakterli emasdir.

Mazkur ishda model parametrini baholashda statistic va tajribaviy axborotni birgalikda qo'llashga qaratilgan yondashuv ko'rib chiqiladi. Bunda, lekin paydo bo'ladigan masalalarni yechishda chiziqli dasturlashning sodda apparati bilan cheklangan holda mavjud tajribaviy mulohazalar doirasini kengaytirish imkoni yaratildi. Bundan tashqari, bunday mulohazalarning boshqa muammolarga nisbatan qo'llanilish doirasi ham kengaytirildi.

1.4. Bashoratlashda oraliqli chiziqli modellarni qurish va qo'llash

Shartli bosqichda oraliqli chiziqli statistic bog'lanishni (OChSB) qurish masalasini ko'rib chiqamiz.

O'rganilayotgan obyektning funksionallashuvi quyidagi ko'rinishda berilgan n ta kuzatuvlar majmui orqali tasvirlansin

$$x_{ki}^{-} \le x_{ki} \le x_{ki}^{+}\ ,\quad y_{ki}^{-} \le y_{ki} \le y_{ki}^{+}\quad ,\ i=\overline{1,m}\ ,\ k=\overline{1,n}. \tag{1.4.1}$$

Bu yerda x_{ki}^{-} , y_{k}^{-} va x_{ki}^{+} , y_{k}^{+} haqiqiy sonlar- mos ravishda erkli va erksiz o'zgaruvchilar chin qiymatlarining quyi va yuqori chegaralari. Bunda, x_{ki} , y_{k}^{-}, $i=\overline{1,m}$, $k=\overline{1,n}$ larning qayd etilgan oraliqlar ichida yoki chegarasida joylashishining ehtimolli yoki boshqa tavsiflari yo'q.

U holda y va x_i , $i=\overline{1,m}$ orasida to'plamli chiziqli bog'lanish mavjud deb faraz qilgan holda ushbu bog'lanish funskional bo'lgan parametrlar qiymatlarining to'plamlaridan birini - R_1, R_2, R_3 , R_4 yoki R_5ni qurish lozim (yechimning tanlangan shakliga qarab), bu yerda

$$R_5 = \begin{cases} a \in R^m \mid (\left[X_j^-, X_j^+\right]a) \cap \left[y_j^-, y_j^+\right] \neq 0,\ j \in K_1,\ \left[X_i^-, X_i^+\right]a \subseteq \left[y_j^-, y_j^+\right], \\ i \in K_2, \left[X_k^-, X_k^+\right]a \supseteq \left[y_k^-, y_k^+\right], \\ k \in K_3,\ \left[X_s^-, X_s^+\right]a = \left[y_s^-, y_s^+\right],\ s \in K_4 \quad \}. \end{cases}$$

U yoki bu o'zgaruvchining rost qiymati (1.4.1) ning oraliqlaridan birida joylashishi mumkinligi hisobiga, qurilishi lozim bo'lgan R_j , i $\in$ {1,2,...,5} to'plamdan olingan har bir baho ILSZ parametrlarining rost bahosiga mos bo'lishi kerak.

R_j parametrlar to'plami bo'sh bo'lsa, ILEZ parametrlarning nuqtaviy bahosi sifatida $\tilde{\alpha}(R_i)=\tilde{\alpha}^{+}(R_i)-\tilde{\alpha}^{-}(R_i)$ kvazibahoni olish kerak, u v indeks o'lchovni anglatgan masalani yechishdan hosil qilib olinadi. Agar kvazibaho yagona bo'lmasa, kvazibaholar to'plamidan yagona bahoni tanlash qoidasini qayd etish lozim

$$\Lambda(R_i)=\{\ a^{+}(R_i)-a^{-}(R_i)\,|\,(a^{+}(R_i),a^{-}(R_i))\in 0\ \ (\psi_i^{v}),\quad (a^{+}(R_i),a^{-}(R_i))=\arg\min_{(\alpha_1,\alpha_2)\in 0(\varphi_i^{v})}\psi_i^{v}(a_1,a_2)\ \}. \tag{1.4.2}$$

Quyida bunday tanlovning mavjud qoidalari taklif etiladi. Bu yerda oldingi boblardagi singari, biz hosil qilib olinadigan baholar yoki baholar to'plamining statistic xossalarini ko'rib chiqmaymiz.

1.3 va 2.1 p.p larda keltirilgan ISLAU ning yechimini topish usullari uchun ILSZ baholarning to'plamini ta'riflash uchun Ronning R2 hol uchun keltirgan ta'rifidan foydalanamiz:

$$\begin{aligned}
&R_1=\{\ a^1-a^2\,|\,a^1,a^2\in R_+^m,\ (a_1,a_2)=0,\ X^{-}a^1-X^{+}a^2\le y^{+},\ X^{+}a^1-X^{-}a^2\ge y^{-})\ \}\\
&R_2=\{a^1-a^2\,|\,a^1,a^2\in R_+^m,\ X^{-}a^1-X^{+}a^2\ge y^{-},\ X^{+}a^1-X^{-}a^2\le y^{+}\}\\
&R_3=\{a^1-a^2\,|\,a^1,a^2\in R_+^m,\ (a^1,a^2)=0,\quad X^{-}a^1-X^{+}a^2\le y^{-},\quad X^{+}a^1-X^{-}a^2\ge y^{+}\}\\
&R_4=\{a^1-a^2\,|\,a^1,a^2\in R_+^m,\ (a^1,a^1)=0,\ X^{-}a^1-X^{+}a^2=y^{-},\ X^{+}a^1-x^{-}a^2=y^{+}\}\\
&R_5=\{a^1-a^2\,|\,a^1,a^2\in R_+^m,(a^1,a^2)=0,\ X_j^{-}a^1-X_j^{+}a^2\le y_j^{+},\ X_j^{+}a^1-X_j^{-}a^2\ge y_j^{-},\ j\in K_1,\}\\
&\{X_i^{-}a^1-X_i^{+}a^2\ge y_i^{-},\ X_i^{+}a^1-X_i^{-}a^2\le y_i^{+},\ i\in K_2,\ \ X_k^{-}a^{-}-X_k^{+}a^2\le y_k^{-}\}\\
&\{X_k^{+}a^1-X_k^{-}a^2\ge y_k^{+},\ k\in K_3,\ X_s^{-}a^1-X_s^{+}a^2=y_s^{-},\ X_s^{+}a^1-X_s^{-}a^2=y_s^{+},\ s\in K_4\}
\end{aligned} \tag{1.4.3}$$

(1.4.3) ta'riflar orqali ifodalangan ILSZ baholar to'plami bilan ishlash ularda (a^1,a^2) – 0 nochiziqli shartning ishtiroki hisobiga juda qiyin. Bu yerda chiziqli cheklanishlar bilan ta'riflangan R_2 to'plamgina istisnodir. Qolgan to'plamlar R^m fazoning har bir $z^{\sim}$ ortantasi uchun ko'rib chiqiladigan chiziqli tengsizliklar sistemalarining umumiy sohalari birlashmalarini ifodalab, u R_i , i=1,3,4,5 da har xil muqobil masalalarni yechishning saralash tavsifini belgilaydi. Ushbu to'plamlar bilan "ishlash" ning boshqa usuli nochiziqli shartni ILSZ baholarining to'plamlarini o'z ichiga olgan chiziqli shart bilanσ_j., $j=\overline{1,m}$ bull o'zgaruvchilarini kiritish orqali masalaning o'lchamini kengaytirish asosida almashtirishdir. Bunday almashtirish masalaning saralash tavsifini o'zgartira olmaydi, lekin qisman-butun sonli chiziqli dasturlash masalalarini yechishning dasturiy vositalaridan foydalanish imkonini beradi.

Har xil turdagi muammolarni, asosan bashoratlilarni yechishda ILSZ ni qo'llash paytida hamma R_j, i $\in$ {1,2,...,5} baholashlar to'plamidan foydalanish maqsadga muvofiq bo'lavermaydi, chunki, birinchidan mos ta'riflarning o'lchami juda katta bo'ladi va ikkinchidan $(a^1,a^2) = 0$ nochiziqli ekanligi hisobiga kelib chiqqan qiyinchiliklar. Shuning uchun, butun R_i to'plamni emas, uning qo'pol bo'lsa ham, e'tiborni tortadigan xossalariga ega bo'lgan ta'rifi bilan ishlash "mantiqiy" roqdir.

ILSZ parametrlarining baholar to'plamini ta'riflash masalasi tadqiqotchi mazmuniy tavsifdagi mulohazalardan kelib chiqqan holda, bog'lanish koeffitsiyentlariga belgilar qo'ya olganida ancha osonlashadi. Har xil turdagi tizimlarni modellashtirishda bunday holat istisno tariqasida emas, qoida sifatida vujudga keladi, chunki ko'pincha u yoki bu tenglamani qurishda omillarning bir-biriga ta'sir yo'nalishi va mos ravishda ushbu ta'sirning ishoralari ma'lum bo'ladi. ILSZ ning hamma koeffitsiyentlari oldindan ma'lum bo'lmasdan, ularning ma'lum bir qismigina aniq bo'lsa, bu ham parametrlar ishoralarining saralanuvchi kombinatsiyalarini kamaytirishi mumkin.

Shunday qilib, ILSZ ning koeffitsiyentlari ma'lum bo'lgan holni ko'rib chiqaylik.

X^- va X^+ matrisalarni quyidgai qoida asosida hosil qilib olamiz

$$\bar{x}_{ki}^- = \begin{cases} x_{ki}^-, & \text{при } sign(a_1) = 1 \\ -x_{ki}^+, & \text{при} sign(a_1) = -1 \end{cases} \qquad \bar{x}_{ki}^+ = \begin{cases} x_{ki}^+, & \text{при} sign(a_1) = 1 \\ -x_{ki}^-, & \text{при } sign(a_1) = -1 \end{cases}$$

Baholanuvchi vector bilan bog'liq a parmetrlar baholarining vektorini $\bar{a}_i = a_i \cdot sign(\alpha_i),\ i = \overline{1,m}$ munosabat yordamida kiritamiz.. Ushbu ta'rifni hisobga olgan holda R_1, $i = \overline{1,5}$ to'plamlar quyidagi ko'rinishni qabul qiladi

$$\begin{aligned}
&\bar{R}_1 = \{\alpha \in R^m \mid \alpha_i = \bar{\alpha}_i\, sign(\alpha_i),\ i = \overline{1,\ m},\ \bar{X}^-\bar{\alpha} \le y^+,\ X^+\bar{\alpha} \ge y^-\} \\
&\bar{R}_2 = \{\alpha \in R^m \mid \alpha_i = \bar{\alpha}_i\, sign(\alpha_i),\ i = \overline{1,\ m},\ \bar{X}^-\bar{\alpha} \ge y^-,\ X^+\bar{\alpha} \le y^+\} \\
&\bar{R}_3 = \{\alpha \in R^m \mid \alpha_i = \bar{\alpha}_i\, sign(\alpha_i),\ i = \overline{1,\ m},\ \bar{X}^-\bar{\alpha} \le y^-,\ X^+\bar{\alpha} \ge y^+\} \\
&\bar{R}_4 = \{\alpha \in R^m \mid \alpha_i = \bar{\alpha}_i\, sign(\alpha_i),\ i = \overline{1,\ m},\ \bar{X}^-\bar{\alpha} = y^-,\ X^+\bar{\alpha} = y^+\} \\
&\bar{R}_4 = \{a \in R^m \big| a_i = \bar{a}_i\, sign(a_i),\ i = \overline{1,m},\ \bar{X}_j^-\,\bar{a} \le y_j^+,\ \bar{X}_j^+\,\bar{a} \ge y_j^-,\ j \in K_1, \\
&\qquad \bar{X}_l^-\,\bar{a} \ge y_l^-, \bar{X}_l^+\,\bar{a} \le y_l,\ l \in K_2,\ \bar{X}_k^-\,\bar{a} \le y_k^-, \bar{X}_k^+\,\bar{a} \ge y_j^+, k \in K_3, \\
&\qquad \bar{X}_s^-\,\bar{a} = y_s^-,\ \bar{X}_s^+\,\bar{a} = y_s^+, s \in K_4\}
\end{aligned} \qquad (1.4.4)$$

(1.4.4) ifoda (1.4.3) ga qaraganda ancha soddaroq, chunki unda $(a^1, a^2) = 0$ nochiziqli shart yo'q, chiziqli cheklanishlar esa ustunlar bo'yicha ikki baroba kichik o'lchamga ega.

Shunday qilib, ILSZ ning regression koeffitsiyentlari oldidagi noma'lum a priori ishoralar holida R$_i$, $i=\overline{1,5}$ baholar to'palmining (1.4.3) ko'rinishidan, ma'lum R$_i$, $i=\overline{1,5}$ to'plamlar holida esa (1.4.4) formadan foydalanish kerak. Bunda α$_i$, $i=\overline{1,5}$ parametrlarning belgilangan qiymatli(1.3.1) chiziqli tenglamaning o'rniga ILSZ ni quyidgaicha yozib olish kerak:

$$y=\sum_{j=1}^{m} a_j x_j,\begin{cases} a\in R_i\text{, если знаки коэффициентов неизвестны и } R_i\neq\theta; \\ a\in \overline{R}_i\text{ ,если знаки коэффициентов известны и } \overline{R}_i\neq\theta; \\ a\in \Lambda(R_i)\text{ ,если знаки коэффициентов неизвестны и } R_i=\theta; \\ a\in \Lambda(\overline{R}_i)\text{ ,если знаки коэффициентов известны и } \overline{R}_i=\theta; \end{cases} \quad (1.4.5)$$

Bu yerda $\Lambda(R_i)$ - koeffitsiyentlarning ma'lum ishoralari oldidagi ILSZ kvazibaholar to'plami bo'lib, uning ko'rinishi (1.4.2)ga o'xshash bo'ladi:

$$\Lambda(\overline{R}_{\mathrm{i}})=\{\tilde{\alpha}^{+}(\overline{R}_i)-\tilde{\alpha}^{-}(\overline{R}_i)\,|\,(\tilde{\alpha}^{+}(\overline{R}_i),\ \tilde{\alpha}^{-}(\overline{R}_i))\in \mathrm{O}(\overline{\Psi}_{\mathrm{i}}^{\nu}),$$

$$(\tilde{\alpha}^{+}(\overline{R}_i),\ \tilde{\alpha}^{-}(\overline{R}_i))=arg\min_{(\alpha_1,\alpha_2)\in R_{+}^{m}\times R_{+}^{m}}\overline{\Psi}_{\mathrm{i}}^{\nu}(\alpha_1,\alpha_2)\}$$

$\overline{\psi}_i^{\nu}$ funksiya esa (2.1.10) ga o'xshab X^- va X^+ ni $\overline{X}^-$ hamda $\overline{X}^+$ ga almashtirish orqali $\overline{u}_i^l$, $\overline{v}_i^l$, $l=\overline{1,n}$ bo'yicha aniqlangan. R$_i$, ichidan baholar to'plamini tanlash uchun 2.1-p da X$_a$ va X$_b$ kattaliklarni solishtirishga taalluqli tavsiyalardan foydalanish mumkin.

ISLZ bilan ishlashni osonlashtirish uchun (1.4.5) formada 1.3 p da bayon etilgan R$_i$, $i=\overline{1,5}$ ni taxminiy ta'riflashning har xil usullaridan foydalanish mumkin. Shu usullarni R$_i$, $\Lambda(\mathrm{R}_i)$, $\Lambda(\overline{\mathrm{R}}_i)$, $i=\overline{1,5}$ ga nisbatan qo'llab koraylik.

Uchburchakli gipertizmaning taxminiy ta’rifini ko’rib chiqaylik. Bunday hoaltda (1.3.25) singari S_i, $S_i = R, \bar{R}, \Lambda(\bar{R})$ to’plamlar quyidagi gipertizma bilan almashtiriladi

$$\Pi^+_{S_i} = \left\{ a^-_j(S_i) \le a_j \le a^+_j(S_i),\ j = \overline{1,m} \right\}.$$

Chegarviy nuqtalar a^-_j, a^+_j esa 2m masalaning yechimlari sifatida hisoblanadi

$$a^-_j(S_i) = \min_{\alpha \in S_i} a_j \quad ,$$

$$a^+_j(S_i) = \max_{\alpha \in S_i} a_j \quad .$$

Jumladan, R_i , $\bar{R}_i$, $\Lambda(R_i)$, $\Lambda(\bar{R}_i)$, $i = \overline{1,5}$ to’plamlar uchun bu LP masalalar bo’ladi. ILSZ ning baholar to’plamini $\Pi^+_{S_i}$, $i = \overline{1,5}$ gipertizmalar yordamida taxminiy ta’riflashning asosiy kamchiligi shundaki, umumiy holda oxirgilarda S_i to’plamlarga tegishli bo’lmagan ko’pgina “ortiqcha” nuqtalar saqlanishi mumkin. R_1 to’plam bog’lanmagan va ikkita {(1,-1) (-1,1)} nuqtadan iborat oraliqli tanlovga nisbatan qidirilayotgan gipertizma quyidgai ko’rinishni qabul qiladi:

$$\Pi^+_{R_1} = \{ a \in R^2 \mid -1 \le a_1 \le 1,\ \ -1 \le a_2 \le 1 \} \quad .$$

Ayni vaqtda, R_2 o’z ichiga to’rtta chegaraviy nuqtadan aqalli ikkitasini oladi.

$\Pi^+_{S_i}$ gipetizmani belgilovchi chegaraviy nuqtalarni qidirish masalasining funksionali mos baholar to’plamining chegaralanmaganligi hisobiga chegaralanmagan bo’lishi mumkin. Shuning uchun bunday vaziyat sodir bo’lganida uni aniqlovchi shartlarga qo’shimcha cheklanishlar qo’yish lozim. Lekin butun obyektiv axborot foydalanilib bo’linganligi uchun, buning uchun mazmuniy jihatdan ifodalanib berilgan evritstik uslublardan foydalanish lozim. Ularning biri quyidagidan iboratdir.

Erkli o’zgaruvchining minimal va maksimal qiymatlari o’rtasidagi farq har bir baholashda ushbu o’zgaruvchining yuqori chegaralari modullarining yig’indisidan oshmasligi kerak. Bunday talab qo’shimcha cheklanishga olib keladi

$$\sum_{k=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} (a^1_j + a^2_j)(x^+_{kj} - x^-_{kj}) \le \sum_{k=1}^{n} \left| y^+_k \right| \quad .$$

$\forall k=\overline{1,n}\exists i\in(1,2,...,m)x_{ki}^{1}\neq x_{ki}^{+}$ shart bajarilganda, ushbu cheklanish R_i , $\overline{R}_i$, $\Lambda(R_i)$, $\Lambda(\overline{R}_i)$, $i=\overline{1,5}$ to'plamlarning ahr birini chegaralangan ko'rinishga keltiradi.

Endilikda ILSZ parametrlarni mos baholar to'plami asosida nuqtaviy baolash usullarini ko'rib chiqamiz.

a) Minimaks baholash.

Qayd etib o'tilganidek $\tilde{a}(S_i)$ minimaks baholash undan S_i to'plamdagi ixtiyoriy baholashgacha bo'lgan maksimal masofa minimaldir, yoki boshqa so'z bilan aytganda u baholashning noto'g'ri tanlanishining maksimal xavfini minimallashtirish imkonini beradi. $\tilde{a}(S_i)$ baholash (1.3.26) dagi kabi masalaning yechimiga qarab aniqlanadi, bu yerda p(.,.) – oldindan tanlangan o'lchov.

Biz oraliqli baholash uchun umumiy, S_i R^m fazoning har xil ortantlarida joylashgan bog'lanmagan birlashmani ifodalagan hol uchun ushbu algoritmni sxematik bayon etish bilan cheklanamiz xolos.

00-qadam. S_i baholar to'plamini (agar S_i ko'pyoq bo'lsaS_i uchlarni), hosil qiluvchi ko'pyoqlar birlashmalari $\tilde{Y}$ uchlarining bo'sh to'plami hosil qilinadi.

$\tilde{Y}$ to'plam, uning asosida minimaks baholashni olish maqsadida har bir qadamda kengayitiladi.

1-qadam. S_i to'plamning bir-biridan eng uzoqda joylashgan $\alpha^{(0)}$va $\alpha^{(1)}$ uchlar topiladi Bu maqsadda masala kengaytiriladi^

$$\max_{\alpha,\beta\in S_i}\rho(\alpha,\beta).$$

$\alpha^{(0)}$ va $\alpha^{(1)}$ uchlar $\tilde{Y}$ to'plamga kiritiladi.

Y va $\varpi\geq 0$ yangi o'zgaruvchilar kiritiladi va quyidagi masala yechiladi:

$$\min\omega \tag{1.4.6}$$

Bunda cheklanishlar quyidagiga teng:

$$\rho(\alpha^{(j)},\gamma)_{\gamma\in S_i}\leq\omega \tag{1.4.7}$$

va barcha $\alpha^{(j)}\in\tilde{Y}$ larda.

Natijada ϖ o'zgaruvchining $\varpi^{(1)}$ qiymati va $\tilde{Y}$ to'plamni tashkil etuvchi uchlargacha bo'lgan maksimal masofa $Y^{(1)}$ hisoblanadi.

Bundan so'ng quyidagi masala yechiladi

$$J^{(1)}=\max_{\alpha\in S_i}\rho(\alpha,\gamma^{(1)}). \tag{1.4.8}$$

Natijada $\alpha^{(2)}$ uch aniqlanadi.

2-qadam. $\alpha^{(2)}$ uchning $\tilde{Y}$ to'plamga tegishli bo'lishi va $\varpi^{(1)}$ va $J^{(1)}$ qiymatlarning tengligi tekshiriladi. Ushbu shartlarning aqalli bittasi bajarilganda $Y^{(1)}$ baholash minimaks deb e'lon qilinadi va jarayon tugatiladi. Aks holda $\alpha^{(2)}$ uch $\tilde{Y}$ to'plamga kiritiladi, $Y^{(2)}$ baholashni, $\alpha^{(3)}$ uchni, hamda $\omega^{(2)}$ va $J^{(2)}$ kattaliklarni aniqlash uchun (1.4.6) va (1.4.8) masalalar yechiladi, bundan so'ng sanab o'tilgan shartlar qaytarilib tekshiriladi va jarayon yoki tugatiladi (bunda $Y^{(2)}$minimaks baho bo'ladi), yoki $\tilde{Y}$ ga $\alpha^{(3)}$ baholash qo'shilganidan so'ng, jarayon davom ettiriladi. Taklif etilgan iterasion jarayonning minimaks baoga yaqinlashishi quyidagi sodda tasdiqlardan kelib chiqadi.

1.1-tasdiq. Ixtiyoriy belgilangan a e S_i baholashda quyidagi masalaning yechimi

$$\beta^* = arg \max_{\beta \in S_i} \rho(\alpha, \beta)$$

S_i uch bo'ladi.

1.2-tasdiq. $a^{(1)}, a^{(2)}, ..., a^{(r)} \in S_i$ uchlarning ixtiyoriy chekli soni uchun $a^{(j)}, j = \overline{1, r}$ gacha bo'lgan maksimal masofani minimallashtiruvchi $Y^* \in S_i$ baholash quyidagi masalaning yechimi ko'rinishida bo'ladi:

$$\gamma^* = arg \min_{\gamma \in S_i} \omega$$

$$\rho(a^{(j)}, \gamma) \le \omega, \quad j = \overline{1, r}.$$

Algoritmning chekli ekanligi S_i to'plamni tashkil etuvchi ko'pyoqlar uchlari sonlarining chekli ekanligidan kelib chiqadi.

Eslatma. Yuqori masalalarni maksimallashtiriluvchi maqsad funksiyasi bilan ishlash uchun S_i to'plamlar chegaralangan bo'lishi kerak. Aks holda minimaks baho ma'noga ega bo'lmaydi.

Taklif etilgan elgoritmning ILSZ ning bog'lanmagan baholari uchun ham to'g'ri bo'lishini ko'rish qiyin emas.

Algoritmning ishini koeffitsiyentlarning noma'lum ishoralari oldidagi $\bar{R}_1$ to'plamda $\tilde{a}(\bar{R}_1)$ minimaks bahoni qidirish masalasida tasvirlaymiz.

Eng muvaffaqiyatli $\alpha^{(0)}$ va $\alpha^{(1)}$ uchlar quyidagi masalaning yechimiga asoslangan holda aniqlanadi (bu yerda ρ sifatida koordinatalar bo'yicha chetlashish modullarining yig'indisidan foydalanilgan):

$$X^- a^{(0)} \le y^+$$
$$X^+ a^{(0)} \ge y^-$$
$$X^- a^{(1)} \le y^+$$
$$X^+ a^{(1)} \ge y^+$$
$$a^1 + u - v = a^{(0)}$$
$$u \ge 0, \quad v \ge 0, \quad (u, v) = 0$$
$$\sum_{i=1}^{m} (u_i + v_i) \to \max$$
.

Bu yerda R_1, R_3, R_4 to'plamlarning ta'riflaridagi kabi, $(u, v) = 0$ dan tashqari hamma chegaralanishlar chiziqlidir.

(2.1.19) cheklanishli (2.1.18) masala chiziqli dasturlash masalasining quyidgai ko'rinishini qabul qiladi:

$$X^- \gamma^{(1)} \le \mathrm{y}^+$$
$$X^+ \gamma^{(1)} \ge \mathrm{y}^-$$
$$a^{(j)} + u^j - v^j = \gamma^{(1)}$$

barcha $a^{(j)} \in \bar{Y}$ larda.

$$\sum_{i=1}^{m} (u_i^j + v_i^j) \le \omega^1$$
$$u^j \ge 0, \; v^j \ge 0$$
$$\omega^1 \to \min$$

barcha j larda.

(2.1.20) masalaning ham nochiziqli sharti mavjud:

$$X^- a^{(2)} \le y^+$$
$$X^+ a^{(2)} \ge y^-$$
$$a^{(2)} + u - v = \gamma^{(1)}$$
$$u \ge 0, \; v \ge 0, \; (u, v) = 0$$
$$\sum_{i=1}^{m} (u_i + v_i) \to \max$$

Bu masalalarni qolgan baholar va kvazibaholar to'plami uchun yozib olish qiyin emas. Bunda R_i va $\Lambda(R_i), i \neq 2$ to'plamlarda minimaks baholarni qidirish uchun maksimallashtiriluvchi maqsad funksiyali masalalar $(a^1, a^2) = 0$ va $(u, v) = 0$ turdagi ikkita nochiziqli cheklanishga ega bo'ladi, bu esa ularning yechilishini murakkablashtiradi.

b) Taxminiy o'rta oraliqli baholash.

ILSZ ni nuqtaviy baholash usuli o'rta oraliqli bahoni qidirishdan iborat:

$$a^c = (X_c^T X_c)^{-1} X_c^T y_c,$$

Bu yerda

$$X_c = \frac{1}{2}(X^- + X^+),$$

$$y_c = \frac{1}{2}(y^- + y^+).$$

Umumiy holda bunday baho ta'riflanuvchi S_i to'plamga uning bo'sh emasligiga qaramay, tegishli bo'lmasligi mumkin. Bunday holda a^c ga nisbatan taxminiy baholash sifatida a^c ga ma'lum bir o'lchov jihatidan eng yaqin bo'lgan $\tilde{a}^c \in S_i$ baholash olinadi, ya'ni

$$\tilde{a}^c(S_i) = \arg\min_{a \in S_i} \rho(a^c, a).$$

Agar p mazkur bo'limda qo'llanilayotgan koordinatalar bo'yicha cheklanishlar modulining yig'indisiga mos kelsa, $\tilde{a}^c$ ni qidirish LP masalasini yechish asosida amalga oshirilishi mumkin. R_2 to'plamga nisbatan bunday LP masalaning ko'rinishi quyidagicha

$$X^- a^1 - X^+ a^2 \geq y^-$$

$$X^+ a^1 - X^- a^2 \leq y^+.$$

$$\tilde{a}^c(R_2) = a^1 - a^2$$

$$a^1 - a^2 + u - v = a^c$$

$$\sum_{i=1}^{m}(u_i + v_i) \to \min.$$

Bu masala uchun muqobil $\tilde{a}^c(R_2)$ baholashda $\left|a_i^c(R_2)-\tilde{a}_i^c(R_2)\right|$ ni u_i+v_i orqali barcha $i=\overline{1,m}$ larda to'g'ri tasvirlash uchun kerak bo'ladigan $(u,v)=0$ shart bajariladi.

Ta'rifiga $(a^1,a^2)=0$ chiziqli shart kirgan to'plamlar uchun bu shart tabiiy ravishda $\tilde{a}^c(S_i)$ qidiruv masalasining yozuvida saqlanib qoladi.

S_i to'plamning taxminiy ta'rifi shuningdek eng "qutbiy" $\overline{a}(S_i)$ va $\underline{a}(S_i)$ baholarni qidirish asosida keltiriladi. Buni quyidagicha amalga oshirish mumkin.

Eng kichik modullar usuli yordamida chiziqli regressiyani quramiz, bunda mustaqil o'zgaruvchilar sifatida ularning yuqori X^+, erksiz oz'garuvchilari sifatida esa y^- chegaralarni qabul qilamiz va topilgan baholashning S_i to'plamga tegishli bo'lishini talab qilamiz. U quyidagi masalaning yechimi bo'ladi

$$\underline{a}(S_i)=\arg\min_{a\in S_i}\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(a_j^+x_{kj}^+-a_j^-x_{kj}^-)\ .$$

$\underline{a}$ ga nisbatan "qutbiy" $\overline{a}\in S_i$ baholashni toppish uchun eng kichik modullar usuli orqali $X=X^-$, $y=y^+$ o'zgaruvchilarning qiymatini o'z ichiga olgan chiziqli regressiyani quramiz. Bunday baholash quyidagi masalaning yechimi bilan ustma-ust tushadi

$$\overline{a}(S_i)=\arg\min_{a\in S_i}\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(a_j^+x_{kj}^+-a_j^-x_{kj}^-)\ .$$

Soddalikdan tashqari, bunday usul ma'lum qismdagi shartlilik asosida taxminiy ta'rifni va chegaralanmagan R_i, $i=\overline{1,5}$ to'plamlarni qurish imkonini beradi- bu bevosita (1.4.3) ta'riflardan kelib chiqadi.

Shunday qilib, ILSZ ni nuqtaviy baholashda (1.4.5) ning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi

$$y=\sum_{j=1}^{m}a_jx_j,\begin{cases}\tilde{a}(S_i) & \\ \mathrm{a}^c(S_i) & \text{, agar minimaks baholash tanlangan bo'lsa} \\ & \text{, agar o'rta oraliqli baholash va } a^c\in S_i \text{ tanlangan bo'lsa} \\ \tilde{a}^c(S_i) & \\ & \text{, agar o'rta oraliqli baholash va } a^c\notin S_i \text{ tanlangan bo'lsa} \\ a\in(\underline{a},\overline{a}) & \end{cases}$$

Agar "qutbiy" baholashlar tanlangan bo'lsa.

Endlikda ILSZ ni bashoratli masalalarni yechish uchun baholarning turli xil ta'riflarida qo'llash usullarini ko'rib chiqamiz.

Kech qolishli oraliqli rekursiv chiziqli model ko'rilayotgan bo'lsin

$$y_t^k = \sum_{j=1}^{m} a_j^k [x_{\mathrm{t\,j}}] + \sum_{p=1}^{P}\sum^{r_p^k} \beta_1^{kp} [y_{t-1}^p] \quad , \qquad (1.4.9)$$

$k = \overline{1,P}$, $\beta_0^{kp} = 0$ barcha $\rho \geq k$.

Bu yerda P-modelning o'lchami (endogen o'zgaruvchilar soni), r_ρ^k - k-tenglamada p-erkli o'zgaruvchi uchun maksimal kech qolish qadami.

a_k^j, β_1^{kp} parametrlarning qiymatlari uchun ularning $\tilde{a}(S_i), a^c(S_i), \tilde{a}^c(S_i)$ nuqtaviy yoki $(\underline{a}(S_i), \overline{a}(S_i); \underline{\beta}(S_i), \overline{\beta}(S_i))$ "qutbiy" baholari ma'lum bo'lsin, yoki S_i to'plamlar berilgan bo'lsin, bu yerda $S = R, \Lambda(R), \overline{R}, \Pi$, $i = \overline{1,5}$.

Modelning rekurrsivligi deganda bashoratli davrning ixtiyoriy t_1 vaqt moment uchun har bir k-tenglamaga nisbatan unga kiruvchi ekzogen va endogen o'zgaruvchilar (ya'ni$[x_{t_1 j}^-, x_{t_1 j}^+]$ va $[y_{t_1-1}^{p^-}, y_{t_1-1}^{p^+}]$) qiymatlarining oraliqlari ma'lum bo'lsin.

Masala barcha mavjud $[y_t^{k-}, y_t^{k+}]$, $k = \overline{1,P}$ o'zgaruvchilarning butun $[t_H, t_k]$ bashoratli davrdagi oraliqlarni aniqlashdan iboratdir. Bunda boshlang'ich ma'lumotlarning t_H ga nisbatan avvalgi vaqt momentidagi qiymatlar oralig'I $З t = \overline{t_H, t_k}$ ga nisbatan berilgan deb olinadi.

O'rganilayotgan jarayonlarni oraliqli modellar yordamida bashorat qilish masalalarini yechishda tadqiqotchi mazmunli mulohazalardan kelib chiqqan holda, ixtiyoriy vaqt momenti $t \in \{t_H, t_{H+1}, ..., t_k\}$ uchun $a_t^k \leq y_t^k \leq b_t^k$ endogen o'zgaruvchilarning qiymatlariga nisbatan mavjud chegaralarni belgilab berishi mumkin. Bunday chegaralarni qayd etib bo'lmasa, a_t^k va b_t^k qiymatlar –M va M gat eng deb olinadi, bu yerda M – katta mudbat son. Quyidagi belgilashlar kiritamiz:

$$\underline{y}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{k}}(\alpha, \beta) = \sum_{j=1}^{m} (a_j^{1k} x_{\mathrm{tj}}^- - a_j^{2k} x_{\mathrm{tj}}^+) + \sum_{p=1}^{P}\sum_{l=1}^{r_p^k} (\beta_l^{1kp} y_{t-1}^{p-} - \beta_l^{2kp} y_{t-1}^{p+}) \quad ,$$

$$\overline{y}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{k}}(\alpha, \beta) = \sum_{j=1}^{m} (a_j^{1k} x_{\mathrm{tj}}^+ - a_j^{2k} x_{\mathrm{tj}}^-) + \sum_{p=1}^{P}\sum_{l=1}^{r_p^k} (\beta_l^{1kp} y_{t-1}^{p+} - \beta_l^{2kp} y_{t-1}^{p-}) \quad .$$

Bu yerda α^1, β^1 hamda α^2, β^2- α va β vektorlarning musbat va manfiy qismlari. $\underline{y}_{t_1}^k$ va $\overline{y}_{t_1}^k$ lar k-erkli oz'garuvchining t_1 vaqt momentidagi α va β parametrlarning belgilangan vektorlari oldidagi minimal va maksimal qiymatlarini ifodalaydi.

Quyida y^k endogen o'zgaruvchining bashoratli davrdagi ixtiyoriy t_1 vaqt momentida mavjud qiymatlari chegaralarini hisoblash formulalari keltirilgan.

a) Modeldagi (α^*, β^*) parametrlarning bahosi yagonadir.

$$y_{t_1}^{k-} = \max(a_{t_1}^k, \underline{y}_{t_1}^k(\alpha^*, \beta^*)).$$

$$y_{t_1}^{k+} = \min(b_{t_1}^k, \bar{y}_{t_1}^k(\alpha^*, \beta^*)).$$

b) Parametrlarning bahosi S_i to'plamalrning biriga tegishli bo'ladi.

Bunday holda $[y_{t_1}^k]$ oraliqning chegaralarini topish uchun avvalo ikkita muqobil masalani yechish zarur, bundan so'ng ushbu ikkita cheklanish quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi:

$$y_{t_1}^{k-} = \max\{a_{t_1}^k, \min_{(\alpha,\beta)\in S_i} y_{t_1}^k(\alpha,\beta)\},$$

$$y_{t_1}^{k+} = \min\{b_{t_1}^k, \max_{(\alpha,\beta)\in S_i} y_{t_1}^{-k}(\alpha,\beta)\}.$$

c) S_i to'plamlarning taxminiy ta'rifi sifatida $(\alpha,\beta)(S_i),(\bar{\alpha},\bar{\beta})(S_i)$. "qutbiy" baholashlardan foydalaniladi

$$y_{t_1}^{k-} = \max\{a_{t_1}^k, \min\ \{y_{t_1}^k(\bar{\alpha},\bar{\beta})\}\},$$

$$y_{t_1}^{k+} = \min\{b_{t_1}^k, \min\ \{y_{t_1}^{-k}(\bar{\alpha},\bar{\beta})\}\}.$$

Shunday qilib, butun davrda har bir endogen o'zgaruvchining bashoratli qiymati sifatida soda statistic modeldagi kabi nuqtalarni emas, $[y_t^{k-}, y_t^{k+}]$, $k=\overline{1,P}$, $t=\overline{t_H, t_k}$ oraliqlarni qabul qilish zarur. Bunda k-endogen o'zgaruvchining rost y_t^k bashoratli qiymati har bir t ga nisbatan $[y_t^{k-}, y_t^{k+}]$ oraliqning ixtiyoriy nuqtasida joylashishi mumkin va umumiy holda bunday joylashuvni belgilab beruvchi biror bir tavsiyalar bo'lmaydi.

Ongli ravishda shu narsa tushunarli bo'ladiki, bunday oraliqli tahlilning sifati mos oraliqlarning kengligi qanchalik kichik bo'lsa, shunchalik yuqori bo'ladi. Shuning uchun, uning aniqlik mezoni sifatida quyidagi formula bo'yicha hisoblanuvchi $d(y^k)$ kattalikdan foydalanish maqsadga muvofiqdir:

$$d(y^k) = \sum_{t=t_H}^{t_k} (y_t^{k+} - y_t^{k-}). \qquad (1.4.10)$$

$d(y^k)$ (har bir k uchun xususiy) kattalik (1.4.9) model uchun boshlang'ich shartlarni ifodalovchi oraliqlar kengligiga, S_i baholar to'plamining o'lchamlariga bog'liqdir. (1.4.9) model bo'yicha oraliqli bashorat sifatining agregatlashgan mezonini olish uchun (1.4.10) mezonga nisbiy tavsif berish lozim. Bu $d(y^k)$, $k=\overline{1,P}$ dan $\bar{d}(y)$ ga quyidagi tarzda o'tish orqali amalga oshirilishi mumkin:

$$\bar{d}(y) = \frac{\left(\sum_{t=t_H}^{t_k} \sum_{k=1}^{P} \frac{(y_t^{k+} - y_t^{k-})}{\max(|y_t^{k+}|, |y_t^{k-}|)} \right)}{(t_k - t_H + 1 + P)}.$$

Shuni ko'rish mumkinki, $d(y^k) \in [0,1]$, bunda oraliqli bashoratning aniqligi $d(y^k)$ kattalik qanchalik kichik bo'lsa, shunchalik yuqoridir.

$[y_t^{k-}, y_t^{k+}]$, $k=\overline{1,P}$, $t=\overline{t_H, t_k}$ oraliqlar asosida nuqtaviy bashoratlarni olish uchun bashoratli qiymatlar sifatida mos oraliqlarning o'rtasini olish mumkin:

$$\hat{y}_t^k = \frac{1}{2}(y_t^{k+} + y_t^{k-})$$

barcha k va t uchun.

Lekin bu bashoratni uning "chin" qiymatidan olib ketishi mumkin, bunda oraliqlarning kengligi katta ahamiyatga ega. Bu bilan birga, $\hat{y}$ bashoratli qiymatni noto'g'ri tanlashdagi xatolikni minimallashtiruvchi minimaks bashoratni ifodalaydi.

Bashoratning "mazmuni" bilan bir qatorda, real modellashtiriluvchi jarayonlar approksimatsiyasining sifat analogiga ega bo'lish kerak, chunki oraliqli bashoratlarning kengligi kichik bo'lsa ham, ularning sifati muvaffaqiyatsiz approksimatsiya holida past bo'ladi.

ILSZ parametrlarining baholar to'plami sifatida R_i (yoki $\bar{R}_i$) to'plamlardan biri qo'llanilsa va u bo'sh bo'lmasa, oraliqli bog'lanishni aniq deb olish kerak, chunki uning parametrlari bahosi ichida shundaylari borki, ularga nisbatan (1.3.1) tenglama funskional bo'ladi. Bu nuqtaviy baholarga ham taalluqlidir.

Agarda ILSZ parametrlarining bahosi sifatida ma'lum bir kvazibaho qabul qilingan bo'lsa, u holda approksimatsiya aniqligini hisoblash uchun (nuqtaviy regressiyalar uchun λ mezon singari- 1.3-p ga qarang) quyidagi usuldan foydalanish mumkin.

(1.4.2) ga muvofiq R_i to'plamning $\tilde{a}(R_i)$ kvazibaho (2.1.11) va (2.1.12) ga o'xshash masaladan topilgan bo'lsin ((2.1.10) formadagi u_1, v_i o'zgaruvchilar bilan):

$$X^{-}a^{1} - X^{+}a^{2} - u_{1} \le y^{+},$$

$$X^{-}a^{1} - X^{+}a^{2} - \mathrm{v}_{1} \ge y^{-},$$

$$a^{1} \ge 0,\ a^{2} \ge 0,\ u_{1} \ge 0,\ \mathrm{v}_{1} \ge 0,$$

$$(a^{1}, a^{2}) = 0,$$

$$\sum_{l=1}^{n} (u_{1}^{l} + \mathrm{v}_{1}^{1}) \to \min .$$

(a^{*}, u^{*}, v^{*})- ushbu masalaning yechimi bo'lsin. U holda oraliqli chiziqli statistic bog'lanishning R_1 to'plamga nisbatan $\bar{\lambda}(R_1)$ approksimatsiya aniqligi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\bar{\lambda}(R_{1}) = \frac{1}{n}\sum_{l=1}^{n}\left(\frac{u_{1}^{*l}}{y_{l}^{+}} + \frac{\mathrm{v}_{1}^{*1}}{\mathrm{y}_{1}^{-}}\right)100\% .$$

Huddi shunday tarzda boshqa kvazibaholarga nisbatan approksimatsiya aniqligi hisoblanadi:

$$\bar{\lambda}(R_{2}) = \frac{1}{n}\sum_{l=1}^{n}\left(\frac{u_{2}^{*l}}{y_{l}^{-}} + \frac{\mathrm{v}_{2}^{*1}}{\mathrm{y}_{1}^{+}}\right)100\% ,$$

$$\bar{\lambda}(R_{3}) = \frac{1}{n}\sum_{l=1}^{n}\left(\frac{u_{3}^{*l}}{y_{l}^{-}} + \frac{\mathrm{v}_{3}^{*1}}{\mathrm{y}_{1}^{+}}\right)100\% ,$$

$$\bar{\lambda}(R_{4}) = \frac{1}{n}\sum_{l=1}^{n}\left(\frac{u_{41}^{*l} + u_{42}^{*l}}{y_{l}^{-}} + \frac{\mathrm{v}_{41}^{*1} + \mathrm{v}_{42}^{*1}}{\mathrm{y}_{1}^{+}}\right)100\% .$$

II-bob. MASALALARNI YECHISH USULLARI

2.1. Ikki noma'lumli chiziqli algebraik tenglamalarning oraliqli sistemasini yechish

1.3.p da ISLAU (1.3.18) uchun uning yechimlar to'plami R_i, $i=\overline{1,4}$ (1.3.19) keltirilgan. Bunda R_1, R_3, R_4 ni Ron tarifiga muvofiq ravishda (1.3.22) unifisirlashgan tasvir masalasi keltirilgan. Mazkur bobda bayon etilgan natijalar [56-58] ishlarda chop etilgan.

Bayon etilgan masalani yechishdan oldin, ma'lum bir belgilashlar kiritamiz.

$\Lambda(R^m)$ bilan λ: $R^m \to R^m$ operatorlar to'plamini belgilaymiz, bunda $0 \le \lambda \le I$, I – ayniyatli operator. $\Lambda(R^m)$ deb multiplikatorlar to'plamiga aytiladi.

$M_{n,m}$ orqali n • m o'lchovli matrisalar to'plamini, $I(M_{n,m})$ – bilan esa (1.3.18) dagi oraliqli matrisalar to'plamini belgilaymiz.

Ixtiyoriy $z \in R^m$ uchun z^+ va $z^{\sim}$ orqali uning musbat va manfiy qismlarini, ya'ni barcha $i = \overline{1,m}$ larni belgilaymiz

$$z_i^+ = \begin{cases} z_i, \ z_i > 0 \ \text{da} \\ 0, \ \text{aks holda} \end{cases} \qquad z_i^- = \begin{cases} -z_i, \ z_i < 0 \ \text{da} \\ 0, \ \text{aks holda} \end{cases}$$

Shunday qilib, $z = z^+ - z^-$, $z^+ \ge 0$, $z^- \ge 0$, $(z^+, z^-) = 0$, bu yerda (.,.) – skalyar ko'paytma, va $|z| = z^+ + z^-$ bu yerda $|z|$ - z vektorning moduli.

Kelgusida bizga quyidagilar kerak bo'ladi

I-tasdiq. [7]. Ixtiyoriy $z \le u$, $v \le r$ bo'lgan $z, u, v, r \in R^m$ lar uchun

$[z,u] + [v,r] = [z + v, u + r]$ tenglik o'rinli.

R^m haqiqiy fazo pasayish xususiyatiga ega bo'lib, uni quyidagi lemma xarakterlaydi

1-lemma. Ixityoriy $0 \le u \le v$ bo'lgan $u, v \in R^m$ lar uchun shunday $P \in \Lambda(R^m)$ operator mavjudki, bunda Pu = v.

Isbotlash uchun P sifatida diag(p_i), $i = \overline{1,m}$ matrisani olish yetarli, bunda

$$P_i = \frac{U_i}{U_i} \in [0,1] \ \ agar \ \ U_i \ne 0 \ \ va \ \ P_i = 0 \ agar \ U_i = 0.$$

R^m dizyunktivlik xossasini quyidagi lemma xarakterlaydi:

2-lemma. Ixtiyoriy $u \geq 0$, $v \geq 0$ va $(u, v) = 0$ bo'lgan $u, v \in R^m$ lar uchun shunday $P \in \Lambda(R^m)$ operator mavjudki, bunda $Pu = u$, $Pv = 0$.

Isbotlash uchun P sifatida diag(p_i), $i = \overline{1,m}$ diagonal matrisani olish yetarli, bunda

$$P_i = \begin{cases} 0, \text{ bunda } u_i = 0 \; u_i > 0 \\ 1, \text{ bunda } u_i > 0, u_i = 0 \\ 0, \text{ bunda } u = v = 0 \end{cases}$$

R^m ning siqiluvchanlik xossasi quyidagi lemmani bayon etishga imkon beradi.

3-lemma. Ixtiyoriy $A, B \in M_{n,m}$, $A \leq B$, va ixtiyoriy $u \geq 0$ shartni qanoatlantiruvchi $u \in R^m$ vector uchun $[A, B]\, u = [Au, Bu]$ tenglik o'rinli.

Isbot.

$C \in [A, B]$ deb olamiz. $u \geq 0$ $A \leq C \leq B$ bo'lgani uchun: $Au \leq Cu \leq Bu$, ya'ni $(Cu \mid C \in [A, B]) \subseteq [Au, Bu]$. Teskari kiritishni ko'rsatamiz. $z \in [Au, Bu]$ deb olamiz. U holda $0 \leq z - Au \leq Bu - Au$. I lemmaga ko'ra, $P(Bu - Au) = z - Au$ bo'lgan $P \in \Lambda(R^m)$ operatorni tanlaymiz. U holda C ni $A + P(B - A)$ gat eng deb olib, $C \in [A, B]$ va $Cu = z$, ya'ni l$Au, Bu]$ $\subseteq (Cu \mid C \in [A, B])$ ga ega bo'lamiz. Lemma isbotlandi.

R^m ning dizyunktivlik xossasi quyidagi lemmani bayon etishga imkon beradi.

4-lemma. Ixtiyoriy $A, B \in M_{n,m}$, $A \leq B$ va ixtiyoriy $u \in R^m$ uchun $[A, B]\, u = [A, B]\, u^+ - [A, B]\, u^-$ tenglik o'rinli.

Isbot.

u^+ va u^- - musbat va manfiy qismlar ekanligidan, $u = u^+ - u^-$, $u^+ \geq 0$, $u^- \geq 0$, $(u^+, u^-) = 0$ ligi kelib chiqadi. Shuning uchun $[A, B]\, u \subseteq [A, B]\, u^+ - [A, B]\, u^-$ kiritishlar yaqqoldir.

Teskari kiritishni ko'rsatamiz. $z \in [A, B]\, u^+ - [A,B]\, u^-$ bo'lsin. U holda shunday $C_1, C_2 \in [A,B]$ lar mavjudki, bunda $z = C_1 u^+ - C_2 u^-$. $u^+ \geq 0$, $u^- \geq 0$, va $(u^+, u^-) = 0$ ning hisobiga va 2 lemmaga binoan $Pu^+ = u$, $Pu^- = 0$ bo'lgan $P \in \Lambda(R^m)$ operator topiladi. $C = C_1 P + C_2(I - P)$ deb olamiz. U holda ixtiyoriy $z \in R^m$, $z \geq 0$ ga nisbatan $Pz > O$, $(I - P\}z > 0$ ga ega bo'lamiz, shuning uchun $Cz = C_1 Pz + C_2(I - P)z \leq BPz + B(I - P)z = Bz$, va $C z = C_1 P z + C_2(1 - P) z \geq A P z + A (I - P) z = A z$, ya'ni $C \in [A, B]$. Kelgusida, $Cu = C(u^+ - u^-) = C_1 P(u^+ - u^-) + C_2(I-P)(u^+ - u^-) =$

$C_1(Pu^+-Pu^-)$ + $C_2(u^+-u^{-}Pu^++Pu^-)$ = C_1u^+- C_2u^-=z, ya'ni $z\in$ [A, B]u. Bundan, $[A,B]u^+$ - $[A,B]\ u^+$- (A, B). Lemma isbotlandi.

Shunday qilib 3 va 4 lemmalar $I(M_{n,m})$ dan olingan oraliqli matrisaning qiymatlarini R^m dagi vektorda "hisoblash" imkonini beradi. Quyidagi teorema buning aniqroq ta'rifini beradi.

1-teorema. Ixtiyoriy A, B $\in M_{nm}$, $A \le B$ va $z\in R^m$ uchun [A, B]z= = $[A_z^+.-Bz^-, Bz^+-Az^-]$ tenglik o'rinli.

Isbot.

4 lemmaga ko'ra $[A,B]z = [A,B]z^+-[A,B]z^-$. U holda I lemmaga muvofiq–(A, B) z^- = [-B, -A] z^- tenglikni hisobga olgan holda [A, B] z^+ = [A z^+, B z^+], -[A, B] z^- = $[-Bz^-,-Az^-]$ ga ega bo'lamiz. U holda oraliqlar yig'indisi to'g'risidagi teorema (I tasdiq) ga muvofiq [A.B]z = $=[Az^+,Bz^+]+[-Bz^-,-Az^-]$ = $[Az^+-B_z^-{}' Bz^+-Az^-]$ ga ega bo'lamiz. Teorema isbotlandi.

R_1 to'plamning ta'rifiga ega bo'lish uchun, bizga ikkita oraliqlar kesishmasining bo'sh bo'lmaslik sharti kerak bo'ladi.

5-lemma. a, b, c, d $\in R^m$, a $\le$b, c$\le$d bo'lsin.

U holda $[a,b] \cap [c,d] \ne \varnothing \leftrightarrow a\le d\ \&\ c\le b$.

Isbot.

$[a,b] \cap [c,d] \ne \varnothing$ va $z \in [a,b] \cap [c,d]$ bo'lsin. U holda $a \le z \le d$, ya'ni $a \le d$ va $c \le z < b$, demak, $c \le b$. Aksincha. $a\le d\ \&\ c \le b$ bo'lsin.

$$u = (\max (a_1, c_1)\dots \max (a_m, c_m))^T,$$
$$v = (\min (b_1, d_1)\dots \min (b_m, d_m))^T,$$

deb belgilaymiz.

$a \le b$ va $a \le d$ bo'lgani uchun $a \le v$, $c\le b$ va $c \le d$ bo'lgani uchun $c \le v$. Demak, $u \le v$ va ixtiyoriy $z \in [u,v]$ uchun $z \ge u\le a$, , $z \le v\le b$ ga ega bo'lamiz, ya'ni $z \in [a,b]$, va $z \ge u\ge c$, $z \le v\le d$, ya'ni

$z \in [c,d]$. Demak, $z \in [a,b]. \cap[c,d]$.

Lemma isbotlandi.

Endilikda ISLAU R_1 yechimlar to'plamini bevosita ta'riflashga o'tamiz.

2-teorema. Ixtiyoriy $A,B\in M_{n,m}$, $A\le B$ lar va ixtiyoriy $a,b \in R^n$, $a \le b$ lar uchun R_1 to'plam quyidagi ko'rinishda ifodalanadi

$$R_1 = (z_1 - z_2 \mid z_1,z_2 \in R_+^m, (z_I,z_2) =0, Az_1 - Bz_2 \le b, Bz_1 - Az_2 \ge a) \quad (2.1.1)$$

Isbot.

$\tilde{R}$= $(z_1$-z_2 | $z_1.z_2 \in R_+^m$,(z_1,z_2)=0, Az_1-$Bz_2$$\le$b, Bz_1-$Az_2$$\ge$a) deb belgilash kiritamiz. $R_1\subseteq \tilde{R}$ ekanligini ko'rsatamiz. $z \in R_1$ deb olamiz. U holda shunday $C \in [A,B]$ topiladiki, $Cz \in [a,b]$. $z_1=z^+$, $z_2=z^-$ deb olamiz. U holda $z_1 \ge 0$, $z_2 \ge 0$, $z = z_1- z_2$, $(z_1,z_2) = 0$. Endilikda, Az_1 - $Bz_2 \le Cz_1$ -

$Cz_2 = C(z_1 - z_2) = Cz \le b$, va $Bz_1 - Az_2 \ge Cz_1 - Cz_2 = C(z_1 - z2) = Cz \ge a$. Demak, $z \in \tilde{R}$.

Endilikda teskari kiritishni ko'rsatamiz $\tilde{R} \le R_1$ $z \in \tilde{R}$ deb olamiz.

$z = z_1 - z_2$, $z_1 \ge 0$, $z_2 \ge 0$, $(z_1, z_2) = 0$ bo'lgani uchun, $z^+ = z_1$, $z^- = z_2$, va 1 teoremaga ko'ra $[A,B]z = (Az^+ - Bz^- \; Bz^+ - Az^-] = [Az_1 - Bz_2, Bz_1 - Az_2]$ ga ega bo'lamiz. U holda $Az_1 - Bz_2 \le b$, $Bz_1 - Az_2 \ge a$ tengsizlik va 5 lemmaga muvofiq $([A,B]z) \cap [a,b] \ne \varnothing$ ga ega bo'lamiz, ya'ni shunday $C \in [A,B]$ и $v \in [a,b]$ lar mavjudki, bunda $Cz = v$. Demak, $z \in R_1$. Teorema isbotlandi.

R_1 ning mazkur ta'rifi Oettli va Prager tomonidan berilgan ta'rifga ekvivalent ekanligini ko'rish qiyin emas. Haqiqatdan ham (1.3.21) ga muvofiq quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$R_1 = (z \in R^m \mid \tfrac{1}{2}(A+B)z - \tfrac{1}{2}(a+b) \mid \le \tfrac{1}{2}(B-A)\,|z| + \tfrac{1}{2}$$

U holda $z_1 \ge 0$, $z_2 \ge 0$, $(z_1, z_2) = 0$ shartlarni hisobga olgan holda, $|z|$ ni $z_1 + z_2$ ga, z ni esa $z_1 - z_2$ ga almashtirib, Oettli va Pragerning ta'rifidagi tengsizlikning chap qismida turgan ifodaning modulini ochib, ikkita tengsizlikka ega bo'lamiz

$$\tfrac{1}{2}(A+B)(z_1 - z_2) - \tfrac{1}{2}(a+b) \le \tfrac{1}{2}(B-A)(z_1 + z_2) + \tfrac{1}{2}(b-a)$$

$$-\tfrac{1}{2}(A+B)(z_1 - z_2) + \tfrac{1}{2}(a+b) \le \tfrac{1}{2}(B-A)(z_1 + z_2) + \tfrac{1}{2}(b-a)$$

ular $z_1 \ge 0$, $z_2 \ge 0$, $(z_1, z_2) = 0$ shartlarda o'rinli bo'lib, ulardan murakkab bo'lmagan almashtirishlardan so'ng 2 teoremada berilgan ta'rif kelib chiqadi.

2-teorema (1.3.23) formulalar berilgan ISLAU ning R_3 va R_4 yechimlar to'plami (1.3.18) ning ta'rifini olishga imkon beradi.

1-natija. Ixtiyoriy $A, B \in M_{n,m}$, $A \le B$ lar va har qanday $a., b \in R^n$, $a \le b$ lar uchun R_3 va R_4 to'plamlar quyidagicha ifodalanadi

$$R_3 = (z_1 - z_2 \mid z_1, z_2 \in R_+^m, (z_I, z_2) = 0, Az_1 - Bz_2 \le a, \; Bz_1 - Az_2 \ge b) \tag{2.1.2}$$

$$R_4 = (z_1 - z_2 \mid z_1, z_2 \in R_+^m, (z_I, z_2) = 0, Az_1 - Bz_2 = a, \; Bz_1 - Az_2 = b)$$

R_3 va R_4 lar (2.1.2) ga ekvivalent formada ifodalanishi mumkin

$$R_3 = (z \in R^m \mid \; |A_c z - b_c \;| \le \; \triangle \; |z| - \delta),$$

$$R_4 = (z \in R^m \mid \; \triangle \; |z| - \delta, \le A_c z = b_c).$$

Bunda, eslatib o'tamiz,

$$A \; = -\tfrac{1}{2}(A+B), \quad B_c = -\tfrac{1}{2}(a+b), \quad \triangle = A_c - A =$$

$$\delta = b_c - a = b - b_c.$$

R_i, $i=\overline{1,4}$ ta'rifning tahlili R_2 chiziqli tengsizliklarn sistemasining moslik sohasini ifodalaydi (Ronning R_2 uchun kiritgan (1.3.22) ta'rifga qarang). Qolgan R1, R_3, R_4 to'plamlar chiziqli tengsizliklar sistemalari va $(z_1,z_2)=0$ nochiziqli shart bilan ta'riflanadi, u ushbu to'plamlar bilan ishlashni juda qiyinlashtiradi. Undan masalaning o'lchamini $\sigma_i, i\equiv\overline{1,m}$ bull o'zgaruvchilarini quyidagi qoida asosida kiritish orqali kengaytirish asosida qutilish mumkin:

$$0 \le z_{1i} \le \sigma_i M,$$
$$0 \le z_{2i} \le (1-\sigma_i)M, \qquad (2.1.3)$$
$$\sigma_i = 0{,}1, \quad i=\overline{1,m}.$$

Bu yerda M – oldindan tanlangan katta musbat son.

Bunday o'zgaruvchilarni kiritgandan so'ng, hafr xil muqobillashtiruvxhi masalalarning R_1, R_3, R_4, yechimlarinixususiy-butun sonli chiziqli dasturlash masalalarini yechish dasturiy vositalaridan foydalanish mumkin.

Teskarisini, aniqrog'I bull dasturlashning ixtiyoriy masalasini o'zgaruvchilarni almashtirish orqali $z_1 \ge 0, z_2 \ge 0, (z_1,z_2)=0$ turdagi shartli masalaga olib kelish mumkinligini ko'rsatish ham qiyin emas. Haqiqatdan, bull dasturlashning masalasini ko'rib chiqaylik

$$A\ \sigma \le b,$$
$$\boldsymbol{\sigma_i = 0{,}1, i = \overline{1,m}},$$
$$(c,\delta) \to \max.$$

U holda quyidagi qoida asosida $z_{1i}, z_{2i}, i=\overline{1,m}$ haqiqiy o'zgaruvchilarni kiritib,

$$\sigma = z_1 + z_2,$$
$$0 \le z_1 \le 1, \ldots. 0 \le z_2 \le 1,$$
$$(z_{1,}z_2) = 0,$$

Ekvivalent qo'yilmaga ega bo'lamiz

$$A(z_1+z_2) \le b$$
$$0 \le z_1 \le 1, \ldots\ldots 0 \le z_2 \le 1$$
$$(z_1, z_2) = 0$$
$$(c, z_1+z_2) \to \max.$$

Endilikda oldinlari oshkor ko'rinishda ko'rilmagan va muhim amaliy mohiyatga ega bo'lgan yana bir ISLAU yechimlarining to'plamlarini berish, ya'ni R_1, R_2, R_3, R_4larni umumlashtiruvchi usulni ko'rib chiqamiz.

Qo'shimcha belgilashlar kiritamiz. A_j bilan matrisaning birinchi satrini belgilaymiz. (K_1, K_2, K_3, K_4)- bilan esa (1,2……, n) indeksli to'plamning ajralishlarini, ya'ni ixtiyoriy $i \neq l$ larda $\bigcup_{i=1}^{4} K_i = (1,2,\ldots\ldots,n),$ $K_i \cap K_1 = \varnothing$ larni belgilaymiz. U holda (I.3.I9) ni hisobga olgan holda ISLAU yechimlar to'plami quyidagi tarzda aniqlanishi mumkin:

$$R_5 = \{z \in R^m \mid ([A_j, B_j]z) \cap [a_j . b_j] \neq \varnothing \ , \quad j \in K_1, [A_i, B_j]z \subseteq [a_i, b_i], i \in K_2$$
$$[A_k, B_k]z \supseteq [a_k, b_k], k \in K_3, [A_s, B_s]z = [a, b], s \in K \tag{2.1.4}$$

R_5 ning ta'rifi quyidagi natijaning ichida bo'ladi.

2-natija. Ixtiyoriy A, B $\in M_{m,n}, \mathrm{A} \leq \mathrm{B}$ lar va ixtiyoriy $a, b \in R^n, a \leq b$ lar uchun R to'plam quyidagi ko'rinishda ifodalanadi.

$$R_5 = \{z_1, z_1 \mid z_1 z_2 \in R_+^m, \ (z_1, z_2) = 0, \ A_j z_1 - B_j z_2 \leq b_j, \quad B_j z_1 - A_j z_2 \geq a_j$$
$$j \in K_1 \qquad A_i z_1 - B_i z_2 \leq b_i, \ \ B_i z_1 - A_i z_2 \geq a_i \ \ i \in K_2 \ \ A_k z_1 - B_k z_2 \leq a_k \tag{2.1.5}$$
$$B_k z_1 - A_k z_2 \geq b_k \quad k \in K_3, \ \ A_s z_1 - B_s z_2 = a_s, \ \ B_s z_1 - A_s z_2 = b_s \ \ s \in K_4$$

Albatta, umumiylik va ISLAU matrisasining barcha elementlarida mavjudlilik kvantorlarini kombinatsiyalagan holda yechimlarining o'zaro farqli 2^{mn} to'plamlarini aniqlash mumkin. Lekin bunda kombinatsiyalash har bir holda o'ziga xos mazmunga ega bo'lishi kerak. Mazkur bobda modellashtirish bilan bog'liq muammo ko'rib chiqilib, u ISLAU yechimlar to'plamining talqinini keltirib chiqaradi(2.1.4).

Aniq amaliy masalalarda paydo bo'luvchi chiziqli algebraic tenglamalar sistemasini yechishda $R_i, i = \overline{1{,}5}$ dan qaysi ISLAU yechimlar to'plamini tanlash kerak ekanligi tushunarli bo'lmaydi. Bunday tanlovni amalga oshirishga imkon beruvchi ayrim rasmiy tavsiyalar foydalidir.

(1.3.20) ga ko'ra $R_i \subseteq R_1, \ i = \overline{2{,}5}$ ya'ni ISLAU yechimlarining birlashgan to'plami qolgan barcha to'plamlarni o'z ichiga oladi. Bu degani, mazkur yechimlarning R_1 ma'nosidagi talqini "yumshoqroq", (2.1.1) cheklanishlar esa-[23] ga muvofiq "liberal" dir. Shuning uchun R_1 ni oraliqli qo'yilishlarni tahlil qilishda ISLAU ning yechimlari sifatida foydalanuvchi o'z masalasining "biror bir" yechimlarini olmoqchi bo'lganida tanlashi kerak, yoki Cz = c bo'ladigan $C \in [\mathrm{A}, \mathrm{B}] \in I(M_{m,n})$matrisa va$c \in [a, b]$ vector tanlanadi.

Endilikda Ri, $i=\overline{2,4}$ lar ichida tanlovni asoslab beruvchi vaziyatlarni aniqlaymiz. Mazkur asoslanishga quyidagi empiric mulohaza zamin bo’lib xizmat qilishi mumkin: kengroq vector ingichkaroq vektorni o’z ichiga olishi kerak. Uni quyidgai ravishda amalga oshirish mumkin. ISLAU ning mos ravishda $æ_a \; va \; æ_b$ chap va o’ng qismlariga kirgan oraliqlarning umumiy kengligi tushunchasini kiritamiz

$$æ_b = \sum_{k=1}^{n}(b_k - a_k),$$

$$æ_a = \max\sum_{k=1}^{n} C_k^1 z^* - \min\sum_{k=1}^{n} C_k^2 z^*$$

$$C^1 \in [A,B] \qquad C^2 \in [A,B]$$

Bunda z* qo’zg’almasdir. Bu yerda z* $\in R^m$ matrisaning [A,B] vektoridan hosil qilingan normallashtiruvchi ustunlar vazifasini o’taydi. Z* sifatida quyidagi tanlovlardan biri uchun olingan MNK-baholashni ajratish mumkin

X = A, y = a; X = B, y =b; X = 1/2 (A + B), y =1/2 (a + b).

Bunda (1.3.3) ga ko’ra $z^*(X^T X)^{-1} X^T, y$. Bunda m < п shart bajarilishi kerak. $æ_a$ quyidagi ko’rinishda ifodalanishi mumkin

$$æ_a = \sum_{k=1}^{n}(B_k z_1^* - A_k z_2^*) - \sum_{k=1}^{n}(A_k z_1^* - B_k z_2^*) = \sum_{k=1}^{n}(A_k - B_k)(z_1^* + z_2^*),$$

bu yerda avvalo z_1^* va z_2^* - z* vektorning mos ravishda musbta va manfiy qismlari, A_k yozuv deganda esa A matrisaning k-satri tushuniladi.

U holda $æ_a \; va \; æ_b$ kattaliklar $æ_a > æ_b$ da hisoblangandan so’ng, ISLAU ning yechimlar to’plami sifatida $æ_b > æ_a - R_2$ da R_3 ni tanlash kerak. $æ_a \; va \; æ_b$ lar yaqin bo’lib qolsa (oldindan berilgan yaqinlik me’yori ma’nosida), R_4 ni tanlash kerak. Agar (1,2,...,n) indeksli to’plam oshkor ko’rinishda $æ_{ai} \; va \; æ_{bi}$, $i=\overline{1,n}$ ga nisbtan K_2, K_3, K_4 larga ajratilsa, u holda R_5 ni tanlash kerak. Albatta taklif etilgan tanlov usuli universal emas, chunki $æ_a$ z* hisoblash naqadar muvaffaqiyatli ekanligiga (umumiy holda z* R_i $i=\overline{2,4}$ to’plamlarning birontasiga ham tegishli bo’lmaydi) bog’liq bo’ladi va bundan tashqari bunday tanlovning asosida oraliqli qo’yilishda yechiladigan masalaning mazmunidan kelib chiquvchi boshqa mulohazalar yotishi mumkin. Lekin $æ_a \; va \; æ_b$ kattaliklardan foydalanish R_i, $i=\overline{2,4}$ majmuadan yechimlar to’plamini tanlashga oid biror bir afzalliklar bo’lmaganida foydalidir.

Bundan tashqari, $i=\overline{2,4}$ lar masaladagi joriy qiymatlarning “oraliqlik” o’lchovi bo’lib xizmat qilishi mumkin.

Oraliq qo’yilishdagi amaliy masalalarni yechishda R_j; $i=\overline{1,5}$ to’plamlarning biri bo’sh bo’lib qoladigan vaziyat vujudga keladi. Bu esa oraliqli ko’rinishda berilgan axborotni qayta ishlash masalasi hech qanday yechimga ega emas degani emas. Bir qator hollarda(ularning ayrimlari keying bo’limda ta’riflanadi) tanlangan Ri to’plamning bo’sh ekanligini aniqlashda ISLAU (1.3.18) ni yechish masalasini A.N.Tixonovga ko’ra ([68,90,91] ga qarang) nokorrekt deb qabul qilish kerak. Bunday masalaning ta’rifini eslatib o’tamiz.

Quyidagi operatorli tenglama berilgan bo’lsin:

$$T\,u = v,\ \ u \in U,\ \ v \in V, \qquad (2.1.6)$$

bu yerda U, V – ma’lum bir metrik fazolar. Bu tenglamani qanoatlantiruvchi yechimni qidirish masalasi

a) (2.1.6) tenglama ixtiyoriy $u \in U$ ga nisbatan yagona usulda yechilish; b) (2.1.6) tenglamaning yechimi uning o’ng qismdagi xatolikka nisbatan barqaror bo’lish, ya’ni butun V da aniqlangan T^{-1} operator uzluksiz bo’lishi shartlaridan birontasi bajarilsa noto’g’ri yoki noto’g’ri qo’yilgan deyiladi.

Shunday qilib, ta’riflanuvchi R_i ga nisbatan $R_j = \varnothing$ o’rinli bo’ladi, A.N.Tixonovga ko’ra ISLAU ni yechish masalasi noto’g’ri deb olinishi mumkin. Noto’g’ri masalalarni yechish deganda quyidagi xossaga ega bo’lgan $\tilde{u} \in \tilde{U}$ elementni tushunish lozim

$$\rho(T\tilde{u}, v) = \inf p(T\,u, v), \quad u \in \tilde{U} \qquad (2.1.7)$$

bu yerda $U \supset \tilde{U}$- (2.1.6) tenglamaning yechimlari qidiriladigan kompakt, ρ – berilgan o’lchov.

(2.1.7) masalning yechimidan topilgan $\tilde{u}$ element (2.1.6) noto’g’ri berilgan masalaning kvaziyechimi [90] deyiladi. Yoki boshqa so’z bilan aytganda, (2.1.6) noto’g’ri masalaning kvaziyechimi deb, shunday $\tilde{u} \in \tilde{U}$ elementga aytiladiki, unga nisbatan (2.1.6) dagi tenglikning xatoligi minimal bo’ladi.

Endi (2.1.6), (2.1.7) ga binoan R_i, $i=\overline{1,4}$ to’plamlar uchun ISLAU kvaziyechimlarini aniqlash bilan shug’ullanamiz.

Avvalo (1.3.18) ISLAU yechimlar to’plamlarini qurish masalasi yuqorida keltirilgan ta’rifga binoan qanday holda noto’g’ri ekanligini aniqlab olamiz. Buning uchun 2 teorema, I natija va Ronning R_2 uchun keltirgan ta’rifi (1.3.22) dan foydalanamiz:

$$R_1 = \varnothing \Leftrightarrow \forall z_1, z_2 \in R_+^m \ (z_1, z_2) = 0 \ (\neg(Az_1 - Bz_2 \le b)) \vee (\neg(Bz_1 - Az_2 \ge a)),$$
$$R_2 = \varnothing \Leftrightarrow \forall z_1, z_2 \in R_+^m \ (\neg(Az_1 - Bz_2 \ge a)) \vee (\neg(Bz_1 - Az_2 \le b)), \qquad (2.1.8)$$
$$R_3 = \varnothing \Leftrightarrow \forall z_1, z_2 \in R_+^m \ (z_1, z_2) = 0 \ (\neg(Az_1 - Bz_2 \le a)) \vee (\neg(Bz_1 - Az_2 \ge b)),$$
$$R_4 = \varnothing \Leftrightarrow \forall z_1, z_2 \in R_+^m \ (z_1, z_2) = 0 \ (\neg(Az_1 - Bz_2 \ne a)) \vee (\neg(Bz_1 - Az_2 \ne b)).$$

R_5 ning bo'shlik sharti shunga o'xshash tarzda (2.1.5) ga asoslanib beriladi.

[99] da R_1 va R_2 to'plamlarning ustma-ust tushishini aniqlash masalalari $R_1 \ne \varnothing$ yoki $R_2 \ne \varnothing$ lardan birining nomanfiyligi asosida ayrim funksionallarni maksimallashtirish asosida yechiladi, ular manfiy bo'lib qolsa funskionalarning qiymatlari R_1 va R_2 tomonidan berilgan cheklanishlarning buzilish darajasiga ishora qiladi. Bunday holda [99] da (1.3.18) ning o'ng tomonini aniqlovchi oraliqli vektorning chegaralarini kengaytirish usullari keltirilgan.

ISLAU ning yechimini aniqlashning R_i, $i = \overline{1,4}$ to'plamlar ma'nosidagi noto'g'rilik sharti (2.1.8) dagiga nisbatan biroz boshqacharoq aniqlangan.

φ_i , $R_+^m * R_+^m \to R^1$, $i = \overline{1,4}$ funksiyani quyidagi tarzda aniqlaymiz.

$$\phi_1(z_1, z_2) = \max(\max_i(A_i z_1 - B_i z_2 - b_1),\ \max_j(a_j - B_j z_1 + A_j z_2)),$$

$$\phi_2(z_1, z_2) = \max(\max_i(a_i - A_i z_1 + B_i z_2),\ \max_j(B_j z_1 - A_j z_2 - b_j)),$$

$$\phi_3(z_1, z_2) = \max(\max_i(A_i z_1 - B_i z_2 - a_i),\ \max_j(b_j - B_j z_1 + A_j z_2)),$$

$$\phi_4(z_1, z_2) = \max(\rho(Az_1 - Bz_2, a),\ \rho(Bz_1 - Az_2, b)).$$

Bunda φ_i, i = 1,3,4 funskiyalar faqat shunday $z_1, z_2 \in R_+^m$ lar uchun aniqlanganki, ular uchun $(z_J, z_2) = 0$. φ_i funskyalarni hisobga olgan holda R_i ning bo'sh bo'lish sharti quyidagi ko'rinishni qabul qiladi

$$R_i = \varnothing \Leftrightarrow \forall (z_1, z_2) \in 0(\varphi_i) \quad \varphi_i > 0,\ i = 1,4\,.$$

Bu yerda $0(\varphi_i)$ bilan φ_i ning aniqlanish sohasi belgilangan.

U holda ISLAU ning $\tilde{z}(R_i) = \tilde{z}^1(R_i) - \tilde{z}^2(R_i)$ kvaziyechimi deb, shunday vektorni olish kerakki, unga nisbatan

$$\tilde{z}(R_i) = \arg\min_{z_1, z_2} \varphi_i(z_1, z_2) \qquad (2.1.9)$$

Bunda, agar $\varphi_i\ (\tilde{z}_1, \tilde{z}_2) \le 0$ bo'lsa, u hola kvaziyechim bo'lib ISLAU yechimlar to'plamining elementi xizmat qiladi, yoki umumiyroq qilib aytganda

$$R_i = (z_1 - z_2 \ \mathrm{I}\ (z_1, z_2) \in 0(\varphi_i) \quad \varphi_i(z_1, z_2) < 0,)\ i = \overline{1,4}\,.$$

(2.1.9) ga ko'ra ISLAU ning kvaziyechimi mos yechimlar to'plamini belgilovchi chiziqli cheklanishlarning maksimal buzilishini minimallashtirish imkonini beradi.

ISLAU masalasini yechish to'plamini φ_i, $i=\overline{1,4}$ funskiya orqali ifodalash juda ham chiroyli bo'lsada, u kvaziyechimlarni tanlangan o'lchovda qidirish imkonini bermaydi, chunki , φ_i lar manfiy bo'lishi mumkin. Bunday imkoniyatga ega bo'lish uchun $(z_1,z_2)=0$ munosabat o'rinli bo'lgan z_1, z_2 larga nisbatangina i =1, 3, 4 larda aniqlangan $\psi_1^v : R_+^m \cdot R_+^m \to R^1$ da:

$$\psi_i^v(z_1,z_2) = \sum_{i=1}^{n} (u_i^1(z_1,z_2) + \upsilon_i^1(z_1,z_2))^\upsilon .$$

Bo'lishi kerak, bu yerda v o'lchovga ishora qiladi (v=1 bog'sizliklar modullarining yig'indisiga, v=2- evklid o'lchoviga mos keladi), $u_i^1(z_1,z_2)$ (z_1,z_2) va $u_i^1(z_1,z_2)$ lar esa quyidagi ko'rinishga ega:

$$u_1^1 = \begin{cases} 0, A_1z_1 - B_1z_2 \le b_1 \ da \\ A_1z_1 - B_1z_2 - b_1, \ aks\,holda \end{cases}$$

$$\upsilon_1^1 = \begin{cases} 0, \ B_1z_1 - A_1z_2 \ge a_1 \ da \\ a_1 - B_1z_2 + A_1z_2, aks\,holda \end{cases}$$

$$u_2^1 = \begin{cases} o \quad \mathrm{A}_1z_1 - \mathrm{B}_1z_2 \ge a_1\, da \\ a_1 - \mathrm{A}_1z_1 + \mathrm{B}_1z_2, \ aksholda \end{cases}$$

$$v_2^1 = \begin{cases} o, \mathrm{B}_1z_1 - \mathrm{A}_1z_2 \le b_1 \ da \\ \mathrm{B}_1z_1 - \mathrm{A}_1z_2 - b_1, \quad aksholda \end{cases}$$

$$u_3^1 = \begin{cases} o \qquad \mathrm{A}_1z_1 - \mathrm{B}_1z_2 \le a_1 \ da \\ \mathrm{A}_1z_1 - \mathrm{B}_1z_2 - a_1, \ aksholda \end{cases}$$

$$v_3^1 = \begin{cases} o \ \mathrm{B}_1z_1 - \mathrm{A}_1z_2 \ge b_1 \ da \\ b_1 - \mathrm{B}_1z_1 + \mathrm{A}_1z_2, aksholda \end{cases} \qquad (2.1.10)$$

$$u_4^1 = \begin{cases} o, \ \mathrm{A}_1z_1 - \mathrm{B}_1z_2 = b_1 \ da \\ u_{41}^1 = \mathrm{A}_1z_1 - \mathrm{B}_1z_2 - a_1, \ \ \mathrm{A}_1z_1 - \mathrm{B}_1z_2 \succ a_1\, da \\ u_{42}^1 = a_1 - \mathrm{A}_1z_1 + \mathrm{B}_1z_2, \ \ \mathrm{A}_1z_1 - \mathrm{B}_1z_2 \prec a_1\, da \end{cases}$$

$$v_4^1 = \begin{cases} o, \ \mathrm{B}_1z_1 - \mathrm{A}_1z_2 = b_1 \ da \\ v_{41}^1 = b_1 - \mathrm{B}_1z_2 - b_1, \ \mathrm{B}_1z_1 - \mathrm{A}_1z_2 \succ b_1 \ da \\ v_{42}^1 = b_1 - \mathrm{B}_1z_1 + \mathrm{A}_1z_2 \prec b_1 \end{cases}$$

R_i, $i=\overline{1,4}$ ning ψ_i^v funksiyalarga nisbatan yozib olingan bo'shlik sharti (yoki ISLAU yechimlar masalasining noto'g'rilik shartlari) $R_i = \varnothing \Leftrightarrow \forall z \in 0(\psi_i^v) \ \ \psi_i^v(z^1,z^2) > 0$ oshkor ko'rinishni qabul qiladi.

Bir qarashda katta ko'ringan ψ_i^v funksiyaning ta'rifida, ular yordamida kvaziyechimni topish masalasi anchagina ixcham ko'rinishda yozib olinishi mumkin. Masalan,

$z(R_4)$ kvaziyechimni v =1 da olish uchun quyidagi masalani yechish lozim

$$\begin{aligned}
&\mathrm{A}z_1 - \mathrm{B}z_2 - u_{41} + u_{42} = a \\
&\mathrm{B}z_1 - \mathrm{A}z_2 - v_{41} + v_{42} = b \\
&z_1 \geq 0,\ z_2 \geq 0,\ u_{41} \geq 0,\ u_{42} \geq 0,\ v_{41} \geq 0,\ v_{42} \geq 0,\ (z_1, z_2) = 0 \\
&J(z_1, z_2, u_{41}, u_{42}, v_{41}, v_{42}) = \sum_{i=1}^{n} (u_{41}^1 + u_{42}^1 + v_{41}^1 + v_{42}^1)^2 \rightarrow \min
\end{aligned} \tag{2.1.11}$$

Agar o'lchov sifatida evklidni olsak, u holda (2.1.11) masaladagi funskional quyidagi bilan almashadi

$$J(z_1,\ z_2,\ u_{41},\ u_{42}\ v_{41}, v_{42}) = \sum_{i=1}^{n} (u_{41}^1 + u_{42}^1 + v_{41}^1 + v_{42}^1)^2 \rightarrow \min$$

Mos (2.1.11) $z(R_3)$ kvaziyechimni qidirish masalasi quyidagi ko'rinishga ega

$$\begin{aligned}
&\mathrm{A}z_1 - \mathrm{B}z_2 - u_3 \leq a \\
&\mathrm{B}z_1 - \mathrm{A}z_2 + v_3 \geq b \\
&z_1 \geq 0,\ z_2 \geq 0,\ u_3 \geq 0,\ v_3 \geq 0, \quad (z_1,\ z_2) = 0 \\
&J(z_1, z_2, u_3, v_3) = \sum_{i=1}^{n} (u_3^1 + v_3^1) \rightarrow \min
\end{aligned} \tag{2.1.12}$$

(2.1.11) va (2.1.12) ga muvofiq (2.1.10) dan foydalangan holda mos kvaziyechimlarni qidirish masalalarini yozib olish mumkin. Bunda $\tilde{z}(R_2)$ ni aniqlash masalasi LP masalasi bo'lib, qolgan $\tilde{z}(R_i)$, i = 1,3,4 lar chiziqlidan tashqari $(z_1,z_2) = 0$ nochiziqli cheklanishni o'z ichiga oladi.

Yuqorida R_i, $i = \overline{1,4}$ ga nisbatan bayon etilganlarga o'xshab, $z(R_5)$ kvaziyechimni qidirish masalasi ham yozib olingan. Biz uni φ_5 ga ham, ψ_5^v ga ham asoslamaymiz.

R_2 masalalarning chiziqliligi va $z(R_2)$ kvaziyechimni qidirish masalalari undan R_i, i = 1,3,4 yechimlarning birontasini o'rniga foydalanish fikrini uyg'otishi mumkin. Bunday almashtirish notog'ri, chunki $R_1 \supseteq R_i$, $i = \overline{1,4}$ ni hisobga olib, umumiy holda $\tilde{z}(R_2) \notin R_1$, bunda $R_1 \neq \varnothing$.

2.2. Ma'lumotlarda o'tkazishlar bo'lganida bog'lanish parametrlarini baholash

Statistik turdagi modellarni qurishda parametrlarni baholash bosqichidagi qayta ishlanuvchi ma'lumotlarda alohida elementlar o'tkazilish xususiyatiga ega bo'lgan holler vujudga keladi. Bu texnik tavsiflarni o'lchashda o'lchov qurilmasining vaqtinchalik buzilishi yoki hisobot ko'rsatkichlarini qayd etishda statistic xizmatlarning ishida ehtiyotkorsizlik hisobiga kelib chiqishi mumkin. Ko'pincha o'tkazishlar so'rovchilar aniq savolga javob berishdan bosh tortganlarida yoki mumkin bo'lmagan, xususan chetlashgan savolga javob berganlarida anketa shaklidagi har xil turdagi sotsiologik axborotni qayta ishlashda paydo bo'ladi.

Mazkur o'tkazishlarda regression tenglamalarning bo'lishi erkli X o'zgaruvchilarning kuzatishlar matrisasi aniqlanmagan elementlarga ega ekanligini anglatadi. Ayrim tadqiqotchilar mazkur hollarda mos kuzatishlar yoki o'zgaruvchilarni bartaraf etgan holda, qolgan "ixcham" tanlovni an'anaviy usulda qayta ishlashni tavsiya qiladilar. Lekin kichik yoki o'rta tanlovlar sharoitida tanlovni sun'iy "kesish" [60] da o'rinli qayd etilganidek foydali axborotni yo'qotish nuqtai nazaridan juda harajatlidir.

Ayni vaqtga kelib ma'lumotlar o'tkazilishini to'ldirishning ko'pgina usullari ishlab chiqilgan. Ular ichida eng mashhurlari ZET va ZETM [88,38], bosh komponenta;ar, "qo'zg'almas nuqta [2], shartsiz va shartli o'rtalar bilan to'ldirish, local to'ldirish [71] va h.k lardir. Ulardan ayrimlari ehtimolli tavsifga ega, boshqalari esa noparametrik yondashuvdan foydalanishga asoslanadi. Ular ichida keng tarqalgani (bizning davlatimizda) ZET usuli va uning zamonaviylashtirilgan ko'rinishi ZETM dir. U taqsimot qonunini bilishni talab etmasdan, kuzatuvlar juftliklari o'rtasidagi ma'lum bir o'lchov ma'nosidagi masofadan foydalanishga asoslanadi. Usulning bazali ehtimoli ikkita kuzatuv o'lchangan o'zgaruvchilar fazosida o'zaro yaqin bo'lsa, bundan ularning o'lchanadigan o'zgaruvchilar bo'yicha yaqinligi kelib chiqishidan tashkil topgan.

Odatda, ma'lumotlardagi o'tkazishlarni to'ldirish usullari har xil turdagi evristik proseduralarga, ko'pincha juda qiyin va iterasion xarakterga ega bo'lganlariga asoslanib, u o'tkazilgan elementlarni tiklash sifatining me'yorini kiritish qiyinchiligi bilan hamohanglikda asoslab berilgan tanqidga nisbatan juda ham egiluvchan qilib qo'yadi.

Talqin etiluvchanlarga “komplekslanuvchi” proseduralarning quyidagi kamchiliklari kiradi- mavjud ma’lumotlar bo’yicha o’tkazishlarni to’ldirish algoritmining parametrlarini hisoblash;

O’tkazish qismlarining o’sishi bilan baholash sifatining pasayishi;

Algoritm xossalarini qat’iy o’rganish imkonining yo’qligi;

Ma’lumotlar tabiati va chiqarish tavsifining buzilishi.

Mazkur talqinning o’rinli ekanligini tan olgan holda, ma’lumotlarda o’tkazishlarni to’ldirish muammosi juda ham qiyin va nazariy jihatdan hech qanday sub’yektiv elementlarga ega bo’lmagan to’g’ri va yagona yechimga deyarli ega emas.

Shuning uchun mazkur muammoni yechishga yangi yondashuv oldin ma’lumlaridan yangi evristikalar bilan farq qiladi.

Sanab o’tilgan usullardan mutloq farq qilgani o’tkazishli ma’lumotlarni oxrigilarini to’ldirish bilan to’g’ridan-to’g’ri bog’liq bo’lmagan usullar asosida qayta sihlashdan iborat bo’ladi.

Haqiqatdan ham, o’tkazib yuborilgan elementli tanlov asosida statistic bog’lanishlarni qurishda o’tkazishlarni to’g’ri to’ldirish emas, parametrlarni butun axborotni hisobga olgan holda baholash muhimdir. Quyida mazkur muammoni yechishning oldingi bo’limda bayon etilgan oraliqli modellarni qurish usullaridan foydalanishga asoslangan usuli taklif etiladi.

Qo’dhimcha belgilashlar kiritamiz. K bilan (1,2,..,n) kuzatishlar raqamlari to’plamini belgilaymiz. Tadqiqotchining ixtiyoridagi (X,y) tanlovni ikkita qismga - (X_k, y_k), $k \in K_1$ kuzatishli (X_1,y_1) komplektivga va (X_l, y_l), $l \in K_2$ kuzatishli (X_2, y_2) nokomplektivga ajratamiz, bu yerda K_1 - koplektiv kuzatishlar raqamlarining to’plami, K_2 - komplektiv kuzatishlar to’plami, $K = K_1 \bigcap K_2$, $K_1 \bigcap K_2 = \varnothing$; X_k, oldingidagidekm X matrisaning k-satri.

O’tkazib yuborilgan elementlar faqat X matrisada saqlanadi.

Tadqiqotchining ixtiyorida ma’lumotlardagi o’tkazishlarni to’ldirishning h usuli (sodda) bo’lsin. Bu degani, X matrisaning k-satridagi i-o’rnida uni to’ldiruvchi h ta $x_{ki}^1, x_{ki}^2, ..., x_{ki}^h$ qiymati qayd etilishi mumkin. Ular ichida minimal x_{ki}^- va maksimal x_{ki}^+ qiymatlarni topamiz. Shunday qilib, X matrisadagi har bir o’tkazish oraliq bilan almashtiriladi va bu matrisa $[X^-, X^+]$ oraliqliga almashtiriladi, ya’ni joriy qo’yilishda o’tkazish bo’lmagan elementlar mos oraliqlarning quyi va yuqori chegralariga ega. O’tkazishlar oraliq bilan yuqorida qayd etilgan usulda almashtirilishi shart emas. Buni tajribachilarning bilimlarini jalb etgan holda ma'lumotlarni mazmuniy tahlili yoki yetarli darajada keng bo'lgan oraliqqa o'tkazib yuborilgan qiymatni tushishini "kafolatlovchi" yumshoq proseduralar asosida amalga oshirish mumkin. O'tkazishlarni bunday tarzda to'ldirish tanlov qismiga yordamchi, to'g'irlovchi ahamiyatni berish g'oyasiga asoslanadi.

O'tkazishlarga ega bo'lgan X erkli o'zgaruvchilarning kuzatishlar matrisasini oraliqliga almashtirgandan so'ng, chiziqli regressiya parametrlarini baholash masalasi 1.4-p da ko'rilgan ILSZ baholar to'plamini qurish masalasiga olib kelinadi.

Mazkur holatda $y^- = y^+ = y$, R_2, R_4 va R_5baholar to'plami bo'sh bo'lishi (1.4.3) ifodadan va R_1=R_3 ekanligidan kelib chiqadi. Agar bunda $K_{1_\pm}$ to'plamdagi kuzatishlar soni m dan katta bo'lib, ular erkli bo'lsa, u holda R_1=R_3 to'plamlar ham bo'sh bo'ladi., Haqiqatdan ham. (1.4.3) ga ko'ra quyidagi shartlar bajarilishi kerak

$$X_1^- a^1 - X_1^+ a^2 \le y,$$

$$X_1^+ a^1 - X_1^- a^2 \ge y.$$

$X_1^- = X_1^+ = X_1$ ekanligi hisobiga, $X_1 a = y$ tenglik bajarilishi kerak. Lekin hamma $(x_{k1}, x_{k2}, ..., x_{km}, y_k)$ vektorlar, $k \in K_1$ chiziqli erkli va $\dim K > m$ bo'lsa, u holda $\exists k \in K$ shunday tanlanadiki,

$$\sum_{i=1}^{m} a_i x_{ki} \ne y_k.$$

Shuning uchun R_1=R_3=Ø da 1.4.-p dagi materialga muvofiq shu to'plamlarning kvazibahosini qidirish lozim. Bunda tanlovning komplekt qismi asosiy, nokomplekt qismi esa yordamchi ekanligini yodda tutish kerak.

Endilikda oraliqlilar bilan almashtirilgan o'tkazishli tanlov asosidagi chiziqli tenglamaning parametrlarini baholash masalasini yechishda vujudga keladigan barcha holatlarni ko'rib chiqamiz.

rank $X_1 \ge m$ deb olamiz. Ushbu mulohazani hisobga olgan holda (1.3.1) chiziqli regressiyaning parametrlarini komplektli tanlov bo'yicha baholash mumkin. $\hat{\alpha}$ bilan (X_1, y_1) tanlovda aniqlangan MNM baholashni, $\bar{R}_3(X_2, y_2)$ -bilan esa $([X_2^-, X_2^+], y_2)$ oraliqli tanlovga mos va tenglamaning koeffitsiyentlar ishorasi ma'lum va $\hat{\alpha}_i, i = \overline{1,m}$ ishoralar bilan ustma-ust tushishini hisobga olgan holda (1.4.4) asosida qurilgan parametrlar bahosining to'plamini belgilaymiz. $J_1(\hat{\alpha})$bilan a baholash uchun yo'qotishlar funksiyasining qiymatini belgilaymiz

$$J_1(\hat{\alpha}) = \sum_{k\in K_1} \left| y_k - \sum_{i-1}^{m} \hat{\alpha}_i \, x_{ki} \right|.$$

Bahoni $\overline{R}_3(X_2, y_2)$ to’plam bilan mos qo’yish natijalari bo’yicha to’g’rilash imkonini ko’rib chiqamiz.

a) $\overline{R}_3(X_2, y_2) = \varnothing$ Bunday holat amaliyotda ko’p uchraydi.

Bunda $\overline{R}_3(X, y) = \varnothing$ ekanligi yaqqol ko’rinib turibdi, demak $\overline{R}_3$ to’plamga kvazibahoni qidirish zarur. Bunday kvazibaho quyidagi LP masalaning yechimi bo’ladi:

$$X_k \, a + r_k - s_k = y_k, \; k \in K_1$$

$$\overline{X}_{2l}^{-} \, a - u_3^l \le y_l$$

$$\overline{X}_{2l}^{+} \, a + \mathrm{v}_3^l \ge y_l, \qquad l \in K_2$$

$$a_i \ge 0, \qquad \text{если} \quad \hat{a}_i \ge 0$$

$$a_i \le 0, \qquad \text{если} \quad \hat{a}_i \le 0, \qquad i = \overline{1, m}$$

$$r \ge 0, \quad s \ge 0, \quad u_3 \ge 0, \quad \mathrm{v}_3 \ge 0$$

$$\sum_{k\in K_1} (r_k + s_k) + p \sum_{l\in K2} (u_3^l + \mathrm{v}_3^l) \to \min, \qquad 0 < p \le 1,$$

Bu yerda X_2^- va X_2^+ matrisalar (1.4.4) dagi X^- va X^+ o’xshash.

(2.1.12) dan bu masala (koeffitsiyentlarning ishoralari ma’lum bo’lishi hisobiga kelib chiqqan chiziqli cheklanishning yo’qligi hisobiga kelib chiqqandan tashqari) komplektli axborotning katta ahamiyatga ega bo’lishi bilan tushuntiriluvchi fiksirlangan musbat p ko’paytuvchining ishtiroki bilan tushuntiriladi. P kattalik ma’lumotlardagi o’tkazishni to’ldirishi naqadar to’g’ri ekanligiga tadqiqotchi qanchalik kamroq ishonsa, shunchalik kichik bo’ladi.

b) $\hat{a} \notin \overline{R}_3(X_2, y_2) \neq \varnothing$

Bu holat (X_1, y_1) tanlovda topilgan (X_2, y_2) oraliqli tanlovning MNM-baholashning mos kelmasligiga ishora qiladi, bu o'tkazishlar o'rnida keng oraliqlar bo'lganida ulkan qiziqish uyg'otadi. Bunday mos kelmaslikning darajasini baholash uchun quyidagi masalani yechish lozim:

$$\min_{a\in \overline{R}_3(X_2, y_2)} \rho(\hat{a}, a),$$

U, o'lchov sifatida a va a koordinatalarning absolyut chetlashishlar yig'indisi olinganida quyidagi ko'rinishdagi LP masalasiga olib kelinadi

$$\overline{X}_l^- a \le y_l$$

$$\overline{X}_l^+ a \ge y_l, \qquad l \in K_2$$

$$a + u - \mathrm{v} = \hat{a}$$

$$a_i \ge 0, \ \text{если} \quad \hat{a}_i \ge 0$$

$$a_i \le 0, \ \text{если} \quad \hat{a}_i \le 0, \qquad i = \overline{1,m}$$

$$u \ge 0, \quad \mathrm{v} \ge 0$$

$$J(u,\mathrm{v}) = \sum_{i=1}^{m} (u_i + \mathrm{v}_i) \to \min.$$

Agar (a^*, u^*, v^*) vector mazkur masalaning yechimi bo'lsa, u holda $J(u^*, v^*)$ kattalik $\hat{a}$ dan $\overline{R}_3(X_2, y_2)$ to'plamgacha bo'lgan masofaning bahosi bo'ladi. Bu masofaga a^*va $\hat{a}$ vektorlarning alohida komponentalarining masshtabiga bog'liq bo'lmagan nisbiy tavsif berish uchun $\lambda(\overline{R}_3)$ approksimatsiya aniqligi singari quyidagi kattalikni hisoblash darkor

$$\lambda(a^*, \hat{a}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{u_i + \mathrm{v}_i}{|\hat{a}_i|} \right) 100\%.$$

Agar tadqiqotchining fikriga ko'ra, $\lambda(a^*, \hat{a})$ masofaning nisbiy kattaligi juda ham katta bo'lsa, ma'lumotlardagi o'tkazishlar oraliqlar bilan to'ldirilishi xato ekanligini, yoki tanlovning komplekt va nokomplekt qismlari o'zaro ziddiyatli ekanligini anglatadi. Birinchi holda o'tkazishlarni to'ldiruvchi oraliqlarni to'g'irlash, ikkinchi holda-a^* va $\hat{a}$ o'rtasidagi kompromissli parametrlar bahosini topish kerak/ Agarda $\lambda(a^*, \hat{a})$ topilgan baholarning yaqinligiga ishora qilsa, (1.3.1) regressiyaning yakuniy bahosi sifatida ulardan ixtiyoriysini yoki ularning yarim yig'indisini olish mumkin.

a^*va $\hat{a}$ o'rtasidagi kompromissli bahoni qidirishda quyidagicha ish ko'rish kerak. Tadqiqotchi kerakli kompromissga erishish maqsadida $\Delta J_1(\hat{a})$ kattalikni belgilaydi, $\rho(\hat{a}, R_3(X_2, y_2))$ masofani kamaytirish uchun

(X_1, y_1) tanlovda $J_1(\hat{a})$ yo’qotishlar funskiyasining qiymatini shu katalikka oshirish mumkin. U holda qidirilayotgan $\tilde{a}$ kompromissli baholash quyidagi LP masalaning yechimi bo’ladi:

$$X_k a + r_k - s_k = y_k, \quad k \in K_1$$

$$\overline{X}_l^- a - u_3^l \leq y_l$$

$$\overline{X}_l^+ a + \mathrm{v}_3^l \geq y_l \qquad l \in K_2$$

$$\sum_{k \in K_1} (r_k + s_k) \leq J_1(\hat{a}) + \Delta J_1(\hat{a})$$

$$a_i \geq 0, \ \text{если}\, \hat{a}_i \geq 0$$

$$a_i \leq 0, \ \text{если}\, \hat{a}_i \leq 0, \quad i = \overline{1, m}$$

$$r \geq 0, \quad s \geq 0, \quad u_3 \geq 0, \qquad \mathrm{v}_3 \geq 0$$

$$\delta \sum_{k \in K_1} (r_k + s_k) + \sum_{l \in K_2} (u_3^l + \mathrm{v}_3^l) \to \min$$
.

Maqsad funskiyasida kichik musbat ko’paytuvchili birinchi qo’shiluvchining bo’lishi $(r, s) = 0$ zaruriy shartning bajarilishini ta’minlaydi.

Agar tadqiqotchi chiziqli regressiyaning parametrlarini baholash masalasini yechishda komplekt va nokomplekt tanlovlarning qiymati taxminan teng deb olsa, $J_1(\hat{a})$ sifatida $\dfrac{J_1(a^*) - J_1(\hat{a})}{a}$ kattalikni olish kerak, bu yerda

$$J_1(a^*) = \sum_{k \in K_1} \left| y_k - \sum_{i=1}^{m} a_i^* x_{ki} \right|.$$

b) $\hat{a} \in \overline{R}_3(X_2, y_2) \neq \varnothing$.

(X_1, y_1) nuqtaviy tanlov bo’yicha aniqlangan MHM – baholash (X_2, y_2) oraliqli tanlov uchun mavjud baholashlar to’plamida ishtirok etsa, komplekt va nokomplekt axborot bir-biriga zid emasligi to’g’risida xulosa chiqarish mumkin.Oxirgisi bunday holatda qidirilayotgan sifatida qabul qilinishi mumkin bo’lgan $\hat{a}$ baholashni aniqlamaydi.

Mazkur bo’limning xulosasida quyidagi holatni yana bir marotaba qayd etish lozim. Yuqorida sanab o’tilgan barcha holatlar $\overline{R}_3(X_2, y_2)$

to’plam bilan $\hat{a}$ baholashni mos qo’yish natijasi bilan farq qilib, bu yerda ma’lumotlardagi o’tkazishlarni to’ldirish uchun emas, komplekt va nokomplekt axborotni mos qo’yish asosida (1.3.1) chiziqli regressiyaning parametrlarini baholash uchun qo’llaniladi. Bunda taklif etilgan yondashuv erkli va erksiz o’zgaruvchilar uchun kuzatuvlardagi o’tkazishlarning mavjud bo’lish holiga nisbatan oson tarqaladi. 1.4-p dagi tavsiyalarga muvofiq R_3 to’plamning o’rniga $\overline{R}_2, \overline{R}_4$ yoki $\overline{R}_5$ to’plamlar qo’llanilishi mumkin.

Agar X_1 matrisaning rangi to’g’risidagi farazlar olib tashlansa, butun $(X_1,[X_2^-,X_2^+],y_1,[y_2^-,y_2^+])$ tanlov bilan oraliqli sifatida ishlash kerak.

2.3. Noaniqlik sharoitida diskret dinamik model asosida bashoratlash

Ixtiyoriy tabiatli (xususan, ijtimoiy-iqtisodiy) jarayonlarni, xususan matematik modellashtirish usullarini qo’llagan holda bashoratlashda, an’anaviy hisoblash sxemasi, birinchi bobda qayd etilganidek ([64] ga qarang) endogen (ichki) o’zgaruvchilarning qiymatlar modeli bo’yicha ekzogen (tashqi) o’zgaruvchilarni hisoblash prosedurasiga asoslanadi. Lekin haqiqiy vaziyatda ayrim (yoki hamma) ekzogen o’zgaruvchilarning qiymatlari ko’pincha noma’lum bo’ladi, lekin mazmuniy sohada shu davrda bu kabi o’zgaruvchilar qiymatlarining o’zgarish qonuniyatlari to’g’risidagi mulohazalarni keltirishga qodir tadqiqotchilarni jalb etish imkoniyati mavjud.

Bunday unchagina aniqlanmagan joriy ma’lumotlarda matematik model bo’yicha bashoratlashning an’anaviy usullari natija bermaydi va qo’shimcha tajribaviy axborotni qo’llashga mo’ljallangan bashoratlash usullarini ishlab chiqish muammosi vujudga keladi.

Bu muammoni yechishning yondashuvlaridan biri, “oraliqli” nomiga sazovor bo’lib, sohalararo modellar uchun ularning parametrlari va muqobil trayektoriyalarni hisoblash bilan birgalikda baholash asosida rivojlantirilgan. Mazkur bo’limda parametrlari ma’lumotlarni tahlil qilish usullaridan foydalanmasdan turib, ma’lum bir usulda baholangan diskret dinamik (statistic bo’lishi shart emas) model asosida bashoratlash bilan bog’liq boshqa masalani yechishga yondashuv taklif etiladi. Bunda tashqi o’zgaruvchilar qiymatlariga nisbatan noaniqlikni berishni shakllantirish va uni bashoratlash chog'ida hisobga olish usullari ko'rib chiqiladi [27].

Muammoning shartli qo'yilishiga o'tamiz.

Vaqt bo'yicha diskret jarayonni o'rganish natijasida uning dinamik modeli parametrlar bo'yicha ayirmaviy chiziqli tenglamalar sistemasi ko'rinishidagi dinamik model qurilgan bo'lsin:

$$y_t^k = a^k + \sum_{i=1}^{n} \sum_{\lambda=1}^{\tau^{k_i}} \beta_\lambda^{k_i} y_{t-\lambda}^i + \sum_{j=1}^{m} \sum_{\lambda=0}^{\varphi^{k_j}} \gamma_\lambda^{k_j} x_{t-\lambda}^j, \qquad k = \overline{1,n} \tag{2.3.1}$$

Bu yerda n va m- mos ravishda endogen va ekzogen o'zgaruvchilarning soni; y_t^i, x_c^j - t momentda i-endogen va j-ekzogen o'zgaruvchilarning qiymatlari; τ^{k_i} va φ^{k_j} - k-tenglamada i-endogen va j-ekzogen o'zgaruvchilarning maksimal soni; $a^k, \beta_\lambda^{k_j}, \gamma_\lambda^{k_j}$ - ma'lum parametrlar; t = ...-1, 0, 1,... –diskret vaqt.

$t = \overline{1,\delta}$ bashoratni qayd etish davrida tajribachilar tomonidan quyidagi ko'rinishda ifodalanuvchi $(y_l^1,...,y_\delta^1,...,y_l^n,...,y_\delta^n,...,x_l^1,...,x_\delta^1,...,x_l^n,...,x_l^n)$ (nxm) o'lchovli jarayon trayektoriyalari xossalari to'g'risidagi $\omega^l, l = \overline{1,L}$ L ta mulohaza aytilgan bo'lsin.

$$\omega^1 : \sum_{\lambda=1}^{\delta} \left(\sum_{i=1}^{n} a_\lambda^{il} y_\lambda^i + \sum_{j=1}^{m} b_\lambda^{il} x_\lambda^i \right) \le c^l, \quad l = \overline{1,L} \tag{2.3.2}$$

Bu yerda $a_\lambda^{il}, b_\lambda^{il}, c^l$- 1-mulohaza tegishli bo'lgan tajribachi tomonidan aniqlanuvchi koeffitsiyentlar. (2.3.2) munosabat keng sinfga nisbatan tajribaviy mulohazalarni ta'riflash imkonini beradi. Ular ichida bashoratni qayd etish davridagi ekzogen o'zgaruvchilar qiymatlari o'zgarishining yuqori va quyi chegaralar bahosi saqlanadi.

Quyida mazkur masalarni yechishga yondashuvlar keltirilgan:

- (2.3.1) modeldan kelib chiquvchi va (2.3.2) tajribaviy mulohazalar bilan kelishilgan barcha $y = (y_l^1,...,y_\delta^1,...,y_l^n,...,y_\delta^n)$ bashoratli trayektoriyalarning $Y \in R^{\delta n}$ to'plami ta'rifi;
- Y to'plamdan bashoratning maksimal xatoligini minimallashtiruvchi bashoratli trayektroriyani qidirish; oldindan berilgan $y \in R^{\delta n}$ trayektoriyaning Y to'plamga tegishli bo'lishini tekshirish; $y \in Y$ bo'lganda bashoratning maksimal xatoligini baholash.

Qayd etilgan masalalarni yechish uchun bashoratli trayektoriyalar to'plamining ta'rifini shakllantirish kerak.

δn o'lchovli $b=(\bar{a}^1,...,\bar{a}^n)^T$ vektorni va $z=(y^1_{-i^1},...,y^1_\delta,...,y^n_{-i^n},...,y^n_\delta,...,x^1_{-\varphi^1},...,x^1_\delta,...,x^m_{-\varphi^m},...,x^m_\delta)^T$ ni kiritamiz, uning o'lchami

$$\mathrm{V}=(\delta+1)n+\sum_{i=1}^{n}\tau^i+(\delta+1)m+\sum_{j=1}^{m}\varphi^j,$$

bu yerda

$$\bar{a}^j=\underbrace{(a^i,...,a^i)}_{\delta},\qquad \tau=\max_{k=\overline{1,n}}\tau^{k_i},\quad \varphi^j=\max_{k=\overline{1,n}}\psi^{k_j}.$$

U holda (2.3.1) tenglamalar sistemasi soda holda matrisaviy shakldа chiziqli algebraic tenglamalar ko'rinishida ifodalanishi mumkin

$$Az=b. \tag{2.3.3}$$

Bu yerda A - $\beta^{k_j}_\lambda$, $\gamma^{k_j}_\lambda$, 0 elementli $n\delta\times V$ o'lchovli matrisa.

Huddi shunday tarzda (2.3.1) tengsizliklar sistemasi matrisaviy shaklda ifodalanishi mumkin

$$Dz\le c, \tag{2.3.4}$$

bu yerda $c=(c^1,...,c^L)^T$, D - a^{il}_λ, b^{jl}_λ, 0 elementli $L\times V$ o'lchovli matrisa.

Kelgusi ajratmalarni soddalashtirish maqsadida I orqali y^i_t, $i=\overline{1,n}$, $t=\overline{1,\delta}$ joriy o'zharuvchilarga mos z vector komponentalarining indekslar to'plamini, I^i_Y - bilan y^i_t, $i=\overline{1,n}$, $t=\overline{\tau^i,\mathrm{O}}$ ga mosini I^j_X - z^j_t, $j=\overline{1,m}$, $t=\overline{\varphi^j,\mathrm{O}}$ o'zgaruvchilarga mosini belgilaymiz.

Bashoratli jarayon $t=\overline{-\eta,\mathrm{O}}$ va $\eta\ge\max\left\{\max_{i=\overline{1,n}}\tau^i,\ \max_{j=\overline{1,m}}\varphi^j\right\}$ bashorat asosining ma'lum bir davrida o'rganilganligini hisobga olib, (2.3.3), (2.3.4) sistemasini boshlang'ich shartlar bilan to'ldiramiz:

$$z_{I^i_Y}=\tilde{y}^i,\qquad i=\overline{1,n},$$

$$z_{I^j_X}=\tilde{x}^j,\qquad j=\overline{1,m}, \tag{2.3.5}$$

bu yerda $\tilde{y}^i$, $\tilde{x}^j$ - $\overline{-\tau^i,\mathrm{O}}$ va $\overline{-\varphi^j,\mathrm{O}}$ vaqt momentidagi endogen va ekzogen o'zgaruvchilar qiymatlarining vektorlari, $z_{I^i_Y}$ va $z_{I^j_X}$ esa- mos ravishda I^i_Y va I^j_X to'plamlardagi raqamli z vektorning komponentalari.

Hosil bo'lgan chiziqli tengliklar va tengsizliklar sistemasi (2.3.3)-(2.3.5) R^V fazoda qavariq Z ko'pyoqni beradi, uning $R^{n\delta}$ fazodago proyeksiyalari $y_l^1,...,y_\delta^1,...,y_l^n,...,y_\delta^n$ komponentalar bilan aniqlanib, o'rganilayotgan jarayonning bashoratli trayektoriyalarining Y to'plami bo'lib, u shuningdek $R^{\delta n}$ dagi qavariq ko'pyoq bo'ladi. 1 ni Y dagi trayektoriyalar va Z dagi vektorlar bo'yicha farqlash kerak bo'lgani uchun, z_Y ostida z vektorning Y to'plamdagi proyeksiyasini tushunish kerak. Hosil bo'lgan Y trayektoriyalar to'plamini bevosita amaliyotda qo'llash kerak, chunki trayektoriyalar oshkor ravishda aniqlanmagan, lekin (2.3.30-(2.3.5) tengsizliklar va tengliklar sistemasini mavjud trayektoriyalar to'plamiga qo'yilgan cheklanishlar sifatida qabul qilish va shu cheklanishlarda qo'yilgan muqobillashtirish masalalarini yechib, yuqorida bayon etilgan masalalar doirasida konstruktiv natijalarni olish mumkin. Xususan, $2\delta n$ chiziqli dasturlash masalalarning yechimi sifatida

$$\min z_{i,} \qquad \max z_i, \qquad i \in I \tag{2.3.6}$$

Shunday $\tilde{y}_t^k,\ \hat{y}_t^k,\quad t=\overline{1,\delta},\ k=\overline{1,n}$ endogen o'zgaruvchilar qiymatlarining majmui tanlanadiki, $y=(y_l^1,...,y_\delta^1,...,y_l^n,...,y_\delta^n)$ bashoratli trayektoriyaga nisbatan $\tilde{y}_t^k \le y_t^k \le \hat{y}_t^k,\quad t=\overline{1,\delta},\ k=\overline{1,n}$ tengsizliklar bajariladi va bunda ixtiyoriy, $t=\overline{1,\delta},\ k=\overline{1,n}$ bo'lgan $\tilde{q}_t^k,\ \hat{q}_t^k,$ larda $t=\overline{1,\delta},\ k=\overline{1,n}$ $\tilde{q}_t^k \le y_t^k \le \hat{q}_t^k$ bo'ladi. Boshqa so'z bilan aytganda, (2.3.3)-(2.3.5) cheklanishli (2.3.6) masalaning yechimi jarayonning barcha trayektoriyalari fazosida minimal "o'rama" ni aniqlaydi.

Keltirilgan mulohazalar (2.3.6) masalalar yechimga ega bo'lsa, ya'ni (2.3.3)-(2.3.5) cheklanishlar birgalikda bajarilsa ma'noga ega bo'ladi. Aks holda, bir biriga zid (2.3.2) ekspert mulohazalarda bashoratli trayektoriyalar to'plami Y bo'sh bo'lishi kelib chiqadi. Lekin, ekspertli mulohazalarning bir-biriga zidligi alohida ekspertlarning yetarli darajada kelishilmagan ekanligidan kelib chiqsa, barcha ekspertli mulohazalarga maksimal darajada mos kelgan trayektoriyani aniqlash lozim. Bunday trayektoriya quyidagi chiziqli dasturlash masalasini yechish natijasida keltirib chiqarilishi mumkin.

$$\min \sum_{l=1}^{L} s^l \,, \tag{2.3.7}$$

bunda (2.3.4), (2.3.5) cheklanishlar va

$$Dz - s \le c$$

$$s^l \ge 0,\ l=\overline{1,L}$$

munosaabatlar hisobga olinadi, bu yerda $s=(s^1,...,s^l)^T$ - masalaning qo'shimcha o'zgaruvchilari vektori. Bunda (2.3.7) dagi funksionalning minimal qiymati ekspertli mulohazalardagi "kelishmovchilik" kattaligini aniqlaydi.

Endilikda bashoratning maksimal xatoligini minimallashtiruvchi trayektoriyani qidirish bilan shug'ullanamiz.

Yuqorida aytilganlardan kelib chiqadiki, (2.3.2) ekspertli mulohazalarning bir-biriga zid bo'lmasligidan, bashoratlash masalasining yechimi umumiy holda Y bashoratli trayektoriyalar to'plami bo'ladi. Agar bashoratdan kelgusida foydalanish uchun bashoratli trayektoriyani tanlashda aniqlik kerak bo'lsa, yagona trayektoriya minimaks tamoyiliga muvofiq ravishda topilishi mumkin. Bunday trayektoriyani YxY to'plamda qidirish uchun ρ masofa funksiyasini aniqlab, so'ngra quyidagi masalni yechish lozim

$$\min_{\xi_Y\in Y}\ \max_{\chi_Y\in Y}\rho(\xi_Y,\chi_Y)\ . \qquad (2.3.8)$$

Agar bashoratli va shartli trayektoriyalar o'rtasidagi masofani bashoratdagi xatolik sifatida talqin etadigan bo'lsak, u holda (2.3.8), (2.3.3)-(2.3.5) minimaks masalaning (ξ_Y^*,χ_Y^*) yechimidagi birinchi ξ_Y^* komponenta bashoratning maskimal xatoligini minimallashtiradi. Minimaks trayektoriyani qidirish algoritmini qurish uchun 1.4-p dagi 5.1 va 5.2 tasdiqlardan foydalanamiz (Shunga o'xshash algoritmik sxema mazkur bo'limda keltirilgan).

0 –qadam: Y ko'pyoqning $\tilde{Y}$ balandliklar bo'sh to'plami hosil qilinadi, uni keyinchalik kengaytirish minimaks masalaning yechimiga ta'sir ko'rsatadi.

1-qadam. Y ko'pyoqning bir biridan eng uzoq masofada joylashgan ikkita $y^{(0)}$ va $y^{(1)}$ uch quyidagi masalani yechish orqali topiladi

$$\max_{g,\mathrm{v}\in Z}\rho(g_Y,\mathrm{v}_Y)\ . \qquad (2.3.9)$$

Eslatib o'tamizki, Z to'plam (2.3.3)-(2.3.5) shartlar orqali aniqlanadi ($y^{(0)}$, $y^{(1)}$ sifatida Y ko'pyoqning boshqa uchlari tanlanishi mumkin, lekin bunday holda ξ_Y^* bashoratli trayektoriyani qidirish algoritmi sekinroq yaqinlashadi).

$y^{(0)}$ va $y^{(1)}$ uchlar $\tilde{Y}$ to'plamga kiritiladi .

Yangi ω o'zgaruvchi kiritiladi va quyidagi masala yechiladi:

$$\min \omega, \qquad (2.3.10)$$

bundagi cheklanishlar

$$\rho(y^{(i)}, \xi_Y) \le \omega \text{ barcha } y^{(j)} \in \tilde{Y} . \qquad (2.3.11)$$

Noma'lum ξ_Y vektor uchun uning Y to'plamga tegishli bo'lishini talab etish kerak emas. Bunga avtomatik tarzda erishilishini ko'rsatish oson.

Natijada ω o'zgaruvchining $\omega^{(1)}$ qiymati va $\tilde{Y}$ to'plamni tashkil etuvchi uchlargacha bo'lgan masofa maksimal bo'lgan $\xi_Y^{(1)}$ nuqta aniqlanadi.

Bundan so'ng quyidagi masala yechiladi

$$J^{(1)} = \max_{g \in Z} \rho(g_Y, \xi_Y^{(1)}) .$$

Natijada $y^{(2)}$ uch aniqlanadi.

2-qadam. $y^{(2)}$ uchning $\tilde{Y}$ to'plamga tegishli bo'lishi va (yoki) $\omega^{(1)}$ hamda $J^{(1)}$ qiymatlarning bir-biriga tengligi tekshiriladi. Ushbu shartlarning birontasi bajarilganda nuqta (2.3.8) minimaks masalaning ξ_Y^* yechimi deb e'lon qilinadi va jarayon tugatiladi. Aks holda $y^{(2)}$ uch $\tilde{Y}$ to'plamga kiritiladi, $\xi_Y^{(2)}$ nuqtaning $y^{(3)}$ balandligi, $\omega^{(2)}$ va $J^{(2)}$ kattaliklar hisoblanadigan (2.3.10), (2.3.11) masala yechiladi va bundan so'ng sanab o'tilgan shartlar qaytadan tekshiriladi va jarayon yoki tugatiladi $(\xi_Y^* = \xi_Y^{(2)})$ yoki davom ettiriladi.

Ko'rib chiqilgan itersaion jarayon 1 va 2 tasdqilarning hisobiga har doim minimaks yechimga yaqinlashadi.

Keltirilgan algoritmni an'naviy tarzda qo'llaniladigan evklid masofasi p da qo'llash nochiziqli dasturlashning murakkab masalalarini yechish bilan bog'liq bo'ladi. Shuning uchun ρ funskiya sifatida "shaharlik" masofa (mos vektorlar komponentalarining ayirmalar moduli yig'indisi) dan hamda qo'shimcha o'zgaruvchilarni kiritish orqali yuqorida keltirilgan muqobillashtirish masalalaridan foydalanish taklif etiladi.

Shunday qilib, (2.3.9) masala quyidagi ko'rinishni qabul qiladi:

$$\max_{g,v \in Z} \sum_{s \in I} |g_s - v_s| .$$

Q va r o'zgaruvchilarning yangi nomanfiy vektorlarini kiritamiz, ulardagi komponentalarning raqamlari I indeksli to'plamning elementlariga mos keladi:

$$q_s = \begin{cases} g_s - v_s, \text{при } g_s > v_s \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases} \qquad r_s = \begin{cases} v_s - g_s, \text{при } v_s > g_s \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases}$$

$$s \in I$$

$$q_s + r_s = |g_s - v_s|, \quad q_s - r_s = g_s - v_s$$

bo'lgani uchun $y^{(0)}$, $y^{(1)}$ uchlarni topishda quyidagi masalani yechish zarur:

$$\max_{g,\mathrm{v}} \sum_{s \in I} (q_s + r_s).$$

Bunda g va v o'zgaruvchilarga(2.3.3)-(2.3.5) cheklanishlar va quyidagi qo'shimcha cheklanishlar yuklatilgan bo'ladi :

$$g_s - \mathrm{v_s} - q_s + r_s = 0, \quad s \in I$$

$$q \geq 0 \quad r \geq 0, \quad (q, r) = 0$$

Huddi shu tarzda $\xi_Y^{(1)}$ nuqtani qidirish (2.3.10) chiziqli dasturlash masalasini quyidagi cheklanishlarda yechishga olib kelinadi:

$$\sum_{s \in I} (q_s^{(j)} + r_s^{(j)}) - \omega \leq 0, \qquad j = \overline{0,1}, \tag{2.3.12}$$

$$\xi_Y + q^{(j)} - r^{(j)} = y^{(j)}, \qquad j = \overline{0,1}, \tag{2.3.13}$$

$$q^{(j)} \geq 0, \qquad r^{(j)} \geq 0, \qquad j = \overline{0,1}.$$

Ular yangi $q^{(j)}, r^{(j)}$ nomanfiy o'zgaruvchilarni kiritgandan so'ng (2.3.11) dan kelib chiqqan bo'lib, $y^{(2)}$ - nuqtani qidirish quyidagi masalani yechishga olib kelinadi:

$$\max \sum_{s \in I} (q_s + r_s),$$

unda g vektorga (2.3.3)-(2.3.5) cheklanishlar yuklatilib, qo'shimcha shartlar quyidagilardan iboratdir:

$$g_s - q_s + r_s = \xi_{Y_s}^{(1)}, \qquad s \in I$$

$$(q, r) = 0$$

$$q \geq 0, \quad r \geq 0, \tag{2.3.14}$$

ular yangi nomanfiy q,r o'zgaruvchilar vektorlarining ta'rifidan kelib chiqadi ($\tilde{Y}$ to'plam l ta yangi uchlar bilan to'ldirilsa, (2.3.12), (2.3.13) cheklanishlar soni ham I ga ortadi).

(2.3.14) cheklanish (2.1.3) ga muvofiq bull o'zgaruvchilarini kiritish orqali (2.1.3) ga o'xshash bilan almashtirilishi mumkin Mavjudlik jarayonining trayektoriyasini o'rganish masalasini yechishga o'tamiz.

$\bar{y} = (\bar{y}_1^1,...,\bar{y}_\delta^1,...,\bar{y}_1^n,...,\bar{y}_\delta^n)$ ma'lum bir ("qidirilayotgan") trayektoriya bo'lib, uning Y bashoratli trayektoriyalar to'plamiga tegishli bo'lishini aniqlash kerak.

Shu maqsadda (2.3.3)-(2.3.5) sistemani quyidagi shartlar bilan to'ldiramiz

$$z_S \in \bar{z}_S, \qquad s \in I. \tag{2.3.15}$$

Va shu yo'sinda hosil qilingan tengsizliklar sistemasi bilan (2.3.3)-(2.3.5), (2.3.15) larni solishtiramiz. Buni ixtiyoriy c vektorli (c,z) chiziqli formani aniqlash va quyidagi chiziqli dasturlash masalasini yechish orqali amalga oshirish mumkin

$$\min_{z} (c,\, z). \tag{2.3.16}$$

Bunda cheklanishlar (2.3.3)-(2.3.5), (2.3.15) bo'ladi. Agar cheklanishlar sistemasi birgalikda bajarilmasa, u holda $y \overline{\in} Y$.

Agar $\bar{y}$ trayektoriya bashoratli bo'lmasa (ya'ni $\bar{y}$ $\overline{\in}$ У) bo'lsa, u holda uning bashoratli Y trayektoriyalardan "uzoqlashganligi" ni baholash foydali bo'ladi, Buni minimallashtirish masalasini yechish orqali amalga oshirish mumkin

$$\min_{z \in Z} \rho(\bar{y},\, z_Y), \tag{2.3.17}$$

bunda (2.3.17) masalaning yechimlari $\bar{y}$ ning Ydan uzoqlashish bahosi sifatida qabul qilinadi.

Oldingidagidek, ρ masofani modullar yig'indisi ko'rinishida ifodalash va yangi $q_s,\ r_{s,}$ $s \in I$ o'zgaruvchilarni kiritish mumkin. U holda qidirilayotgan y^* trayektoriya quyidagi chiziqli dasturlash masalasining yechimi ko'rinishida topiladi

$$\min_{g} \sum_{s \in I} (q_S + r_S).$$

Bundagi cheklanishlar (2.3.3)-(2.3.5) va qo'shimcha cheklanishlar quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$g + q - r = \bar{y}, \quad s \in I$$

$$q \geq 0, \quad r \geq 0.$$

Endilikda soddalashgan bo’lsada, lekin mazkur bo’limda taklif etilgan yondashuvning asosiy momnetlarini sharhlashga imkon beruvchi misolni ko’rib chiqamiz.

Jarayon bitta endogen (n=1) va bitta ekzogen(m=1) o’zgaruvchilar bilan xarakterlansada, bashoratni tasdiqlash davri $\delta = 2$ va jarayonning modeli quyidagi tenglama orqali ifodalanadi

$$y_t = 1 + x_t.$$

Eskpertlar ekzogen o’zgaruvchining qiymatlari uchun yuqori va quyi chegaralari to’g’risida

$$0 \leq x_1 \leq 1, \quad 0 \leq x_2 \leq 1.$$

Shuningdek uning qiymatlari o’rtasidagi bashoratni tasdiqlash davridagi o’zaro bog’lanishlari to’g’risida shaxsiy mulohazalarini keltirgan bo’lsinlar

$$x_2 \leq 1.6x_1, \; x_1 + x_2 \leq 1.$$

Bunday holda joriy o’zgaruvchilardagi (2.3.3) tenglamalar va (2.3.4) tengsizliklar sistemalari quyidagi ko’rinishni qabul qiladilar:

$$y_1 - x_1 = 1, \; y_2 - x_2 = 1$$

va mos ravishda

$$-1.6x_1 + x_2 \leq 0, \; x_1 + x_2 \leq 1, \; 0 \leq x_1 \leq 1, \; 0 \leq x_2 \leq 1/$$

Keltirilgan algoritmlardan foydalanib, bashoratning maksimal xatoligini minimallashtiruvchi $\xi_Y^* = (\xi_{Y1}^*, \xi_{Y2}^*)$ trayektoriyani topamiz.

1-qadam. Quyidagi masalani yechamiz

$$\max(q_1 + q_2 + r_1 + r_2)$$

bunda cheklanishlar:

$$g_1 - g_3 = 1, \quad g_2 - g_4 = 1, \quad v_1 - v_3 = 1, \quad v_2 - v_4 = 1$$

$$-1.6g_3 + g_4 \leq 0, \quad g_3 + g_4 \leq 1, \; 0 \leq g_3 \leq 1, \; 0 \leq g_4 \leq 1$$

$$-1.6v_3 + v_4 \leq 0, \quad v_3 + v_4 \leq 1, \; 0 \leq v_3 \leq 1, \; 0 \leq v_4 \leq 1$$

$$g_1 - v_1 - q_1 + r_1 = 0, \quad g_2 - v_2 - q_2 + r_2 = 0,$$

$$q_1 \geq 0, \; q_2 \geq 0, \; r_1 \geq 0, \; r_2 \geq 0,$$

va qo'shimcha cheklanishlar $q_1 r_1 = 0$, $q_2 r_2 = 0$. Masalaning yechimidan quyidagilarni topamiz $y^{(0)} = (2,1),\ y^{(1)} = (1.385,\ 1.615),\ \tilde{Y} = (y^{(0)}, y^{(1)})$. So'ngra chiziqli dasturlash masalasini yechamiz: minω. Bundagi cheklanishlar:

$$q_1^{(0)} + r_1^{(0)} + r_2^{(0)} - \omega \le 0, \qquad q_1^{(1)} + r_1^{(1)} + r_2^{(1)} - \omega \le 0,$$

$$\xi_{y1} + q_1^{(0)} - r_1^{(0)} = 2,\quad \xi_{y1} + q_1^{(1)} - r_1^{(1)} = 1.385,$$

$$\xi_{y2} + q_2^{(0)} - r_2^{(0)} = 1,\quad \xi_{y2} + q_2^{(1)} - r_2^{(1)} = 1.615,$$

$$q_1^{(0)} \ge 0,\quad q_2^{(0)} \ge 0,\ q_1^{(1)} \ge 0,\ q_2^{(1)} \ge 0,$$

$$r_1^{(0)} \ge 0,\quad r_2^{(0)} \ge 0,\ r_1^{(1)} \ge 0,\ r_2^{(1)} \ge 0.$$

Masalaning yechimidan quyidagilarni topamiz $\xi_Y^{(1)} = (1.692, 1.308)$, $\omega^{(1)} = 0.3075$. So'ngra quyidagi masalani yechamiz

$$\max(q_1 + q_2 + r_1 + r_2),$$

bundagi cheklanishlar

$$g_1 - g_3 = 1,\ g_2 - g_4 = 1,$$

$$-1.6\ g_3 + g_4 \le 0,\ g_3 + g_4 \le 1,\ 0 \le g_3 \le 1,\ 0 \le g_4 \le 1$$

$$g_1 - q_1 + r_1 = 1.692,\ g_2 - q_2 + r_2 = 1.308,$$

$$q_1 \ge 0,\ q_2 \ge 0,\ r_1 \ge 0,\ r_2 \ge 0$$

va qo'shimcha shartlar $q_1 r_1 = 0,\quad q_2 r_2 = 0$.

Masalaning yechimidan quyidagilarni topamiz:

$$y^{(2)} = (1,\ 1),\qquad J^{(1)} = 2.0.$$

2-qadam. $y^{(2)} \in \tilde{Y}$, $J^{(1)} > \omega^{(1)}$ bo'lgani uchun, $\tilde{Y}$ ga kiritamiz va jarayonni davom ettiramiz.

Chiziqli dasturlash min ϖ masalasini yechamiz, bundagi cheklanishlar

$$q_1^{(0)} + r_1^{(0)} + q_2^{(0)} + r_2^{(0)} - \omega \le 0,\ q_1^{(1)} + r_1^{(1)} + q_2^{(1)} + r_2^{(1)} - \omega \le 0,\quad q_1^{(2)} + r_1^{(2)} + q_2^{(2)} + r_2^{(2)} - \omega \le 0,$$

$$\xi_{Y1} + q_1^{(0)} - r_1^{(0)} = 2,\ \xi_{Y1} + q_1^{(1)} - r_1^{(1)} = 1.385,\ \xi_{Y1} + q_1^{(2)} - r_1^{(2)} = 1,$$

$$\xi_{Y2} + q_2^{(0)} - r_2^{(0)} = 1,\ \xi_{Y2} + q_2^{(1)} - r_2^{(1)} = 1.615,\ \xi_{Y2} + q_2^{(2)} - r_2^{(2)} = 1,$$

$$q_1^{(0)} \ge 0,\ q_2^{(0)} \ge 0,\ q_1^{(1)} \ge 0,\ q_2^{(1)} \ge 0,\ q_1^{(2)} \ge 0,\ q_2^{(2)} \ge 0,$$

$$r_1^{(0)} \ge 0,\ r_2^{(0)} \ge 0,\ r_1^{(1)} \ge 0,\ r_2^{(1)} \ge 0,\ r_1^{(2)} \ge 0,\ r_2^{(2)} \ge 0$$

Masalaning yechimidan quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\xi_Y^{(2)} = (1.5, 1.1115), \varpi^{(2)} = 0.615.$$

So'ngra quyidagi masalani yechamiz:

$$\max\ (q_1 + q_2 + r_1 + r_2),$$

bundagi cheklanishlar

$$g_1 - g_3 = 1,\ g_2 - g_4 = 1,$$

$$-1.6\ g_3 + g_4 \le 0,\ \ g_3 + g_4 \le 1,\ 0 \le g_3 \le 1,\ \ 0 \le g_4 \le 1$$

$$g_1 - q_1 + r_1 = 1.5,\ \ g_2 - q_2 + r_2 = 1.115,$$

$$q_1 \ge 0,\ q_2 \ge 0,\ \ r_1 \ge 0,\ r_2 \ge 0$$

va qo'shimcha shartlar $q_1 r_1 = 0,\ q_2 r_2 = 0$. Masalning yechimidan quyidagilarni topamiz $y^{(3)} = (1,\ 1)$.

$y^{(2)} = y^{(3)}$ bo'lgani uchun iterasion jarayonni tugatamiz va masalaning yechimi deb $\xi_Y^{(2)} = \xi_Y^{(3)} = (1.5, 1.115)$ nuqtani e'lon qilamiz.

III-BOB. NORAVSHAN SHAROITLARDA STATISTIK MODELLAR

3.1. Regressiya parametrlarini noravshan axborotda mavjud xatolikning bahosi orqali baholash

Noravshan muhitlardagi statistik modellarni ko'rib chiqishdan avval “statistika” atamasini tahlil qilish maqsadga muvofiqdir. Bu atama ko'p ma'noli bo'lib, ko'plab ta'riflarga egadir.

«Statistikaning maqsadi o'zaro bog'lanishlar va munosabatlardagi qonuniyatlarni o'rganishdan, nisbiy hodisalardan absolyutini tanlashdan, doimiy bo'lmaganni ichidan doimiysini o'rganishdan, topilganlar ichida yangi qonunni aniqlashdan iboratdir (J. E. Worl. Eriaute-rungen zur Theorie der Statistik)».

«<Statistika> so'zi <davlat> (state yoki Staat)so'zidan kelib chiqib, umumiy kelishuv asosida yashaydigan insonlar guruhini anglatadi; u o'z ichiga insonlarning barcha holatlarini qamrab oladi (Encyclopaedia Britannica. 7th ed.)».

«Statistika- funskiyasi fizik, ijtimoiy, siyosiy, moliyaviy, ongli va ma'naviy vaziyatga, davlat yoki xalqning resurslariga tegishli axborotlarni yig'ish va tartiblashdan iborat bo'lgan fandir (New American Encyclopaedia)».

«Statistika- inson jamiyati va tabiatida ta'sir qiluvchi mexanizmlarni topish va tushuntirishning, ya'ni ushbu mexanizmlar ish yurituvchi qonunlarni keltrib chiqarish va ta'riflashning, hamda inson jamiyati va tabiatning alohida fenomenlari o'rtasida mavjud sababli bog'lanishni o'rganishning uslubiy induktiv usulidir; aniqrog'i shu fenomenlar ustida olib borilgan tizimli kuzatuvlar asosida aniq sonli aniqlashtirishga keltiruvchi usuldir (A. Wagner. Statistik. Bluntschli Brater's Deutsches Staatsworterbuch)».

«Statistika-bu sonlar bilan ifodalangan ixtiyoriy omillar sinfining ta'rifidir (H. C. Adams. Statistics. Johnson's Universal Cyclopaedia)».

«Statistika: 1. Birlik sonda talqin etiladi. Zamonaviy qo'llanishda-obyekt sifatida inson faoliyatining ma'lum bir sohasi, yoki tabiat hodisasi to'g'risidagi sonli omillarni yoki ma'lumotlarni yig'ish va qayta ishlashga ega bo'lgan tadqiqot bo'limi. 3. Ko'p sonda talqin etiladi. To'plangan yoki sinflarga ajratib chiqilgan sonli omil yoki ma'lumotlar (New Oxford Dictionary)».

«Matematik statistika- ilmiy va amaliy xulosalar uchun statistik ma’lumotlarni qayta ishlash va qo’llash, tizimlashtirishning matematik usullariga bag’ishlangan matematikaning bir bo’limidir. Bunda statistik axborotlar deb u yoki bu xususiyatlarga ega bo’lgan obyektlar soni to’g’risidagi keng qamrovli ma’lumotlarga aytiladi (KSE, 2-bosma. T. 26. A.N.Kolmogorov. Matematik statistika)»

«Matematik statistikaning asosiy tushunchasi qandaydir sonli ko’rsatkichning kuzatuvlar majmui yoki tanlovidan iboratdir (Yu.V.Linnik. Eng kichik kvadratlar usuli va kuzatuvlarni qayta ishlash matematik-statistik nazariyasining asoslari)».

«Hozirgi zamonda matematik statistika noaniqlik sharoitlarida qaror qabul qilish nazariyasini o’rganuvchi fan sifatida qabul qilinadi. Matematik statistikaning ushbu ta’rifi uning ko’p yillik rivojlanishi natijasida hosil bo’ldi. Bunday ta’rifning ustunligi shundaki, u aniq va ixcham shaklda statistikaning ilmiy mazmunini bayon etadi(G.Chernov,L.Mozes. Statistik yechimlarning elementar nazariyasi. 1962)».

«Statistikani ayrim paytda o’zgarishlarga uchraydigan kuzatuvlarni sonli qayta ishlash san’ati va fani sifatida talqin etishadi (E. V. Lewis. Statistical Analysis. Ideas and Methods)».

«Ma’lumki, statistika ko’pincha keng qamrovli jarayonlarning qonuniyatlarini o’rganish usullari to’g’risidagi fan sifatida qabul qilinadi. Matematik statistikaga nisbatan bunday umumiy ta’rifni quyidagicha moslashtirish mumkin: matematik statistika bosh majmua xossalari to’g’risida tanlangan majmuani kuzatish asosida xulosa yaratish usullari to’g’risidagi fandir, jumladan kuzatuv to’g’risidagi axborotlar bosh majmuadan tasodifiy tartibda tanlab olinadi. Shunday qilib, matematik statistikaning asosiy vazifasi- kuzatuvlarning natijalarini umumlashtirishga imkon beruvchi usullarni ishlab chiqishdir (Z.Pavlovskiy. Matematik statistikaga kirish)».

Sanab o’tilgan ta’riflarning *umumiy mag’zi* bo’lib, u statistikaga ham tegishlidir va bu mag’iz-quyidagidadir. Biz bitta obyekt yoki obyektlar majmui bo’yicha ma’lum bir kuzatuvlar to’plamiga egamiz. Jumladan *bosh* majmua ichidan kuzatuvlarni tasodifiy tanlash o’rtida kelajakdagi ma’lum davrgacha o’zining kuchini saqlab qoluvchi fundamental taqsimot qonuni berkilgan bo’lib, u kelgusi kuzatuvlarning mezonini va shu kuzatuvlarning kutilayotgan mezonli qiymatlardan chetlashish oralig’ini bashoratlashga imkon beradi.

Agar barcha kuzatuvlar o'zgarmas tashqi sharoitlarda bajarilgan va/yoki omil jihatdan bir xil xossali obyektlar kuzatilgan bo'lsa, masalan ular bir xil sababga ko'ra paydo bo'lgan bo'lsa, biz taqsimot qonuni chastotali usulda baholaymiz va tasdiqlaymiz. Kuzatilayotgan parametrning mavjud oralig'ini bir qator teng bo'laklarga ajratib, har bir bo'lakka nechtadan kuzatuvlar kirganligini hisoblashimiz, ya'ni *gistogramma* qurishimiz mumkin. Ma'lum usullar asosida biz gistogrammadan parametrlarini optimal usulda tanlash mumkin bo'lgan *ehtimolli taqsimot zichligiga* o'tishimiz mumkin.

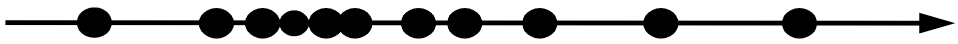
Agar biz taqsimotning u yoki bu qonuni taqsdiqlash uchun yetarli darajadagi kuzaruvlar berilmagan, yoki qat'iyan bir jinsli bo'lmagan obyektlar timsolidagi noaniqlik bilan ish ko'rsak, u holda klassik statistik tanlov mavjud bo'lmaydi.

Ayni vaqtda biz yetarli sondagi kuzatuvlarga ega bo'lmasdan turib ham, ular ortida qandaydir qonunning ifodasini ko'rishimiz mumkin. Biz bu qonunning parametrlarini aniq baholay olmaymiz, lekin shu qonunning ko'rinishi va uning matematik ta'rifiga kiruvchi kalit parametrlarining tarqoqlik oralig'I to'g'risidagi aniq kelishuvga kelishimiz mumkin. Shu yerda kvazistatistika tushunchasini kiritib o'tish joizdir.

Kvazistatistika- aniq parametrli taqsimot qonunini aniqlash uchun yetarli bo'lmagan, lekin kuzatuv qonunini subyektiv darajadagi ishonchlilik bilan ehtimolli yoki boshqa ixtiyoriy shaklda asoslab berishga yetarli deb tan olinuvchi bosh majmua ichidan kuzatuvlarni tanlashdir, jumladan ushbu qonunning parametrlari kuzatuv qonuning aniqliligini qanoatlantirish uchun maxsus qoidalar asosida beriladi[64].

Kvazistatistikaning bunday ta'rifi ehtimolli qonunning kengaygan tushunchasini beradi, bunda u nafaqat chastotali, balki subyektiv-aksiologik ma'noga egadir. Bu yerda klassik ma'nodagi ehtimolni va tajribachi-ekspertning tuzilmaviy faollik xarakteristikasi sifatida talqin etiluvchi ehtimolning sintezlash qirralari kiritilgan.

Shuningdek bu ta'rif nimani tanlovning yetarli hajmi deb tanlash, nimani tanlamaslik bo'yicha tanlovlarning keng maydonini taqdim etadi. Masalan, ekspert qishloq xo'jalik korxonalarining moliyaviy holatini baholashda sohaning har bir korxonasi yagona, ma'lum bir bozor pog'onasini egallashini tushunadi va shuning uchun tanlov yuzlab korxonalarni qamrab olgan taqdirda ham klassik statistika bo'lmaydi. Shunga qaramay, ekspert aniq parametrning tanlovini o'rganishda ko'pgina korxonalarga nisbatan berilgan parametrning qiymati hisoblash oralig'ining ichida guruhlashishining guvohi bo'ladi (3.1.1-rasm). Bu qonuniyat taqsimot qonuni o'rinli ekanligi to'g'risida dalolat beradi va kelgusida tajribachi bu qonuniyatga nisbatan ehtimolli yoki masalan noravshan-to'plamli shaklni qidirishi mumkin.



3.1.1-rasm. Ko'rsatkichlarning qiymatlarning hisoblash oralig'idagi guruhlashuvi

Shu kabi mulohazlarni ekspert birlik korxonaning bitta parametrini vaqt bo'yicha kuzatsa ham olib borish mumkin. Bu holda kuzatuvlar statistik jihatdan bir jinsli bo'lmaydi, chunki vaqt o'tishi bilan firmaning bozor doirasi, xo'jalik sharoiti, ishlab chiqarish omillari uzluksiz o'zgarib boradi. Shunga qaramay, ekspert *yetarlicha* kuzatuvlarni ko'rib chiqib, parametrning bu holati firmaga nisbatan tipik, bunisi esa-juda yomon deb aytishi mumkin. Shunday qilib, ekspert taqsimot qonuni to'g'risida barcha kuzatuvlarni noravshan, lingvistik usulda sinflashtirgan holatda fikr bildiradi, bu esa axborot qarorlarini qabul qilishning muhim omilidir. Taqsimot qonuni hosil qilinib olingan bo'lsa, ekspert kvazistatika bilan ish ko'rgan bo'ladi.

[64] da kiritilgan kvazistatika tushunchasi kuzatuvlarning u yoki bu majmui bo'ysunadigan qonunlarini modellashtirishning noravshan ta'riflarini qo'llash uchun keng maydon ochib beradi Qat'iy qilib aytganda, kvazistikani postulatmasdan turib, ilmiy nuqtai nazardan bir jinsli bo'lmagan va kuzatuv hajmi bilan chegaralangan iqtisodiy jarayonlarni modellashtirib bo'lmaydi.

Noravshan hodisalarning ehtimolli o'lchovlari. $\{R^n, \sigma, P\}$ - **ehtimolli** fazo bo'lib, bunda R-n o'lchovli haqiqiy vektorlar fazosi; σ - R^n dagi borel to'plamlar maydoni; P – R^n dagi ehtimolli o'lchovdir .

R^n dagi noravshan tasodifiy A hodisa tegishlilik funksiyasi $x \in X$ da Borelga ko'ra $\mu_A(x) \in \{R^n \to [0,1]\}$ bo'lgan noravshan to'plamdir. A noravshan tasodifiy hodisaning ehtimoli μ_A tegishlilik funksiyasining matematik kutishiga teng bo'lib, Lebeg-Stiltyesning integrali bo'yicha hisoblanadi

$$P[A] = \int_{R^n} \mu_A(x) dP(x) = M[\mu_A].$$

Asosiy amallar tasodifiy hodisalarga nisbatan qo'llanishi mumkin. U holda noravshan tasodifiy holatlarning quyidagi muhim xossalariga ega bo'lamiz:

$$A \subset B \Rightarrow P(A) \leq P(B),$$

$$\overline{A} \Rightarrow P(\overline{A}) = 1 - P(A),$$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B),$$

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(A \cdot B),$$

$$P(\bigcup_{i=1}^{n} A_i) = \sum_{i=1}^{n} P(A_I) - \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} P(A_i \cap A_j) +$$

$$+ \sum_{\substack{i,j,l \\ i \neq j \neq l}} P(A_i \cap A_j \cap A_l) + \ldots + (-1)^n P(\bigcap_{i=1}^{n} A_i),$$

$$P(A_1 + \ldots + A_n) = \sum_{i=1}^{n} P(A_i) - \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} P(A_i \cdot A_j) +$$

$$+ \sum_{\substack{i,j,l \\ i \neq j \neq l}} P(A_i \cdot A_j \cdot A_l) + \ldots + (-1)^n P(A_1 \ldots A_n).$$

A va B $\{R^n, \sigma, P\}$ **dagi ikkita** noravshan hodisalar bo'lsa, A va B – $P(A \cdot B) = P(A)P(B)$ bo'lsa mustaqil noravshan hodisalar bo'ladi. Noravshan hodisada A noravshan hodisaning shartli ehtimoli P(B)>0 shart bajarilganda $P(A|B) = P(A \cdot B)|(P(B))$ Bayes formulasi bo'yicha aniqlanadi. Mustaqil A va B hodisalar sharoitida $P(A|B) = P(A)$ ga ega bo'lamiz.

A va B hodisalarning to'ldiruvchi, kesishma, birlashma amallari $1 - \mu_A, \max\{\mu_A, \mu_B\}, \min\{\mu_A, \mu_B\}, \mu_A + \mu_B, \mu_A \cdot \mu_B$ dan foydalanganliklari tufayli noravshan hodisalar to'ldirish, kesishma va birlashma amallariga nisbatan borel σ-algebrasini tashkil etadilar va $\{R^n, \sigma, P\}$ ehtimolli fazo bilan induksiyalangan noravshan ehtimolli fazoni aniqlash mumkin.

Bu tasodifiy noravshan hodisalarning matematik kutish, dispersiya, boshlang'ich va markaziy momentlar kabi asosiy tavsiflarini aniqlashga imkon beradi.

$$M[A]=\frac{1}{P(A)}\int_{R^n} x\mu_A(x)dP(x),$$
$$\sigma^2[A]=\frac{1}{P(A)}\int_{R^n} [x-M[A]]^2\mu_A(x)dP(x),$$

$$m_v[A]=\frac{1}{P(A)}\int_{R^n} x^v\mu_A(x)dP(x),$$
$$M_v[A]=\frac{1}{P(A)}\int_{R^n} [x-M[A]]^v\mu_A(x)dP(x).$$

Diskret noravshan to'plamlar va tasodifiy hodisalarni ko'zdan kechirish paytida tegishlilik funksiyasi X yoki R^n dan olingan elementlarning diskret to'plamida berilib, integralni mos yig'indi bilan almashtirishga to'g'ri keladi. Noravshan to'la tasodifiy hodisaning uchta asosiy ehtimolli tavsiflari uchun ifodalarni keltirib o'tamiz:

$$P[A_\Theta]=\sum_{j=1}^{n}\mu_j p_j,$$

$$M[A_\Theta]=\frac{\sum_{j=1}^{n}\theta_j\mu_j p_j}{\sum_{j=1}^{n}\mu_j p_j},$$

$$\sigma^2[A_\Theta]=\frac{\sum_{j=1}^{n}[\theta_j-M[A_\Theta]]^2\mu_j p_j}{\sum_{j=1}^{n}\mu_j p_j}.$$

Tashhis qo'yilayotgan obyektlarning joriy holatini turli xil axborot beruvchi omillarning qiymatlarini o'lchash yordamida aniqlash masalasi murakkab tizimlarni boshqarish va bashoratlash modellarda sezilarli o'rinni egallaydi. Aniqlashtirish natijasiga o'lchovning aniqlik darajasi katta ta'sir ko'rsatadi. Bir tomondan- komil holatlarning har bir axborotlashtiruvchi omilga nisbatan mavjud qiymatlarning tarqoqligi, boshqa tomondan esa- joriy o'lchovlarning noaniqligi bilan bog'liq noravshanlik ko'rsatilgan turdagi masalalarni yechishda noravshan to'plamlar nazariyasi apparitini qo'llashga zamin yaratadi [62,63,65,78].

O'lchov xatoliklari ortishi bilan komil holatlarning va joriy holatga tegishli har bir omilning qiymati sezilarli darajada mavhumlashadi. Demak tizimni to'liq ravishda aniqlab bo'lmaydi. Lekin izlanishlar natijalarining ishonchliligini musbat va manfiy xatoliklarni muvozanatlash hisobiga o'lchov natijalaridagi xatoliklarning aniqligini oshirish va doimiyligini ta'minlash orqali sezilarli darajada ortirish mumkin [4-7].

$w=(w_1,w_2,...,w_m)$ - obyektning komil kritik holatlar to'plami. Har bir kritik holat $w_i, i=\overline{1,m}$ axborotlashtiruvchi omillarning qiymatlari $w_{ij}, j\in I_i \subset \{1,2,...,n\}$ bilan xarakterlanadi. Umumiy holatda bu qiymatlar mos axborotlashtiruvchi omilning qiymatiga qo'yilgan noravshan cheklanishlar bilan beriladi. U holda har bir kritik holat $w_i, i=\overline{1,m}$ noravshan sonlar vektori

$$\tilde{w}_i=(\tilde{w}_{ij}, j\in I_i),$$

Ko'rinishida tasvirlanadi, bunda $\tilde{w}_{ij}, j\in I_i$, -i-kritik holatga nisbatan j-axborot omilining noravshan oralig'ini akslantiruvchi noravshan son.

$L=\{L|L:[0,1]\to E\}$ - monoton kamaymaydigan, $R=\{R|R:[0,1\}\to E\}$ - monoton o'smaydigan, chap tomondan uzluksiz funksiyalar sinfi bo'lsin, bu yerda $\forall\alpha\in(0,1],\forall L\in L: L(\alpha)>-\infty,\forall R\in R: R(\alpha)<\infty$, shuningdek $L(0)=-\infty, R(0)=\infty$.

A noravshan son E sonlar o'qining qavariq noravshan qism to'plami sifatida aniqlanib, quyidagi LR-ifoda ko'rinishida tasvirlanishi mumkin:

$$A=\bigcup_{\alpha\in(0,1]}(\alpha, A^\alpha),$$

Bu yerda

$$A^\alpha=[L_A(\alpha),R_A(\alpha)]=\{t\in E|\ L_A(\alpha)\le t\le R_A(\alpha)\}.$$

Kelgusida ko'rilayotgan noravshan sonlarning barchasi normal deb olinadi, ya'ni $A^l\neq\Theta$.

Berilgan vaqt oralig'ida $(t-\Delta t,t)$ tizimning axborot omillari ko'rsatkichlarining qiymatlari o'lchansin $(t-\Delta t,t)$ oraliqning uzunligi va o'lchovlarning qadami ko'rilayotgan tizimning dinamikasidan kelib chiqqan holda aniqlanadilar [4]. Xatoliklarni iterasion muvozanatlash algoritmlarini qo'llash yordamida axborot omillarning o'rtacha baholashlari hisoblab topiladi [4,5]. Ushbu baholashlarning qiymati $\bar{x}=(\bar{x}_1,...,\bar{x}_n)$ bo'lsin. Bu qiymatlar ma'lum bir xatolik bilan o'lchanganligi tufayli, ularni ham noravshan son sifatida qabul qilish mumkin.

Savol tug'iladi: obyekt $w_i, i = \overline{1,m}$ kritik holatlarning birontasida joylashib qolmaganmi? Bironta ham kritik holatda joylashmasa, u holda uning holati normal deb olinadi. Shuningdek tizimning holatini bir zumda aniqlashga imkon beruvchi xatolikning maksimal darajasi qanday? Degan savolga ham javob berishga to'g'ri keladi.

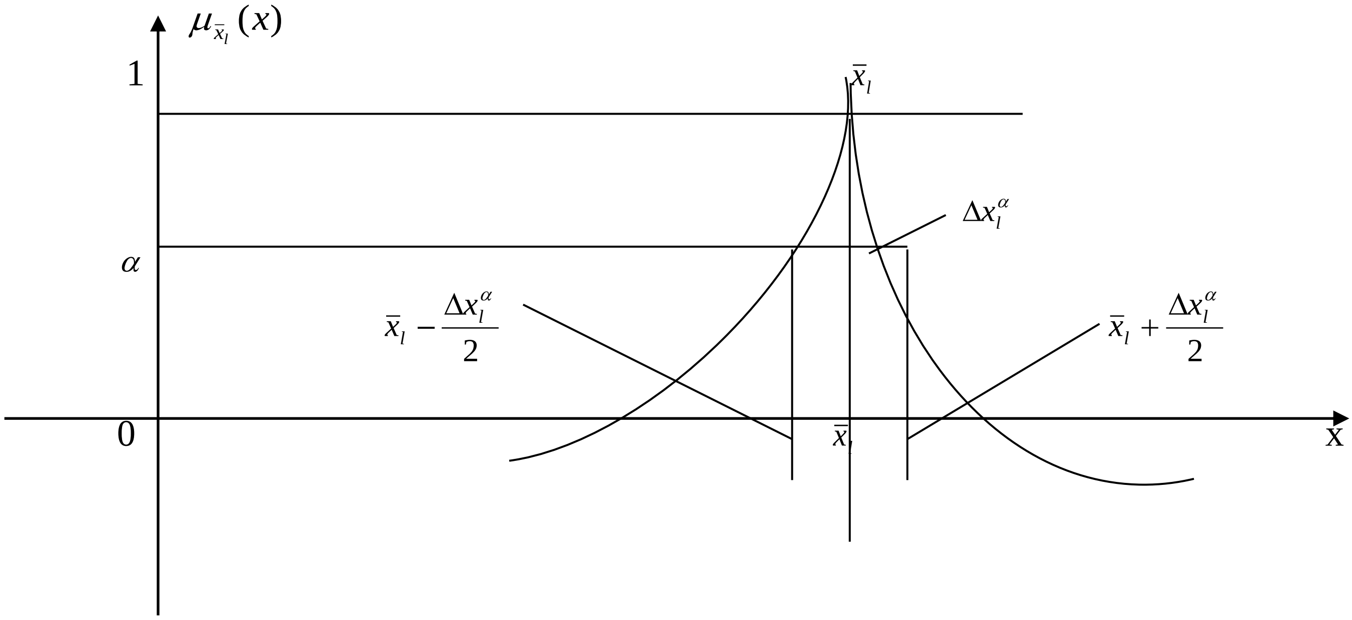
Tegishlilik funskiyalarining shakllanishi va aniqlashtirilish masalasi

Omillarning aniq o'lchanmagan qiymatlar uchun tegishlilik funksiyalarini qurish, ushbu qiymatning har bir kritik holatning mos komponentiga kirishining noravshan munosabatini qurish usullarini, hamda tizim holatining aniqlashtirilish sharoiti bilan bog'liq masalalarni ko'rib chiqamiz.

Mavjud qiymatlarning noravshan oraliqlari kritik holatning har bir omiliga nisbatan avvaldan ma'lum deb olamiz. Ular ekspert tomonidan berilishi yoki statistik yoki boshqa tajribalarning baholari yordamida, xususisan [4,5,8] da taklif etilgan apparat yordamida hosil qilinib olinishi mumkin.

Noravshan qiymatni joriy holatning axborot omiliga nisbatan o'rta qiymatlarni baholash orqali hosil qilib olish uslubiyatini ko'rib chiqamiz.

α darajali o'lchov aniqligida mavjud l qiymatlarga nisbatan $x = (x_1,...,x_n)$ axborotlashtiruvchi omillarning x_l vektor komponentalarini Δx_l^{α} bilan belgilaymiz. $\alpha = 1$ darajali o'lchov aniqligida mavjud xatolik nolga teng ya'ni $\Delta x_l^1 = 0$ bo'lsin. O'lchov aniqlik darajasining kamayishi bilan Δx_l^{α} xatolikning ortishi simmetrik bo'lsin. U holda $\overline{x}_l$ o'lchangan bahoga mos noravshan son simmetrik shaklda bo'ladi (3.1.1-rasm).



3.1.1-rasm. α aniqlik darajasida o'rta qiymat $\bar{x}_l$ ni baholash asosida $\tilde{x}_l$ omil noravshan qiymatining hosil bo'lishi

Bunday noravshan son quyidagi dekompozitsion ko'rinishga egadir:

$$\tilde{x}_l = \bigcup_{\alpha \in (0,1)} (\alpha, \tilde{x}_l^\alpha),$$

bu yerda $\tilde{x}_l^\alpha - \alpha$ -darajali to'plam bo'lib, u quyidagicha aniqlanadi

$$\tilde{x}_l^\alpha = [L_{\tilde{x}_l}(\alpha), R_{\tilde{x}_l}(\alpha)] = \left[\bar{x}_l - \frac{\Delta x_l^\alpha}{2}, \bar{x}_l + \frac{\Delta x_l^\alpha}{2}\right].$$

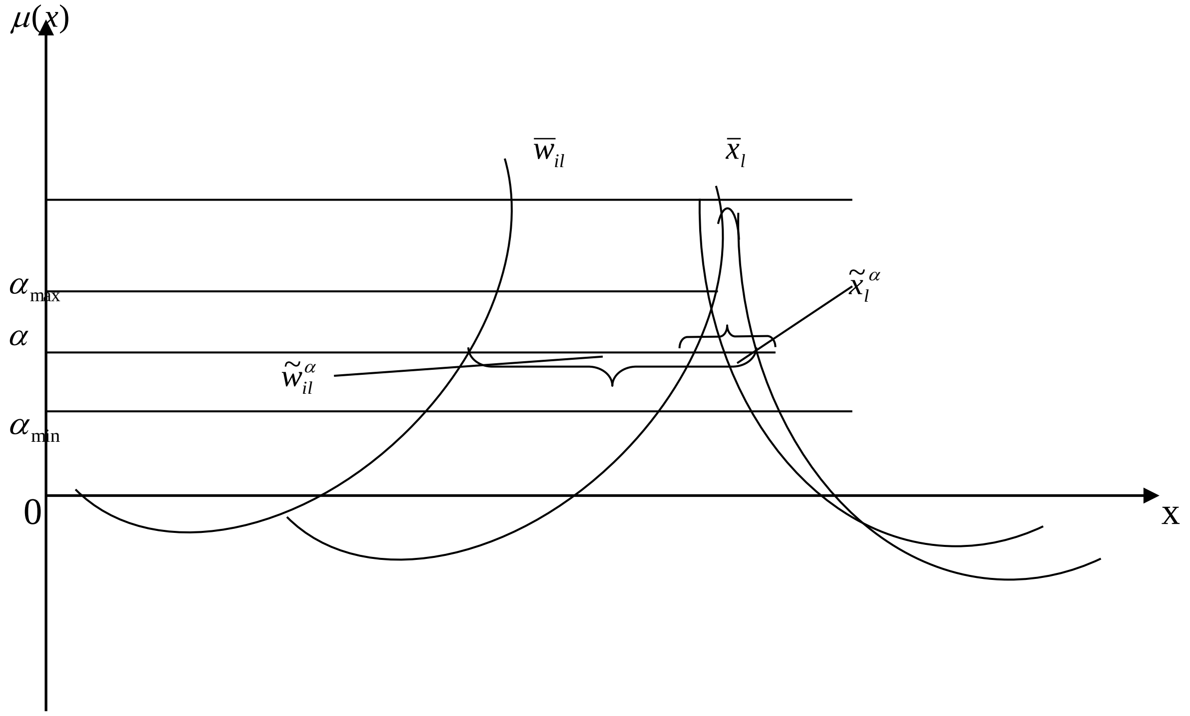
Endilikda $\tilde{x}$ noravshan holatning barcha axborot omillarining qiymatlarini hisobga olgan holda $\tilde{w}$ noravshan kritik oraliqqa kirganlik darajasini aniqlashning mexanizmini ko'rib chiqamiz.

$$\|A\| = \max_{x,y \in A} |x - y| \tag{3.1.1}$$

belgilash kiritamiz, bu yerda A- ixtiyoriy to'plam, $|x-y|$ - x,y nuqtalar orasidagi masofa. расстояние между точками x,y. α ning belgilangan qiymatida $\tilde{x}_l \subset \tilde{w}_{il}, l \in I_i$ munosabat bajarilishining noravshan darajasini (3.1.2-rasm)

$$\mu_{\tilde{x}_l \subset \tilde{w}_{il}}(\alpha) = \frac{\left\|\tilde{w}_{il}^\alpha \cap \tilde{x}_l^\alpha\right\|}{\left\|\tilde{x}_l^\alpha\right\|}, l \in I_i \tag{3.1.2}$$

sifatida aniqlash mumkin



3.1.2-rasm. $\mu_{\bar{x}_l} \subset \overline{w}_{il}(\alpha)$ munosabatning bajarilish darajasini aniqlash

Bu yerda $\tilde{w}_{il}^{\alpha}$ va $\tilde{x}_l^{\alpha}$- $\tilde{w}_{il}$ va $\tilde{x}_l$ noravshan sonlarning sodda α-darajali to'plamlar. U holda $\tilde{z} \subset \tilde{w}_i$ ning vektorial tarzda bajarilishini $\mu_{\bar{x} \subset \bar{w}_{\alpha}} = \min\{\mu_{\bar{x}_l \subset \bar{w}_{il}}(\alpha) | \ l \in I_i\}$ (3.1.3) ko'rinishda ifodalash mumkin.

3.1.2-rasmdan ko'rinib turibdiki, aniq $l \in I_i$ ga nisbatan $\alpha > \alpha_{max}$ da $\tilde{x}_l^{\alpha} \subset \tilde{w}_{il}^{\alpha}$ munosabat bajarilmaydi, $\alpha < \alpha_{min}$ da esa bajariladi. Lekin $\alpha \in [\alpha_{min}, \alpha_{max}]$ qiymatlarga nisbatan $\tilde{x}_l^{\varepsilon} \subset \tilde{w}_{il}^{\alpha}$ munosabat (3.1.2) dagi kabi qisman bajariladi. [63] ga ko'ra $\tilde{x}_l \subset \tilde{w}_{il}$ munosabat bajarilish darajasining nuqtaviy qiymati sifatida

$$\mu_{\tilde{w}_{il}}(\tilde{x}_l) = \int_{\alpha_{min}}^{\alpha_{max}} \mu_{\tilde{x}_l \subset \tilde{w}_{il}}(\alpha) p(\alpha) d\alpha \qquad (3.1.4)$$

formula bo'yicha o'rtacha ko'rinishga keltirilgan qiymatni qabul qilish mumkin, bu yerda $p(\alpha) \geq 0, \alpha \in [\alpha_{min}, \alpha_{max}]$ - quyidagi xossani qanoatlantiruvchi darajalar ahamiyatining taqsimlanish zichligi funksiyasi

$$\int_{\alpha_{min}}^{\alpha_{max}} p(\alpha) d\alpha = 1.$$

Xususan $p(\alpha) = \dfrac{1}{\alpha_{max} - \alpha_{min}}$ deb olinishi mumkin.

$p(\alpha)$ ni ushbu usulda ifodalash imkoni o'lchov aniqligi darajalarining bir xil imkoniyatda ekanligini anglatadi.

Tizimning holatini bir nechta axborot omillari majmui yordamida aniqlash masalasini ko'rib chiqamiz. Tizimning holatini aniqlashda har xil omillar turli xil ta'sir darajalariga ega bo'lishlari mumkin bo'lsin. Har bir axborot omilining ta'sir darajasi og'irlik koeffitsiyentlari yordamida hisobga olinishi mumkin. Ularni aniqlashning har xil usullari mavjud [65,92,140,141]. Quyida alohida axborot omillarning ta'sir koeffitsiyentini aniqlash maqsadida omillarning ahamiyatini juft-juftlab solishtirish mexanizmi qo'llaniladi. Har xil komil holatlarni aniqlashda bitta axborot omili turli xil ahamiyatlarga ega bo'lishi mumkinligi tufayli umumiy holda alohida olingan omil har xil kritik holatlarga nisbatan har xil og'irlik darajasida bo'lishlari mumkin. Aniq l omil bo'yicha $\mu_{\tilde{w}_{il}}(\tilde{x}_l)$ qiymat, ya'ni $\tilde{x}_l$ noravshan qiymatning $\tilde{w}_{il}$ noravshan oraliqqa tegishlilik darajasi (3.1.4) kabi aniqlanadi. U holda joriy holat $\tilde{x} = (\tilde{x}_1,...,\tilde{x}_n)$ ning $\tilde{w}_i, i = \overline{1,m}$ kritikka tegishlilik darajasini

$$\mu_{\tilde{w}_i}(\tilde{x}) = \min_{l \in I_i} \mu_{\tilde{w}_{il}}(\tilde{x}_l), \tag{3.1.5}$$

$$\mu_{\tilde{w}_i}(\tilde{x}) = \prod_{l \in I_i} \mu_{\tilde{w}_{il}}^{\alpha_{il}}(\tilde{x}_l), \tag{3.1.6}$$

yoki

$$\mu_{\tilde{w}_i}(\tilde{x}) = \sum_{i \in I_i} \alpha_{il} \mu_{\tilde{w}_{il}}(\tilde{x}_l), \tag{3.1.7}$$

kabi aniqlash mumkin, bu yerda $\alpha_{il} \ge 0, i = \overline{1,m}, l \in I_l$ - alohida omillarning quyidagi normallashtirish shartini qanoatlantiruvchi og'irlik koeffitsiyentlari

$$\sum_{l \in I_i} \alpha_{il} = 1, i = \overline{1,m}.$$

(3.1.5) formula noravshan to'plamlar kesishmasining klassik ta'rifi asosida keltirib chiqarilgan, (3.1.6) va (3.1.7) formulalar esa omillarning nisbiy og'irligini hisobga olib, har bir axborot omilining qiymatiga sezgirroqdir. (3.1.5)-(3.1.7) formulalar ichida bittasini tanlash berilgan modelning tuzilishiga bog'liq bo'ladi.

$\alpha_{il}, i = \overline{1,m}, l \in I_l$ og'irlik koeffitsiyentlarini aniqlashda juft-juftlab solishtirish usuli qo'llaniladi [140]. Buning uchun avvalo w_l kritik holatga nisbatan omillarning ahamiyatini juft-juftlab solishtirish matrisasi hosil qilinib olinadi:

$$R_l = \|r_{kj}\|_{k,j \in I_l},$$

bu yerda $r_{kj}, k, j \in I_l, x_k$ axborot omili w_l kritik holatni baholashda x_j axborot omiliga nisbatan necha barobar ahamiyatli ekanligini aniqlaydi. $R_i, i = \overline{1, m}$ matrisani to'ldirish uchun [65,140] da ko'rib chiqilgan munosabatlar shkalasidan foydalanamiz.

Juft-juftlab solishtirish mastrisasi teskari simmetriya xossasiga egadir, ya'ni ixtiyoriy k, j lar uchun $r_{kj} = \dfrac{1}{r_{jk}}$ munosabat bajariladi.

Juft-juftlab solishtirish paytida solishtirilayotgan axborot omillarining qay biri ahamiyatliroq yoki kattaroq ahamiyatga ega degan savolga javob berish kerak.

$\alpha_{il}, i = \overline{1, m}, l \in I_l$ og'irlik koeffitsiyentlari R_i matrisaning normallangan bosh xususiy vektori ko'rinishida ifodalanadilar:

$$R_i \alpha_i = \lambda_{i\max} \alpha_i, i = \overline{1, m},$$

bu yerda $\lambda_{i\max}$ - R_i matrisaning maksimal xususiy qiymati.

Juft-juftlab solishtirishning R_i matrisasini to'ldirishga oid mulohazalarning bir jinsliligi quyidagi formulalar orqali ifodalanuvchi bir jinslilik indeksi (BJI) yoki bir jinslilik munosabati (BJM) yordamida aniqlanadi:

$$BJI = \frac{\lambda_{i\max} - n_i}{n_i - 1}, \quad BJM = \frac{BJI}{M(BJI)},$$

bu yerda n_i - I_i to'plam elementlarining soni, M(BJI) – [140] da olingan tajribaviy ma'lumotlarga asoslanib, tasodifiy ravishda tuzilgan juft-jutlab solishtirish matrisasi bir jinslilik indeksining o'rtacha qiymati (matematik kutish). Chegaraviy qiymat sifatida $BJM \leq 0{,}10$ qabul qilinadi. Agar juft-juftlab solishtirish matrisasiga nisbatan BJM>0,10 munosabat o'rinli bo'lsa, u holda bu matrisani to'ldirishda ekstpert tomonidan yo'l qo'yilgan mulohazalarning mantig'idagi xatolik to'g'risida darak beradi, shuning uchun ekspertga matrisani qurish uchun ishlatilgan ma'lumotlarni qayta ko'rib chiqish taklif etiladi.

Qayd etilgan usulda hisoblab topilgan axborot omillarining ahamiyat koeffitsiyentlari joriy holatning $\tilde{w}_i, i = \overline{1, m}$ kritik holatlarlarning har biriga nisbatan tegishlilik darajasani aniqlash uchun (3.1.6) yoki (3.1.7) mezonlarda qo'llaniladi.

Har bir kritik holatga ta'sir qiluvchi axborot omillarining to'plami aniqlanadi. Har bir kritik holatga nisbatan juft-juftlab solishtirish matrisasi tuziladi va har bir kritik holatga nisbatan har bir axborot omilining nisbiy normallashtirilgan og'irlik koeffitsiyentlari hisoblab topiladi.

Axborot omillarining oxirgi vaqt $(t-\Delta t, t)$ oralig'idagi qiymati aniqlanadi va xatoliklarni iterasion muvozanatlash algoritmlarini [4,5] qo'llash yordamida har bir omilning o'zgarmas o'rta baholari hisoblab topiladi. Ushbu baholashlar asosida tizimning joriy holat axborot omillarining noravshan qiymatlari shakllanadi.

(3.1.5)-(3.1.6) formulalardan birining yordami bilan tizim holatining ma'lum kritik holatlarining har biriga nisbatan tegishlilik darajasi hisoblab topiladi.

Agar bu darajalarning hammasi oldindan berib qo'yilgan ostonaviy qiymatdan ortib ketmasa, tizimning holati hech bir kritik holatga kirmagan, ya'ni normal deb olinadi. Aks holda aniqlashtirilgan kritik holat sifatida kirganlik darajasining maksimal qiymatiga mos kritik holatni qabul qilinadi. Mazkur ishda ko'rilgan murakkab tizimlarning holatini aniqlashga qaratilgan yondashuv va o'lchov xatoligining darajasini aniqlash- noaniq axborot sharoitida masalani yechishning mavjud usullaridan biridir. Mavjud statistik usul bilan birgalikda u tizimning holatini har tomonlama va kafolatli baholashda va yanada asoslangan qarorlarni qabul qilishda ishlatilishi mumkin.

Noravshan axborot sharoitida mavjud xatolikni baholovchi nochiziqli regresion modellar

Iqtisodiy-statistik modellashtirishning asosiy muammolardan biri o'zgaruvchilar o'rtasidagi sababli bog'lanishlarni aniqlashga imkon beruvchi modellarni qurishdir. Binday modellar mustaqil o'zgaruvchilarning nomustaqilga ko'rsatadigan miqdoriy ta'sirini aniqlashga qaratilgandir [3,153]. Bu masalani yechish ancha qiyindir. Modellashtirish natijalarining haqiqatda o'rinli bo'lgan munosabatlarga nomutanosibligi bir qator sabablar, xususan regression tahlilga oid asosiy qoidalarning buzilishi tufayli kelib chiqadi. Ko'pincha ular multikolenniarlik hisobiga buziladilar [31,81]. Bunday holat katta dispersiyali parametrlarni baholashga olib keladi, bu esa ko'pgina hollarda ularni masalan noto'g'ri ishoralar hisobiga mazmunli tarzda qo'llashga imkon bermaydi. Aprior axborotdan foydalanish- yuqorida qayd etilgan regression modellar turini qurishning kuchli vositasidir. U xususan parametrlarni baholashda multikollinearlikning ta'sirini kamaytiradi. Lekin aprior axborotni shakllantirish uning noaniqligi hisobiga har doim ham oson bo'lavermaydi. Bu masalani yechishning mavjud usullaridan biri quyida ko'rib chiqilgan [56,60].

Obyekt

$$\overline{Y} = f_j(\overline{x}, \overline{b}) + \overline{F}, \qquad (3.1.8)$$

tenglama bilan ta'riflansin, bu yerda $\overline{Y}$ - sharxlanuvchi o'zgaruvchi;

$\overline{x}$ - boshqariluvchi omillar;

$\overline{b}$ - barcha raqobatlashuvchi modellarga nisbatan parametrlarning taxminiy baholari.

y= $f_j(\overline{x}, \overline{b})$ noma'lum funksiyaning raqobatlashuvchi tuzilmalaridan qay biri o'rganilayotgan obyektni ta'riflash uchun mos ekanligini aniqlash talab qilinadi. Raqobatlashuvchi modellarning tuzilmalari $\overline{Y}$ va $\overline{x}$ mustaqil omillarning majmui o'rtasidagi funksional bog'lanishlarni aniqlaydi [95].

Regressiya parametrlari to'g'risidagi aprior axborot tengsizliklar majmuidan iborat bo'lsin. Kelgusida quyidagi parametrlarning m-o'lchovli $\overline{b}$ vektorlarga nisbatan cheklanishlarni kuzatamiz

$$h_i(\overline{b}) \le a_i. \qquad (3.1.9)$$

Bu yerda $a_i \in R^1$.

Agar a_i aniq darajada ma'lum bo'lsa, bunday cheklanishni ravshan deb ataymiz. Ko'pincha a_i to'g'risidagi "tarqoq"-noravshan axborot berilgan bo'ladi xolos. Noravshan aprior axborotni shakllantirishga imkon beruvchi matematik apparat sifatida maqolada noravshan to'plamlar nazariyasi olinadi. Bunda, parametrlarning qiymatlar to'plamini berishdan tashqari, modelga shu noravshan to'plamlarning tegishlilik funksiyasi ko'rinishidagi qo'shimcha axborot biriktiriladi. Bu funksiyalarni ekstpert tomonidan berilgan parametrning haqiqiy o'lchovi to'g'risidagi shakllanmagan tasvirini agregat ko'rinishda taxminiy akslantirish usuli sifatida qabul qilish mumkin.

Endilikda masalani quyidagicha bayon etish mumkin: $\overline{F} = \overline{Y} - f_j(\overline{x}, \overline{b})$ maqsad funksiyasi (qoldiqlar kvadratlarining yig'indisi) minimallashadigan $\overline{b^*}$ topilsin:

$$\overline{S} = \overline{F}' \, \overline{F} \to \min. \qquad (3.1.10)$$

Bunday turdagi masalani parametrlar bo'yicha nochiziqli bo'lgan to'plam-qiymatli parametrlardan tashkil topgan modellarda parametrlarning baholanishlarini aniqlash masalasi deb nomlash mumkin. Bunday masalaning doirasida maqsad funksiyasini minimallashtirish to'g'risida gapirish ma'nosizdir, chunki bunday funksiyaning qiymatlari- sonlar emas, sonlar to'plamidir.

(3.1.10) masalasi parametrlar jihatidan nochiziqli modellarda parametrlarning bahosini aniqlashning quyidagi masalasi $F = Y - f_j(x,b)$ da maqsad funksiyasi minimallashadigan b^* ni topishga keltiriladi:

$$S = F^{'}F \to \min \qquad (3.1.11)$$

(3.1.11) da Y, x, b larning qiymatlari noravshan qism to'plamlar shaklida tasvirlangan, ya'ni $\mu^k(Y), \eta^k(x)$ va $\nu^k(b)$ tegishlilik va quyidagi to'plamlar funksiyalari berilgan:

$$Y = \sum_{k=1}^{q} \overline{Y^k}\,\mu^k \Big/ \sum_{r=1}^{q} \mu^r, \;\; x = \sum_{k=1}^{q} \overline{x^k}\,\eta^k \Big/ \sum_{r=1}^{q} \eta^r, \;\; b = \sum_{k=1}^{q} \overline{b^k}\,\nu^k \Big/ \sum_{r=1}^{q} \nu^r.$$

B_i- bilan (3.1.9) ni qanoatlantiruvchi b_i qiymatlar to'plamini belgilaymiz. b_i lar noravshan ko'rinishda berilganligi hisobiga B_i noravshan to'plam bo'ladi. Uning tegishlilik funksiyasi $\eta^k(b)$.

Shunday qilib,

$$B_i = \{b, \nu^k(b), b \in R^m\}.$$

$\nu^k(b)$ ni aniqlaymiz. (3.1.9) cheklanishni

$$h_i \le a_i, \qquad (3.1.12)$$

ko'rinishda yozib olamiz, bu yerda

$$h_i = h_i(b). \qquad (3.1.13)$$

(3.1.12) orqali berilgan w akslantirish

$$\nu_w(a_i, h_i) = \begin{cases} 1, h_i \le a_i \\ 0, h_i > a_i \end{cases} \qquad (3.1.14)$$

bilan ifodalanadi.

a_i-noravshan A_i noravshan to'plamning elementi bo'lganligi tufayli h_i A_i ning w akslantirishdagi obrazi bo'lgan H_i noravshan to'plamga tegishli bo'ladi. [73, 54-bet] ga ko'ra A_i to'plam va uning H_i obrazining tegishlilik funksiyalari quyidagi munosabat orqali bog'langardirlar:

$$\nu_{H_i}(h_i) = \max_{a_i \in R^1} \min\{\nu_{A_i}(a_i), \nu_w(a_i, h_i)\}. \qquad (3.1.15)$$

(3.1.14) dagi $\nu_w(a_i, h_i)$ ni (3.1.15) ga qo'yib

$$\nu_{H_i}(h_i) = \max_{a_i \in R^1}\{\nu_{A_i}(a_i) : a_i \ge h_i\} \qquad (3.1.16)$$

ga ega bo'lamiz.

$h_i = h_i(b)$ funskiya uchun B_i to'plam H_i ning proobrazidir.

Bu yerdan [73, 58-bet] ga ko'ra

$$\nu_{B_i}(b) = \nu_{H_i}(h_i(b)) \qquad (3.1.17)$$

ga ega bo'lamiz.

(3.1.13) ni (3.1.16) ga, so'ngra (3.1.16) ni (3.1.17) ga qo'yib

$$\nu_{B_i}(b) = \max_{a_i \in R^1}\{\nu_{A_i}(a_i) : h_i \le a_i\}, b \in R^m \qquad (3.1.18)$$

ga ega bo'lamiz.

(3.1.18) ning $\nu_{A_i}(a_i)$ ga nisbatan yechimi

$$\nu_{B_i}(b) = \exp(-\frac{k_i}{2}[\max(0, h_i - a_i^*)]^2) \qquad (3.1.19)$$

bo'ladi.

Noravshan tarzda berilgan o'ng qismli n cheklanishlar-tengsizliklar berilgan bo'lsin. Regressiya parametrlarning baholar to'plami $B_i, i = 1,...,n$ noravshan to'plamlarning kesishmasidir

$$B = B_1 \cap B_2 \cap ... \cap B_n. \qquad (3.1.20)$$

Umumiy holda ushbu qism to'plamning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$\nu_B(b) = \prod_{i=1}^{n} \nu_{B_i}(b). \qquad (3.1.21)$$

(3.1.19) va (3.1.21) dan

$$\nu_B(b) = \exp(-\Phi(b)) \qquad (3.1.22)$$

ga ega bo'lamiz, bu yerda

$$\Phi(b) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} k_i[\max(0, h_i - a_i^*)]^2.$$

Biz quyidagi tasdiqni isbotladik: n ta (3.1.9) cheklanish-tengsizliklar berilgan bo'lsin, bu yerda nochiziqli parametrlar noravshan qism to'plamlar ko'rinishida noravshan ta'riflanganlar. U holda regressiya parametrlarining noravshan baholar to'plami (3.1.22) tegishlilik funskiyasiga egadir.

Belgilangan r uchun algoritmga asoslanib b(r) ni aniqlaymiz:

$$b_{k+1} = b_k + \gamma_k d_k, \qquad k = 0,1,2,..., \qquad b_0 = b(0), \qquad (3.1.23)$$

$$d_k = -R^{-1}(b_k)\nabla F(b_k). \qquad (3.1.24)$$

Bu yerda b_k - b(r) ga k-yaqinlashish , $R = \sum_{t=1}^{T} x_t x_t^{'}$ - berk matrisa,

$$F(b) = S(b) + r\Phi(b),$$

$$S(b) = \frac{1}{2}(Y - Xb)'(Y - Xb) = \frac{1}{2}b'Rb - b'X'Y' + \frac{1}{2}Y'Y.$$

(3.1.23) da γ_k qadam ko'phadi

$$F(b_k + \gamma_k d_k) = \min_{\gamma>0} F(b_k + \gamma d_k) \qquad (3.1.25)$$

shartga ko'ra topiladi.

γ_k ni aniqlash algoritmini ko'rib chiqamiz. R-berk matrisa bo'lganligi hisobiga, $\Psi(\gamma) = F(b_k + \gamma d_k)$ - funksiya qat'iy qavariq. Shuning uchun (3.1.25) yechim yagonadir. $\gamma_k = 0$ trivial holni tashlab yuborib, γ_k -

$$d\Psi(\gamma)/d\gamma = d_k^{'}Rb_k + d_k^1 Rd_k\gamma - d_k^{'}X'Y -$$
$$- r\sum_{i=1}^{m} \max(0, c_0(i) - c_i(i)\gamma)c_i(i)\gamma)c_i(i) = 0 \qquad (3.1.26)$$

tenglamaning yechimi ekanligiga guvoh bo'lamiz, bu yerda $c_0(i) = b_i^{'}\alpha_k - b_i^*, c_i(i) = -b_i^{'}d_k$.

(3.1.26) yechim yagonadir. Uni iterativ tarzda topamiz, bunda (3.1.26) dagi oxirgi qo'shiluvchi-bo'lakli-chiziqli funskiya ekanligi bizga qo'l keladi. $\Omega = \{i : c_0(i)c_i(i) > 0; c_0(i) = 0, c_i(i) < 0, i \in I\}$ orqali cheklanishlarning γ o'zgarishi bilan o'zining ishorasini almashtiruvchi indekslari to'plamini belgilaymiz. $\bar{\gamma}(i) = c_0(i)/c_i(i), i \in \Omega$ bo'lsin. $\bar{\gamma}(i)$ ni o'sish tartibida joylashtirib, $\{\bar{\gamma}(i_l)\}, l = 0,1,...,$ ketma-ketlikni hosil qilamiz, bu yerda $\bar{\gamma}(i_0) = 0$. $\gamma \in [\bar{\gamma}(i_{l-1}), \bar{\gamma}(i_l)]$ da cheklanishlarning $b_i^{'}(\alpha_k + \gamma d_k) - a_i^* > 0$ munosabat o'rinli bo'lgan indekslari γ ga bog'liq bo'lmaydi. Bundan tashqari, (3.1.26) yechimning yagonaligi hisobiga, $\gamma_k \in [\bar{\gamma}(i_{N-1}), \bar{\gamma}(i_N)]$ shartni qanoatlantiruvchi N indeks mavjud bo'ladi. Bu yerda (3.1.26) dan γ_k ni topish algoritmini hosil qilib olamiz.

1. l=1 deb olinadi.

$$U_1 = d_k^{'}Rd_k + r\sum_{i\in I(\alpha_k)} k_i c_1^2(i),$$

$$V_1 = d_k^{'}(X'Y - R\alpha_k) + r\sum_{i\in I(\alpha_k)} k_i c_0(i)c_1(i) .$$

2. $\gamma^*(l) = V_l / U_l$ hisoblanadi.

3. Agar $\bar{\gamma}(i_{l-1}) \le \gamma^*(l) \le \gamma(i_l)$ bo'lsa, u holda $\gamma_k = \gamma^*(l)$.

Aks holda l=l+1 deb olib

$$U_l = U_{l-1} + \theta(i_{l-1}) r \overline{\overline{K}}_{i_{l-1}} c_1^2(i_l) ,$$

$$V_l = V_{l-1} + \theta(i_{l-1}) r \overline{\overline{K}}_{i_{l-1}} c_0(i_{l-1}) c_1(i_{l-1}), i_l \in \Omega$$

ni hisoblaymiz, bu yerda $\theta(i_l) = -sign c_1(i_l)$; i_l indekslar $\{\bar{\gamma}(i_l)\}$ ketma-ketlikdagi indekslarning ortirishi bilan o'sib boradi. 2 bosqichga o'tiladi. b(r) baho ham chekli sondagi qadamlarda aniqlanadi. Aytilganlarga xulosa qilib regressiya parametrlarining bahosini hisoblashning quyidagi ketma-ketligini taklif etish mumkin. r_a va r_b lar aniqlanadi. So'ngra r^* hisoblanadi. r^* ni hisoblash uchun b(r) larni hisoblash zarur.

Ta'riflangan prosedura $a_i^*, i \in I$ qiymatlarda amalga oshiriladi. Larni alamshtirib, har xil L kesmalarga ega bo'lamiz.

Aytilganlardan ko'rinib turibdiki, noravshan aprior axborotga ega bo'lganda baholashlarni aniqlash usuli kompyuterda muloqot sifatida amalga oshiriladi.

3.2.Statistik modelning parametrlarini noravshan muhitda baholash

Agar noravshan axborot berilgan bo'lsa, u holda tadqiqotchi b parametrlarning S(b) ni minimallashtirish bilan bir qatorda uning mavjud B to'plamga tegishlilik darajasi maksimal ya'ni:

$$S(b) \to \min, \nu_B(b) \to \max \qquad (3.2.1)$$

bo'ladigan bahoni topish kerak.

2 lemmaga ko'ra [80] $\nu_B(b)$ ning musbatligi hisobiga (3.2.15) dagi ikkinchi mezonni $\ln \nu_B(b)$ bilan almashtirish mumkin.

Shunday qilib (3.2.1)

$$S(b) \to \min, \Psi(b) \to \min \qquad (3.2.2)$$

masalaga ekvivalentdir.

Bunday masalaning afzal yechimlari (3.2.2) dagi bitta mezonni orttirmasdan turib, boshqa mezon bo’yicha yaxshilab bo’lmaydigan yechimlar hisoblanadi. Bunday yechimlar Pareto bo’yicha muqobil deyiladi.

$\Psi(t)$ funksiya qavariqdir. Agar S(b) funksiya qavariq bo’lsa, bunday holatda Pareto bo’yicha muqobil yechimlar masalaning yechimi bo’ladi [26,74] :

$$L(b) = S(b) + r\Psi(b) \to \min . \qquad (3.2.3)$$

Parametrlar jihatidan nochiziqli modellarda noravshan parametrlarning bahosini aniqlashtirib bo’lgandan so’ng, eng yaxshi regression model tanlanadi.

Agar $[T_H, T_B]$ ishonch oralig’idagi λ_{ij} bahoga +1 va -1 nuqta kirib, 0 nuqta kirmasa, solishtirilayotgan juftlikdagi j- yoki i-model obyektni qolgan raqobatlashuvchilarga nisbatan yaxshiroq tasvirlashi to’g’risidagi gipotezani qabul qilish darkor. Ikkita modelni (m=2)solishtirish paytida izlanish tugaydi, chunki eng yaxshi regression model topilgan bo’ladi. m>2 ta modelni solishtirishda izlanish I yoki j juftlikning ichida eng yaxshi modelni tanlash bilan tugatila olmaydi. Lekin modellar o’rtasidagi sezilarli farq I va j juftliklarning yomonini no’rin model sifatida tashlab yuborish imkonini beradi.

Agar $[T_H, T_B]$ishonch intervalidagi λ_{ij} bahoga 0 nuqta kirib, +1 va -1 nuqtalar kirmay qolsa, u holda modellar o’rtasidagi sezilarli farq to’g’risidagi gipotezalar o’z ma’nosini yo’qotadi. O’rganilayotgan obyekt ta’rifining sifati jihatidan i- va j-modellar o’rtasidagi farqning kichikligi to’g’risidagi gipotezani qabul qilish darkor. Ikkita modelni (m=2) solishtirish paytida tadqiqotni yakunlash mumkin. Tadqiqotchi solishtirilayotgan modellarning ixtiyoriy biridan foydalanishi, ya’ni soddalik yoki qulaylik jihatidan eng qulayini tanlashi mumkin. M>2 ta modelni solishtirish paytida tadqiqot raqobatlashuvchi modellar o’rtasidagi farqning kichikligi to’g’risidagi gipotezalar xato modellarni tashlab yuborgandan so’ng qolgab barcha modellar juftligiga nisbatan ham o’rinli bo’lsagina tugatiladi.

Agar $[T_H, T_B]$ ishonch oralig’iga bir vaqtning o’zida 1; 0; +,- nuqtalardan aqalli ikkitasi kirib qolsa raqobatlashuvchi modellar o’rtasidagi sezilarli farq, farqlarning kichikligi to’g’risidagi gipotezalarni yo’qotish kerak. Natija tanlovning yaqqolligi yakuniy qarorni qabul qilish uchun yetarli emasligi to’g’risida dalolat beradi.

Tadqiqotni boshlang’ich tanlovni optimal tarzda kengaytirish orqali davom ettirish darkor [1,57,95].

Agar hisob natijalarini qayta ishlab bo’lgandan so’ng sezilarli farqni ham, farqlarning kichik ekanligini ham bashorat tarzida aytib bo’lmaydigan ko’pi bilan ikkita raqobatlashuvchi model mavjud bo’lsa, qo’shimcha hisoblashlar olib borishga to’g’ri keladi.

Hisoblashlar mavjud sohada barcha raqobatlashuvchi modellar tomonidan bir xil darajada ta’riflanish ehtimoli kichik bo’lgan, ya’ni modellarning farqi to’g’risida maksimum axborotga ega bo’lgan nuqtani tanlash maqsadida olib boriladi. Mavjud sohaning chegarasi boshqariluvchi omillarning o’zgarish oraliqlari bilan aniqlanadi.

Qo’yilgan maqsadga quyidagi funksiyani maksimallashtirish yo’li bilan erishilishi mumkin

$$D = \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{m} W_{ij} \left\{ \frac{[f_i(\bar{x}_T, \bar{b}_i) - f_j(\bar{x}_T, \bar{b}_j)]^2 + \sigma_y^2 + \hat{\sigma}_i^2}{\sigma_y^2 + \hat{\sigma}_j^2} - 1 \right\}, \qquad (3.2.4)$$

bu yerda

$$W_{ij} = (\hat{\lambda}_{ij} + 1)/2,$$

$$\tilde{\lambda}_{ij} = sign\hat{\lambda}_{ij} \cdot [\inf(1, |\hat{\lambda}_{ij}|)],$$

$$\hat{\sigma}_i^2 = \sigma_y^2 \bar{z}^T C_i^{-1} \bar{z},$$

T – transponerlash ishorasi;

$\bar{Z}$ - $\bar{x}_T$ nuqtaga mo’ljalangan i-modelning chiziqlashtirilgan o’zgaruvchilar vektori;

(3.2.4) funksiya $\bar{x}_T$ qo’shimcha nuqta koordinatalarining qiymatlari bo’yicha maksimallashtiriladi. максимизируется по значениям координат добавочной точки. U $\bar{x}_T$ koordinatali nuqtadagi raqobatlashuvchi modellar juftliklar ayirmasi yarmining o’lchallangan yig’indisidir. σ_y^2 dispersiya tadqiqot boshlanishidan oldin ma’lum yoki shu dispersiyaning mustaqil bahosi mavjud deb olinadi.

σ_y^2 baholash bo’lmaganida hisoblashlarda

$$D = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^{m} [f_i(\bar{x}_T, \bar{b}_i) - f_j(\bar{x}_T, \bar{b}_j)]^2 \qquad (3.2.5)$$

funksiyadan foydalanish mumkin.

Bunda (3.2.4) ni qo’llashga nisbatan har bir qo’shimcha qadamda samaradorlik bo’yicha yo’qotishlar sodir bo’ladi.

$\bar{x}_T$ nuqtaning koordinatalari (3.2.4) yoki (3.2.5) ifodaning ko'p o'lchovli fazodagi ekstremumni topishning ixtiyoriy usuli, masalan o'lchovni almashtirish yoki kompleks-usul yordamida hisoblanadi. Ekstremumni qidirish paytida ko'p o'lchovli fazoning hisoblash sohasi bilan chegaralangan sohasi ko'rib chiqiladi.

Statistik baholash masalalariga Bayes yondashuvi

Bays usullari kuzatuvdagi tasodifiy xatoliklar ehtimollarining nogauss taqsimlanish qonunlari asosida chiziqli va nochiqli regression modellarni qurish uchun ishlatilishi mumkin. Statistik modellar yordamida ta'riflanadigan uzluksiz va diskret jarayonlar ko'zdan kechiriladi. Shu maqsadda bayes hisoblash proseduralarining ta'rifi va nochiziqli regression modellarni qurish uchun tavsiyalar [14,29,34,61].

Matematik modelni qurish masalasining qo'yilishi o'z ichiga quyidagilarni oladi:

Chiquvchi Y va kiruvchi $\bar{\chi}$ o'zgaruvchi kattaliklar o'rtasidagi funksional bog'lanish ko'rinishidagi aprior axborot asosida tanlash:

$$Y = \varphi_j(\bar{a}, \bar{\chi}),\ j = 1,\ldots,m\,,$$

bunda $\bar{a}$ -modeldagi no'malum o'zgaruvchilardan tuzilgan k-o'lchovli vektor;

m – jarayonni ta'riflashda qo'llanilishi mumkin bo'lgan matematik modellar soni;

- Kuzatuv tasodifiy xatoliklarining nazorat qilinayotgan kattaliklarning natijasiga ko'rsatadigan ta'sir xususiyatini ta'riflovchi kuzatuv tenglamasining ko'rinishini aniqlash:
- $y = h_y(Y, \varepsilon_y)\,, \quad \underset{i=1,2,\ldots,n}{x_i} \ \ h_{x,i}(\chi_i, \varepsilon_{x,i})\,,$

bu yerda ε_y - chiquvchi kattalikni kuzatishdagi tasodifiy xatolik;

$\varepsilon_{x,i}$ -i-tasodifiy xatolikni kuzatishdagi tasodifiy xatolik;

h – ma'lumotlarning tavsifi;

n – nazorat qilinuvchi chiquvchi kattaliklar soni; agar tasodifiy xatolikning ta'sir xususiyati to'g'risida hech narsa ma'lum bo'lsa, u holda xatolik additiv deb olinadi:

$$y = Y + \varepsilon_y\,, \quad x_i = \chi_i + \varepsilon_{x,i}\,;$$

- Kuzatuv xatoligi $f(\varepsilon)$ ning taqsimlanish qonuni ma'lumotlarni oldindan o'rganishning tadqiqot natijalari asosida aniqlash.

Xatolik ehtimolining taqsimlanishi to'g'risidagi aprior axborot bo'lmasa kuzatuv gauss deb olinadi, uning ehtimollik zichligi

$$f(\varepsilon)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}\right\},$$

bu yerda σ^2 -kuzatuv xatoligining dispersiyasi.

Nostasionar jarayonlarga nisbatan regression modellarning vaqtga nisbatan funksional bog'lanishi hisobga olinadi [93,104,136].

Dinamik obyektlar ayirmaviy tenglamalar ko'rinishidagi matematik modellar yordamida ta'riflanadilar.

Modellar berilgan modellar to'plami ichidan eng yaxshi modelni chinlik munosabati mezoni bo'yicha juft-juftlab solishtirish orqali tanlash maqsadida diskriminatsiyalanadi (farqlanadi).

Modellar quyidagi tartibda diskriminatsiyalanadi:

- Diskriminatsiya statistikasining tanlangan qiymatlari va uning birinchi to'rtta momenti hisoblanadilar;
- diskriminatsiya ostonalari topiladilar;
- Diskriminatsiya proseduraning tugatilish sharti tekshiriladi.

Diskriminatsiya ostonalarini topish.

Diskriminatsiya ostonalari deb (z_1, z_2) oraliqning chegaralariga aytiladi, uning ichida $P=1-\alpha$ ehtimollik, bu yerda α- μ_1 ning nol qiymatidagi ahamiyat darajasi asosida quyidagi statistikaning qiymatlari topiladi

$$z=\frac{\sum_{i=1}^{N}\lambda_i-N_{\mu_1}}{\sqrt{N_{\mu_2}}},$$

bu yerda μ_1 - o'rta qiymat,

μ_2 - λ tasodifiy kattalikning dispersiyasi,

N – kuzatuvlar soni.

Z kattalik ehtimollarining $N^{-1,5}$ tartibli hadlargacha bo'lgan aniqlikkacha taqsimlanish funksiyasi quyidagi ifoda bilan approksimatsiyalanadi:

$$F(z)=\Phi(z)-\frac{1}{\sqrt{N}}\left(\frac{\alpha_3}{3!}\right)\Phi^{(3)}(z)+\frac{1}{N}\left[\frac{1}{4!}\alpha_4\Phi^{(4)}(z)+\frac{10}{6!}\alpha_3^2\Phi^{(6)}(z)\right],$$

bu yerda $\Phi(z), \Phi^{(\cdot)}(z)$ - nolinchi o'rta va birlik dispersiyali ehtimollarning normal taqsimot funksiyasi va uning hosilasi;

α_3 va α_4 -λ kattalikning quyidagi funksiyalar bo'yicha hisoblanadigan assimetriya va ekssessi:

$$\alpha_3 = \frac{\mu_3}{\sqrt{\mu_2^3}}; \qquad \alpha_4 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3.$$

z_1 va z_2 diskriminatsiya ostonalari quyidagi nochiziqli tenglamalarni sonli yechish yo'li bilan topiladi:

$$F(z_1) = 0{,}5\alpha;$$

$$F(z_2) = 1 - 0{,}5\alpha,$$

bu yerda α - ahamiyatning berilgan darajasi($\alpha = 0{,}01 \div 0{,}1$),

$F(z)$ - ehtimolliklarning taqsimot funksiyasi.

Tenglamalarni yechishda $z_{\min}$, $z_{\max}$ Д chegaraviy qiymatlar abul qilinadi, so'ngra z o'qi bo'yicha qadamma-qadam harakatlanish natijasida avvalo $z_{\min}$ ga, so'ngra $z_{\max}$ ga nisbatan shunday z_1 va z_2 qiymatlar topiladiki, ular tenglamaning berilgan aniqlikdagi yechimlari bo'ladilar.

Diskriminatsiya prosedurasi

$$z = \frac{\sum_{i=1}^{N} \lambda_i}{\sqrt{N_{\mu_2}}}$$

formula bo'yicha hisoblanuvchi kattalik $z > z_2$; $z < z_1$ shartlardan birini qanoatlantirishi bilan tugatiladi:.

Birinchi shart bajarilganda birinchi model, ikkinchisi bajarilganda- ikkinchi model qabul qilinadi.

$z_1 \le z \le z_2$ tengsizlik o'rinli bo'lsa diskriminatsiya prosedurasi davom etadi. Bunday holatda solishtirilayotgan modellardan ixtiyoriysini, masalan eng soddasini qabul qilish yoki kuzatuv va diskriminatsiya jarayonini davom ettirish mumkin.

Empirik bayes baholash kuzatilayotgan jarayon modellarining parametrlarini bitta sinfga mansub boshqa bir jinsli jarayonlar to'g'risidagi tajribaviy axborotlarini hisobga olgan holda baholashga xizmat qiladi, baholanayotgan parametrlar ehtimolining aprior zichligi bir nechta jarayonlarni kuzatishda olingan natijalar bo'yicha topiladi.

Yo'qotishlar kvadratik funksiyalarida P-kuzatilayotgan jarayonining regression modellar parametrlarining empirik bayes bahosi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\hat{\Theta}_P = \frac{\sum_{j=1}^{T}\left[\sum_{S=1}^{M}\overline{\Theta}[S]l(Y_P/\overline{\Theta}[S])l(Y_j/\overline{\Theta}[S])\pi(\overline{\Theta}[S])\right]\left[\sum_{S=1}^{M}l(Y_j/\overline{\Theta}[S])\pi(\overline{\Theta}[S])\right]^{-1}}{\sum_{j=1}^{T}\left[\sum_{S=1}^{Ml}l(Y_P/\overline{\Theta}[S])l(Y_j/\overline{\Theta}[S])\pi(\overline{\Theta}[S])\right]\left[\sum_{S=1}^{M}l(Y_j/\overline{\Theta}[S])\pi(\overline{\Theta}[S])\right]^{-1}},$$

bu yerda $Y_P = \{y_{P_1}, y_{P_2}, ..., y_{P_{N_P}}\}$ - p-texnologik jarayon uchun tajribaviy ma’lumotlar;

$Y_j = \{y_{j_1}, y_{j_2}, ..., y_{j_{N_j}}\}$ - j-texnologik jarayon uchun eksperimental axborotlar;

$\pi(\overline{\Theta})$ - parametrlar ehtimolining subyektiv aprior zichligi;

$l(Y/\overline{\Theta})$ - chinlik funksiyasi;

N_i - kuzatuvlar soni;

T - p-jarayon bilan bir turda bo’lgan texnologik jarayonlar soni;

M – Monte-Karlo usulining prosedurasidagi statik tajribalar soni;

$(\overline{\Theta})[S]$ - Ω_Θ sohada tekis taqsimlangan tasodifiy sonlar vektori.

Regression model parametrlarining ehtimollik aprior zichligi noma’lum bo’lsa, u holda $\pi(\overline{\Theta})$ tekis zichlik yoki normal zichlik ko’rinishida tanlanadi.

Kuzatuvning mustaqil normal additiv xatolik oldidagi chinlik funksiyasi quyidagi ko’rinishda yozib olinadi:

$$l(Y/\overline{\Theta}) = \frac{1}{(\sigma_\varepsilon\sqrt{2\pi})^N}\exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_\varepsilon^2}\sum_{i=1}^{N}(y_i - \varphi[\overline{a}, \overline{x}])^2\right\},$$

bu yerda N – kuzatuvlar soni;

σ_ε^2 -kuzatuv xatosining dispersiyasi;

$\varphi(\overline{a}, \overline{x})$ - regressiya funksiyasi;

$\overline{a}$ - regressiya parametrlari;

$\overline{\Theta} = [\overline{a}, \sigma_\varepsilon^2]$ - baholanuvchi parametrlar.

Nuqtaviy bayes baholarni hisoblash

Subyektiv bayes baholashlar alohida jarayonlar modellarining parametrlarini baholash uchun ishlatiladilar. Bunda parametrlar ehtimolining aprior zichligi baholanuvchi parametrning ehtimolli qiymatlari to’g’risidagi subyektiv bilimlarimizni akslantiruvchi og’irlik funksiyasi sifatida tanlanadi.

Yo’qotishlarning kvadrat funksiyasi oldidagi texnologik jarayon regression modellarining parametrlarini subyektiv nuqtaviy bayesli baholash quyidagi formula bo’yicha hisoblanadi

$$\hat{\Theta}=\frac{\sum_{S=1}^{M}\overline{\Theta}[S]\cdot l(Y/\overline{\Theta}[S])\pi(\overline{\Theta}[S])}{\sum_{S}^{M} l(Y/\overline{\Theta}[S])\pi(\overline{\Theta}[S])},$$

bu yerda $l(Y/\overline{\Theta})$ - chinlik funksiyasi;

$\pi(\overline{\Theta})$ - baholanuvchi parametrlar ehtimolining subyektiv aprior zichligi;

M – Monte-Karlo usulidagi prosedurada statistik tadqiqotlar soni;

$\overline{\Theta}[S]$ - berilgan Ω_{Θ} oraliqda tekis taqsimlangan tasodifiy sonlar vektori.

Hisoblash aniqligi

$$\hat{I}[j]=\frac{1}{j}\sum_{S=1}^{j} l(Y/\overline{\Theta}[S])\pi(\overline{\Theta}[S])$$

formula bilan hisoblanuvchi integralni baholashning quyidagi almashish koeffitsiyenti bo’yicha aniqlanadi

$$\delta=\frac{1}{\hat{I}}\sqrt{\frac{\hat{D}}{M}}\,,\ I=\int_{\Omega} l(Y/\overline{\Theta})\pi(\overline{\Theta})d\overline{\Theta}\,,$$

$\hat{D}$ dispersiya quyidagi rekurrent formula bo’yicha topiladi:

$$\hat{D}[j]=\frac{j-1}{j}(\hat{D}[j-1]+\frac{1}{j}(l(Y/\overline{\Theta}[j])\pi(\overline{\Theta}[j])-\hat{I}[j-1]^{2}),\quad j=1,2,...,M\,,$$

bu yerda M – Monte-Karlo usuli bo’yicha statistik tajribalar soni $(M\cong 10^{3}\div 10^{4})$.

Baholarni hisoblash prosedurasi agr statistik tajribalar soni j berilgan M sondan ortib ketsa, yoki δ kattalik $\delta_{0}=0{,}1\div 0{,}001$ aniqlikka nisbatan kichik bo’lib qolsa to’xtatiladi.

3.3.Statistik modellarni qo'llashning algoritmi

Tadqiqotni boshlashdan avval [3,77]:

- Omillar to'plami ichidan boshqariluvchilarini, ya'ni ixtiyoriy bosqichda mustaqil ravishda qo'zg'atish mumkin bo'lganlarini tanlash;
- Obyektning ta'riflanuvchi o'zgaruvchilariga ta'sir ko'rsatadigan omillarni, ya'ni raqobatlashuvchi modellarning kamida bittasida bor bo'lgan omillarni aniqlash;
- Agar boshqarilmaydigan omillar ichida ta'riflanuvchi o'zgaruvchiga sezilarli darajada ta'sir etuvchi omillar bo'lsa, qayd etilgan omillarni boshqariladigan qilib qo'yish kerak;
- Boshqariluvchi omillarning o'zgarish oraliqlarini aniqlash.

Tadqiqot quyidagi amallar ketma-ketligidan tuzilgandir:

a) boshlang'ich tanlovni shakllantirish;

б) modellarning nochiziqli parametrlarini aniqlash.

- Nochiziqli parametrlarning bahosi eng kichik kvadratlar usulida aniqlashtiriladi. Parametrlarning bahosi barcha raqobatlashuvchi modellar uchun bir xil sharoitda aniqlashtirilishi kerak. Regression modellarni solishtirish uchun birinchi navbatda barcha raqobatlashuvchi modellarga nisbatan yetarli darajada yaxshi baholarni topish kerak.
- Quyidagi to'plamlarning $\mu^k(Y), \eta^k(x)$ va $\nu^k(b)$ tegishlilik funksiyalarini hisoblash [44,148,154]:

$$Y = \sum_{k=1}^{q} \overline{Y^k}\,\mu^k \Big/ \sum_{r=1}^{q} \mu^r,\; x = \sum_{k=1}^{q} \overline{x^k}\,\eta^k \Big/ \sum_{r=1}^{q} \eta^r,\; b = \sum_{k=1}^{q} \overline{b^k}\,\nu^k \Big/ \sum_{r=1}^{q} \nu^r.$$

- Tadqiqotchi parametrning qoniqarli boshlang'ich baholariga ega deb olinadi, bu esa o'z navbatida nochiziqli baholash usullarining kvadratlarning qoldiq yig'indisi minimumi borasida parametrlarning eng yaxshi baholariga yaqinlashishini ta'minlaydi.
- Parametrlar bo'yicha nochiziqli bo'lgan regression modellar chiziqlashtiriladi. Buning uchun quyidagi parametrlarning boshlang'ich baholari nuqtasida modelning barcha parametrlar bo'yicha olingan xususiy hosilalarini ifodalovchi z_{il} yangi o'zgaruvchilar kiritiladi

$$z_{il} = \frac{\partial f_j(\bar{x}_l, \bar{b}_j)}{\partial b_i}\bigg|_{\bar{b}_j^0},$$

bu yerda $f_j(\bar{x}_l, \bar{b}_j)$ -j-matematik model tuzilmasining ta'rifi;

b_i^0 - i-parametrning boshlang'ich bahosi;

$\bar{b}_j$ - j-model parametrlarining vektori:

$j = 1,2,...,m; i = 1,2,...,k_j; l = 1,2,..., N_l$;

m – raqobatlashuvchi modellar soni;

k_j - j-modelning parametrlar soni.

Chiziqlashtirilgan model quyidagi ko'rinishda ifodalanadi

$$\tilde{f}_j(\bar{x}_l, \bar{b}_j) = f_{jl}^0 + \sum_{i=1}^{k_j} (b_i - b_i^0) z_{il},$$

bu yerda

$$f_{jl}^0 = f_j(\bar{x}_l, \bar{b}_j^0),$$

$\bar{b}_j^0$ - j-model parametrlarining boshlang'ich baholar vektori.

- J-chiziqlashtirilgan matematik modelning C_j axborotli matrisasi hisoblanib, uning elementlari

$$C_{i,p} = \sum_{l=1}^{n} z_{il} z_{pl}$$

bo'ladi, bu yerda $i, p = 1,2,...,k_j$.

- J-matematik model kvadratlarining qoldiq yig'indisi hisoblanadi

$$S^2(\bar{b}_j) = \sum_{l=1}^{N} [y_l - f_j(\bar{X}_l, \bar{b}_j)]^2,$$

bu yerda $j = 1,2,...,m; \bar{b}_j = \bar{b}_j^0$.

- Kvadratlarning qoldiq yig'indisi antigradienti z_l vektorning chiziqlashtirilgan fazosi koordinatalari bo'yicha komponentalar hisoblanadi

$$g_l = \sum_{l=1}^{N} [y_l - f_j(\bar{X}_l, \bar{b}_j^0)] z_l,$$

bu yerda $l = 1,2,...,k_j; j = 1,2,...,m$.

- C_j axborotli matrisa akslantiriladi. C_j^{-1} teskari matrisa $\mu_{ip}; i, p = 1,2,...,k_j$. Elementlardan iborat.
- Baholarning o'zgarish vektorining $\Delta\bar{b}$ komponentalaei hisoblanadi.

$$\Delta\bar{b}_i = \sum_{p=1}^{k_j} \mu_{ip} g_p,$$

bu yerda $i = 1,2,...,k_j$.

$S^2(\bar{b}_j)$ kvadratik formaning parametrlarning baholar fazosidagi ekstremumi yo'nalishi $\Delta\bar{b}$ vektor tomonidan aniqlanadigan to'g'ri chiziqda joylashgan. Faraz $S^2(\bar{b}_j)$ ifoda bilan berilgan sirt $\vec{b}_j$ parametrlarning baholar fazosida parabolik shaklda bo'lsagina bajariladi, aks holda Δb yo'nalishda siljish natijasida ekstremumning ma'lum bir qismigagina erishish mumkin [94,124].

$$S^2(\bar{b}_{joon}) < S^2(\bar{b}_j^*).$$

Parametrlar bahosidan tuzilgan $f_j(\bar{X}, \bar{b}_{joon})$ model bilan bog'liq kvadratlarning qoldiq yig'indisi har qanday

$$\bar{b}_{joon} = \bar{b}_j^0 + \gamma\Delta b$$

dan kichik bo'ladigan γ ko'paytuvchining optimal qiymati qidiriladi

$$\bar{b}_j^* = \bar{b}_j^0 + \varphi\Delta\bar{b},$$

bu yerda φ -ixtiyoriy ko'paytuvchi va $\varphi \neq \gamma$.

Qidiruv muqobillashtirishning ixtiyoriy bir o'lchovli usuli, kvadratik approksimatsiya yoki Fibonachchi sonlari usuli bo'yicha o'tkaziladi. To'xtalish shartining bajarilishi tekshiriladi. Baholash keyingi qadamda tajribaning natijalar modelini bashoratlash aniqligi bir oz yaxshilangan bo'lsa, tugallangan deb olinadi

$$\frac{S^2(\bar{b}_j^0) - S^2(\bar{b}_{joon})}{S^2(\bar{b}_j^0)} < \delta.$$

δ kattalikni $\delta = 10^{-5} - 10^{-6}$ deb olish darkor.

Agar ushbu shart bajarilmasa, u holda topilgan $\bar{b}_{joon}$ baholashlar yetarlicha aniqlikka ega bo'lmaydilar. Baholarni aniqlashtirishni yuqorida qayd etilgan amallarni takrorlash orqali davom ettirish mumkin, jumladan boshlang'ich $\bar{b}_j^0$ baholar sifatida baholashning oldingi qadamida olingan baholardan $\bar{b}_{joon}$ foydalaniladi.

- Aniqlashtirilgan baholi parametrlardan tashkil topgan modelning qoldiq dispersiyasi hisoblanadi

$$\varphi_{joon}^2 = \frac{S^2(\bar{b}_{joon})}{N - k_j}.$$

- C_j^{-1} baholarning kovariasion matrisasi hisoblanadi. Matrisa elementlarining ko'rinishi quyidagicha $\mu_{ip}^j = \mu_{ip}^j \cdot \varphi_{joon}^2$,

Bu yerda $i, p = 1,2,...,k_j; j = 1,2,...,m$.

Raqobatlashuvchilar ichida tadqiqot obyektining eng yaxshi regression modelini tanlash

Eng yaxshi regression model quyidagi tartibda tanlanadi [127,147,155]:

A) barcha raqobatlashuvchi modellarning parametrlarini aniqlashtirish;

B) modellarni mavjud tanlovlar bo'yicha ajratib olish; modellar sezilarli darajada farq qilsa, eng yaxshi model tanlanadi;

C) tanlov koordinatasi $\bar{X}$ omillarning bosqichini ifodalovchi nuqta bilan to'ldiriladi; mos murojaat tadqiqot o'tkazilayotgan obyekt ustida tajriba o'tkazish natijasida olinadi; A bo'limga o'tish.

Raqobatlashuvchi modellarni mavjud tanlov bo'yicha diskriminatsiyalash.

- Modellarni diskriminatsiyalash ularni juft-juftlab solishtirish yo'li bilan o'tkaziladi. Model obyektning murojaatini qolganlariga nisbatan yaxshiroq ta'riflasa, to'g'ri deb hisoblanadi. Model solishtirilayotganlar ichida obyektning murojaatini ancha yomonroq ta'riflasa xato deb hisoblanadi.
- I- va j-modellar farqining ahamiyati quyidagi usulda tekshiriladi. Yangi o'zgaruvchilar kiritamiz:
-

$$y^* = 2y - f_i(\bar{X}, \bar{b}_i) - f_j(\bar{X}, \bar{b}_j)\,;$$
$$x^* = f_i(\bar{X}, \bar{b}_i) - f_j(\bar{X}, \bar{b}_j)\,.$$

- Regressiya tenglamasidagi $\hat{\lambda}_{ij}$ koeffitsiyentning bahosi

$$y^* = \lambda_{ij} X^*$$

ni quyidagi formula bo'yicha hisoblaymiz

$$\hat{\lambda}_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^{N} y_l^* x_l^*}{\sum_{l=1}^{N} (x_l^*)^2}\,.$$

- Ishonch oralig'I chegaralarini koeffitsiyent bahosiga nisbatan taqsimlaymiz:
-

$$T_H = \hat{\lambda}_{ij} - t_{кр}\sqrt{\frac{\sum_{l=1}^{N} (y_l^* - \hat{\lambda}_{ij} x_l^*)^2}{\gamma \sum_{l=1}^{N} (x_l^*)^2}}\,; \quad T_\Theta = \hat{\lambda}_{ij} + t_{кр}\sqrt{\frac{\sum_{l=1}^{N} (y_l^* - \hat{\lambda}_{ij} x_l^*)^2}{\gamma \sum_{l=1}^{N} (x_l^*)^2}}\,,$$

bu yerda γ erkinlik darajalari soni bo'lib, u quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\gamma = N - k$$
$$k = \inf\{k_i, k_j\},$$

$t_{кр}$ - γ erkinlik darajalari va α ahamiyat darajasida Styudentning t-mezoni.

t-mezonning ahamiyat darajasi tadqiqotchi tomonidan diskriminatsiya natijalarining ishonchliligi to'g'risidagi mulohazalariga asoslangan holda tanlanadi. U tekshirilayotgan gipoteza to'g'ri bo'lsa, xato qarorning qabul qilinish ehtimolini aniqlaydi. Texnik masalalarni yechishda ahamiyat darajasini $\alpha = 0{,}05$ deb olishga kelishilgan.

Model parametrlarining ishonchli bayesli bahosini olish

Funksiya qiymatlarining

$$\psi(\overline{\Theta}) = \ln\{l(Y/\overline{\Theta})\pi(\overline{\Theta})\},$$

o'zgarish oralig'I $m(m = 10 \div 20)$ ta yarim kesmaga bo'linadi

$$\Delta_j = (\psi_{j-1}, \psi_{j-1} + \Delta\psi_j),$$

j=1,2,…,m.

Ψ funksiya qiymatlarining Δ_j yarim kesmada bo'lib qolish ehtimoli hisoblanadi :

$$P_j = \frac{\sum_{l=1}^{n_j} l(Y/\overline{\Theta}[l])\pi(\overline{\Theta}[l])}{\sum_{S=1}^{M} l(Y/\overline{\Theta}[S])\pi(\overline{\Theta}[S])},$$

bu yerda $\overline{\Theta}[S]$ - Ω_{Θ} sohadagi teng taqsimlangan tasodifiy sonlar;

n_j - Ψ funksiyasining qiymatlari Δ_j yarim kesmada bo'lgan tasodifiy sonlar miqdori;

M –Monte-Karlo usuli bo'yicha o'tkazilgan statistik tadqiqotlarning umumiy soni.

Kumulyativ funskiyaning qiymatlari hisoblanadi:

$$F_j = F_{j-1} + P_j$$

$$F_0 = 0.$$

C parametrning qiymati interpolyatsion formula bo'yicha hisoblanadi

$$C = \frac{(\alpha - F_{j-1})(\psi_j - \psi_{j-1})}{P_j} + \psi_{j-1},$$

Bu yerda α -ahamiyatning berilgan darajasi $(\alpha = 0{,}1 \div 0{,}01)$,

ψ_j -ψ funksiyaning Δ_j yarim kesmaning birinchi uchidagi qiymati,

j $-F_j \geq \alpha$ bo'ladigan tartib raqam.

Regression model parametrlarining ishonchli bayes bahosi bo'lib baholanuvchi parametrning ehtimoli katta qiymatlar oralig'I xizmat qiladi:

$$\omega_\alpha = \{\overline{\Theta} : \psi > C\}.$$

Regressiya funksiyasining ishonchli oraliqli bayes bahosini topish

$\overline{X}$ ning belgilan qiymatida $\varphi(\overline{a},\overline{X})$ regressiya funksiyasining o'zgarish oralig'I r $r(r=10\div 20)$ ta yarim kesmalarga ajraladi

$$\Delta_j=(\varphi_j,\varphi_j+\Delta\varphi_j),\ j=1,...,r\ .$$

$\varphi(\cdot)$ funksiya qiymatlarining Δ_j yarim kesmaga tushib qolish ehtimoli

$$P_j=\frac{\sum\limits_{m=1}^{n_j} l(Y/\overline{\Theta}[m])\pi(\overline{\Theta}[m])}{\sum\limits_{S=1}^{M} l(Y/\overline{\Theta}[S])\pi(\overline{\Theta}[S])},$$

bu yerda $\overline{\Theta}[S]$ - Ω_Θ sohada tekis taqsimlangan tasodifiy sonlar;

n_j - $\varphi(\cdot)$ funksiyalarining qiymati Δ_j yarim kesmada bo'lgan tasodifiy sonlar miqdori;

M – statistik tadqiqotlarning umumiy soni.

Kumulyativ funksiyaning qiymatlari hisoblanadi:

$$F_j=F_{j-1}+P_j$$

$$F_0=0.$$

Regressiya funksiyasining ishonchli bayes bahosi bo'lib (y'_α,y''_α) oraliq xizmat qiladi, uning chegaralari chiziqli interpolyatsiyaning quyidagi formulalari bo'yicha hisoblanadi:

$$y'_\alpha=\varphi_{j-1}+\frac{(0{,}5\alpha-F_{j-1})(\varphi_j-\varphi_{j-1})}{P_j};$$

$$y''_\alpha=\varphi_{k-1}+\frac{(1-0{,}5\alpha-F_{k-1})(\varphi_k-\varphi_{k-1})}{P_k},$$

bu yerda α -ahamiyatning berilgan darajasi, j – shunday tartib raqamki,

$$F_{j-1}<0{,}5\alpha, F_j\geq 0{,}5\alpha,$$

k – shunday sonki

$$F_{k-1}<1-0{,}5\alpha, F_k\geq 1-0{,}5\alpha\ .$$

Baholash natijalarini statistik tahlil etish

Baholash natijalarining statistik tahlil o'z ichiga quyidagilarni qamrab oladi:

- Regression model parametrlarining ahamiyati to'g'risidagi gipotezani tekshirish;
- Parametrlar bahosining aniqligini hisoblash;

- Regressiya funksiyasining aniqligini tekshirish.

Regression modelning parametri α ahamiyat darajasida parametrning nolinchi qiymati ω_α ishonch oralig'ida yotsa ahamiyatga ega emas deb olinadi:

$$(\Theta_{k-j} = 0) \in \omega_\varepsilon ; \quad j = 1,2,...,\nu; \nu \le k ,$$

bu yerda k – baholanuvchi parametrlarning umumiy soni,

ν - ahamiyatli parametrlar soni.

Parametrlar bahosining xatosi Monte-Karlo usuli bo'yicha hisoblanuvchi ω_α ishonch oralig'ining hajmi bilan quyidagi formulaga ko'ra aniqlanadi:

$$V_\omega = V \cdot \frac{n}{M} ,$$

bu yerda V –Ω_Θ sohaning ma'lum hajmi bo'lib, unda kompyuter yordamida tekis tasodifiy sonlar generatsiyalanadi,

M –tasodifiy sonlarning umumiy soni,

n – ω_α sohadagi tasodifiy sonlar miqdori.

Parametrlarni baholashdagi nisbiy xatolik quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\delta_1 = \left(\frac{V_\omega}{\prod_{j=1}^{k} \hat{\Theta}_j} \right)^{\frac{1}{k}} .$$

Bu yerda $\hat{\Theta}_j$ - j-parametrning bahosi,

k – baholanuvchi parametrlarning soni.

Regressiya funksiyasini baholashdagi nisbiy xatolik quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\delta_2 = \frac{\max\limits_{\bar{X} \in \Omega_X} \left| y''_\alpha(\bar{X}) - y'_\alpha(\bar{X}) \right|}{\max\limits_{\bar{X} \in \Omega_X} \left| \varphi(\bar{a}, \bar{X}) \right|} ,$$

bu yerda $(y'_\alpha(\bar{X}), y''_\alpha(\bar{X}))$ -kiruvchi kattaliklar Ω_X fazosining berilgan oralig'idagi $\bar{X}$ nuqtada $\varphi(\bar{a}, \bar{X})$ regressiya funksiyasining ishonch oralig'i.

3.4.Jarayonlarni statistik usullarda tahlil etish algoritmi

3.4.1. Raqobatlashuvchi modellarni diskriminatsiyalash algoritmi

Algoritmning blok-sxemasida (3.2.1-rasm) quyidagi belgilashlar kiritilgan:

N –kuzatuvlar soni;

KM – Raqobatlashuvchi modellarning soni;

TK –Styudentning ikki tomonlama t-mezonning jadvaldagi qiymatlari;

$M_1 : M_5$ - birinchidan beshinchigacha bo'lgan raqobatlashuvchi modellarning parametrlar soni;

k – o'lchanadigan omillar soni;

SO – dispersiya yoki uning bahosi qiymati, agar dispersiyaning bahosi bo'lmasa SO=0;

GM – maqsad funksiyasining lokal ekstremumlarini ketma-ket qidirishlar soni;

$x-(k \times N)$ - kiruvchi omillarning pog'onalar massivi;

$y-(1 \times N)$ - murojaat qiymatlarining massivi;

$A1 \div A5-(1 \times M_i)$ - i-model parametrlari baholarining qiymatlar massivi i=1,2,…,5;

$G, H-(1 \times k)$ - amal qilish sohasiga nisbatan qo'yilgan quyi va yuqori cheklanishlar massivi;

KT – o'rganiluvchi modelning raqami;

$f_{KT}(x,b)$ -KT ning har bir nochiziqli modeliga nisbatan tuziladigan qism dastur bo'yicha hisoblanuvchi murojaat funksiyasi;

$f(1 \times KM)$ - raqobatlashuvchi modellarning murojaatlar funksiyasi massivi;

$F-(1 \times M_i)$ -parametrlarning ma'lum baholariga nisbatan hisoblanuvchi hosilalar massivi;

$\frac{\partial f_{KT}}{\partial B}$ - murojaat funksiyasining noma'lum parametrlari bo'yicha olingan hosilasi bo'lib, u har bir nochiziqli modelga nisbatan tuzilgan qism dastur bo'yicha hisoblanadi;

C – chiziqlashtirilgan modelning axborotli matrisasi;

$S-(1 \times N)$ - tanlov nuqtalarida murojaat funksiyasi baholari dispersiyalarining qiymatlar massivi;

$x^* - (1 \times N)$ - almashtirilgan o'zgaruvchilar massivi;

$y^* - (1 \times N)$ - almashtirilgan o'zgaruvchilar massivi;

λ_{ij} - I va j modellarni solishtirish uchun mo'ljallangan mezonning qiymati;

F_i - mezonning erkinlik pog'onalari soni;

$2 \times TE$ - λ mezonga nisbatan ishonch oralig'ining kattaligi;

idirish sikllarining tugatilish operatori.

3.4.2. Nochiziqli model parametrlarini hisoblash algortmi

Qism dastur algoritmining blok-sxemasida asosiy dasturning algoritmida ishlatilmagan quyidagi belgilashlardan foydalaniladi:

l – parametrlar baholarini aniqlash siklining raqami;

N_r -parametrlarni aniqlash paytida yo'l qo'yilishi mumkin bo'lgan noto'g'ri qadamlarning maksimal soni;

r – -parametrlarni aniqlash paytida yo'l qo'yilishi mumkin bo'lgan noto'g'ri qadamlar soni;

3.4.3. Kompleks usulda ko'p o'lchovli qidiruv algoritmi

Qism-dastur algoritmining blok-sxemasida asosiy dasturda qo'llanilmagan quyidagi belgilashlardan foydalanilgan:

$XK - (K \times K)$ - kompleks nuqtalarining koordinatalar massivi;

rn –(0,1) oraliqda tekis taqsimlangan tasodifiy son;

y(XK) – XK nuqtaning diskriminativligini akslantiruvchi va qism dastur bo'yicha hisoblanuvchi maqsad funksiyasi;

Z, W - maqsad funksiyasining kompleks nuqtalaridagi minimal va maksimal qiymati;

C_n - kompleks markazining koordinatalari;

ξ - kompleksning qamrovini akslantiruvchi parametr;

ε - ξ ning maksimal qiymati;

XK_Z, XK_W -maqsad funksiyasi maksimum va minimum nuqtalarining koordinatalari.

Ko'p o'lchovli qidiruv algoritmi o'z ichiga quyidagi operatorlarni qamrab oladi:

1 –o'zlashtirish operatori;

2 – boshlang'ich kompleksning nuqtalarini generatsiyalash;

3 –maqsad funksiyasini hisoblash bloki (3.2.4-ga qarang);

4 –generatsiyalangan nuqtalar sonining hisoblagichi;

5 – shartli operator;

6 – maqsad funksiyasining maksimum va minimumini hisoblash blogi;

7 – kompleks markazlari koordinatalarini hisoblash operatori;

8 – kompleks qamrovining parametrini (qidiruv yakunlanganligining mezoni)hisoblash operatori;

9 – qidiruvning tugallanganligini tekshirish;

10 – kompleksning yangi nuqtasi koordinatalarini hisoblash operatori;

11 –yangi nuqtaning mavjud sohaga tushishini tekshirish;

3.4.4. Eng diskriminativ nuqtaning koordinatalarini qidirishda ishlatiladigan maqsad funksiyasini hisoblash algoritmi

Qism dastur algoritmining blok-sxemasida asosiy dasturda qo’llanilmagan quyidagi belgilashlardan foydalaniladi:

η_{KT} -XK nuqtadagi KT-raqamli modelning murojaat funksiyasi;

F –KT modelning murojaat funksiyasidan XK nuqtada B koeffitsiyentlar bo’yicha olingan hosilalar massivi;

S_{KT} - KT modelning murojaat funksiyasi bahosining XK nuqtadagi dispersiyasi;

$\varphi(XK)$ -maqsad funksiyasining XK nuqtadagi qiymati.

Maqsad funksiyasini hisoblash algoritmi o’z ichiga quyidagi operatorlarni oladi:

1,2 – o’zlashtirish operatori;

3 – murojaat funksiyasini XK nuqtada hisoblash bloki, hisoblash maxsus qism dastur bo’yicha olib boriladi;

4 – shartli operator;

5 – XK nuqtada hosilaviy murojaat funksiyalarini hisoblash bloki, hisoblash maxsus qism dastur bo’yicha olib boriladi;

6 – murojaat funksiya bahosining dispersiyasini hisoblash bloki;

7,8 –shartli operatorlar;

9,10 – diskriminativ nuqtaning funksiyasini hisoblash operatori.

3.4.5. Masalalarni korrelyatsion-regression tahlil usulida amaliyotda qo'llashning dasturi

Korrelyatsion-regression tahlil dasturi PRAS01 to'plamli korrelyatsiya va regressiya ko'rsatkichlarini to'la omilli sxema bo'yicha hisoblashga mo'ljallangan.

Bu dasturni amaliyotda qo'llashning kiruvchi ma'lumotlari magnit tashuvchilardagi birlik ma'lumotlar bazalarining massivlari bo'ladi.

Yechish algoritmining blok-sxemasi 3.2.5-rasmda berilgan.

$(X_{i1}, X_{i2}, ..., X_{im}), i = 1,2,..., p$, - $X_1, X_2, ..., X_m$ m ta o'zgaruvchilarning kuzatilayotgan qiymatlar vektori; $(Y_1, Y_2, ..., Y_p)$ - ta'riflanuvchi Y o'zgaruvchining kuzatilayotgan qiymatlar vektori. U holda umumiy chiziqli regression model standart ko'rinishda tasvirlanadi:

$$Y_i = \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + ... + \beta_m X_{im} + U_i, i = 1,2,..., p .$$

Eng kichik kvadratlar bahosi deb shunday $(\beta_1, \beta_2, ..., \beta_m)$ parametrlar vektoriga aytiladiki, u regression qoldiqlar kvadratlarining yig'indisini minimallashtiradi

$$S = \sum_{i=1}^{p} [Y_i - (\beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + ... + \beta_m X_{im})]^2$$

Regressiya modeli vektorli-matrisaviy shaklda yanada ixchamroq yozib olinadi [9]:

$$Y = XB + \overline{U} ,$$

$$S = (Y - XB)(Y - XB) - U'U ,$$

bu yerda shtrix transponerlashni anglatadi.

Regression qoldiqlar kvadratlarining yig'indisi $dS / d\beta_i = 0$, $i = \overline{1,m}$ va minimallashtirish shartidan kelib chiqqan holda normal tenglamalar sistemasiga ega bo'lamiz:

$$dS / d\beta = -2(X'Y - X'XB) = 0$$

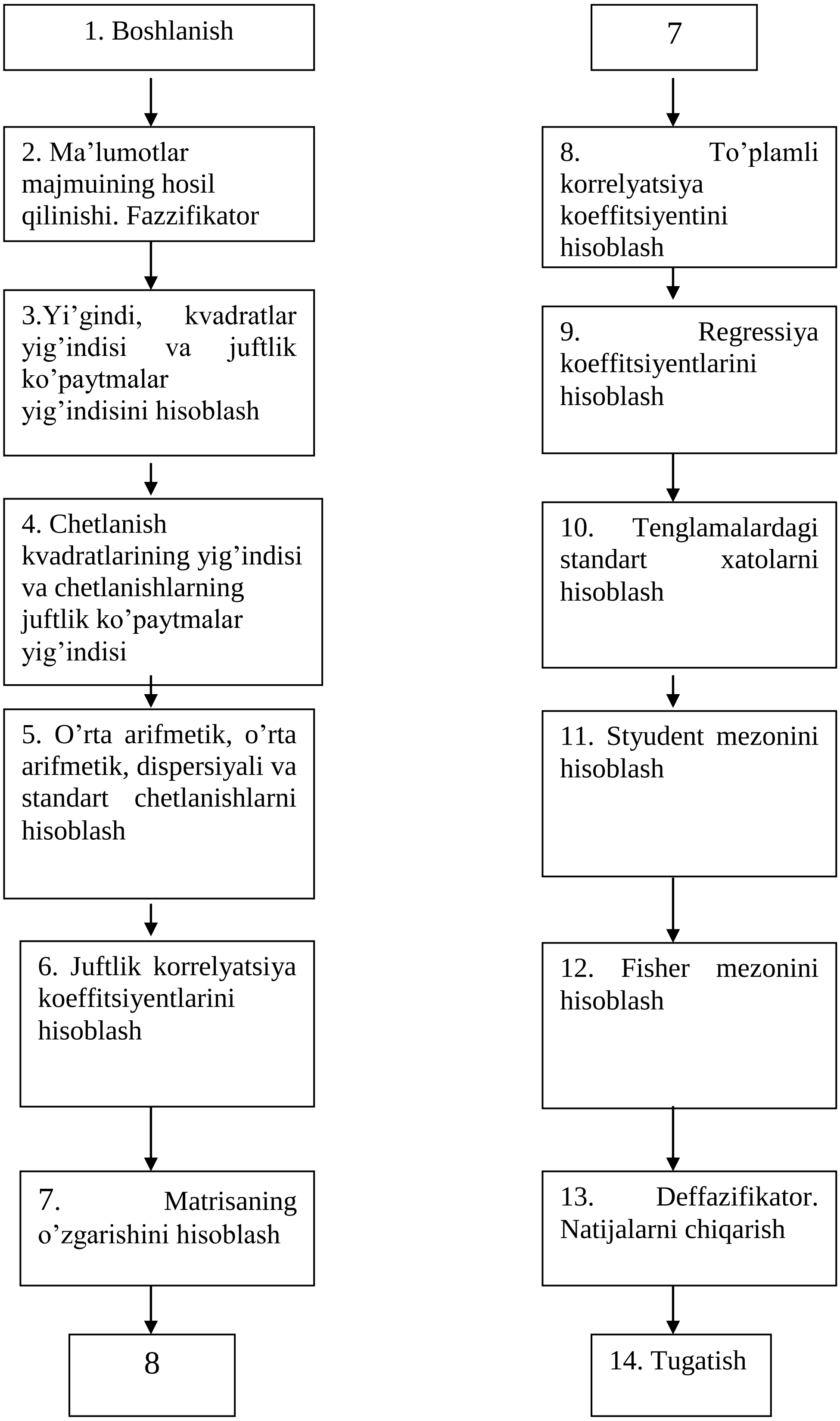
Bundan $(X'X)B = X'Y$

Demak eng kichik kvadratlar usulining bahosi $B = (X'X)^{-1} X'Y$ dir, bunda $(X'X)^{-1}$- matrisa X\`X matrisaga teskaridir, farazga ko'ra u mavjuddir.

Regression modelning to'g'rilik mezoni sifatida determinatsiyalash koeffitsiyentidan foydalaniladi, u quyidagi formula bilan beriladi

$$R^2 = \sum_{i=1}^{p} (\hat{Y}_i - \overline{Y})^2 / \sum_{i=1}^{p} (Y_i - \overline{Y})^2$$

Determinatsiyalashuv koeffitsiyentidagi kvadrat ildizning musbat qiymati korrelyatsiya koeffitsiyenti deyiladi. R^2 ning qiymati qanchalik katta bo'lsa, regressiya tenglamasining to'g'rilik darajasi shunchalik yuqori bo'ladi.



3.4.1-rasm. PRAS01 dasturni yechish algoritmining blok-sxemasi

IV-bob. NORAVSHAN MUNOSABATLAR

4.1. Noravshan munosabatlar va noravshan cheklanishlar

“Munosabat” atamasi bir xil X universumda berilgan ayrim akslantirishlar turlarini belgilash uchun ishlatiladi. Bunday holatda $\Gamma : X \to X$ akslantirish X to’plamdan o’z-o’ziga akslantirish bo’lib, u {X,Γ} juftlik orqali aniqlanib, bu yerda $\Gamma \subseteq X^2$.

X^2 to’plamning elementlari tartiblangan juftliklar bo’lganligi uchun, munosabat- bu tartiblangan juftliklarning to’plamidir, chunki har bir juftlik X^2 to’plamning faqatgina 2 ta elementlari orqali o’zaro birlashtiriladi. Bunday munosabat binary deb ataladi. Agar X^n to’plamning elementlari tartiblangan n-ar juftliklar bo’lsa, bunday munosabat n-ar munosabat deb ataladi. Xususiy hol- ternar munosabat- tartiblangan uchliklardan iborat to’plam.

Noravshan munosabat tushunchasi- ravshan munosabatlarning noravshan to’plamlar nazariyasidagi umumlashmasidir. U elementlar o’rtasidagi o’zaro ta’sir bir oz kuchli bo’lgan holatlarni modellashtirishi mumkin.

Munosabatlarning har xil turlarini farqlash mumkin. Masalan, tartib, ustuvorlik va h.k larning ekvivalentlik munosabati.

Noravshan munosabat [1,2].

$X_1, X_2, ..., X_n$ - n-universumlar bo’lsin. $X_1, X_2, ..., X_n$ dagi n-ar noravshan munosabat $X_1, X_2, ..., X_n$ dagi to’plam bo’lib, quyidagicha ifodalanadi:

$$R_{X_1 \times .. \times X_n} = \{((X_1, ..., X_n), (X_1, ..., X_n)) | \ (X_1, ..., X_n) \in X_1 \times ... \times X_n\}. \qquad (4.1.1)$$

Yuqorida qayd etilganidek, soda munosabat- noravshan munosabatlarning xususiy holidir.

R noravshan munosabatning X to’plamdagi tashuvchisi deb quyidagi ko’rinishdagi $X \times X$ dekart ko’paytmaning qism to’plamiga aytiladi

$$\sup pR = \{(u,v)/(u,v) \in X \times X, \ \mu_R(u,v) > 0\}$$

Noravshan munosabatning tashuvchisi deganda berilgan noravshan munosabatning bajarilish darajasi nolga teng bo’lmagan barcha (u,v) juftliklarni bog’lovchi X to’plamdagi munosabat deb tushunish lozim.

Norvashan to’plamga o’xshab noravshan munosabat darajasining to’plami aniqlanadi, ya’ni

$$R_\alpha = \{(u,v)/(u,v) \in X \times X, \quad \mu_R(u,v) \ge \alpha\}.$$

Noravshan munosabatlar ustidagi amallarni ko’rib chiqamiz, ularning ayrimlari noravshan to’plamlar ustidagi amallarga o’xshashdir. Ayrimlari esa faqatgina noravshan munosabatlarga xosdir.

P va Q noravshan munosabatlarning $X \times X$ dagi kesishmasi deb quyidagi tegishlilik funksiyasi orqali aniqlangan $P \cap Q$ noravshan munosabatga aytiladi:

$$\mu_{P \cap Q}(u,v) = \mu_P(u,v) \wedge \mu_Q(u,v) = \min\{\mu_P(u,v), \mu_Q(u,v)\},$$

$$\forall u,v \in X \times X.$$

P va Q noravshan munosabatlarning $X \times X$ dagi birlashmasi deb quyidagi tegishlilik funksiyasi orqali aniqlangan $P \cup Q$ noravshan binary munosabatga aytiladi

$$\mu_{P \cup Q}(u,v) = \mu_P(u,v) \vee \mu_Q(u,v) = \max\{\mu_P(u,v), \mu_Q(u,v)\},$$

$$\forall u,v \in X \times X.$$

$R \subseteq X \times X$ noravshan munosabatning to’ldiruvchisi deb quyidagi tegishlilik funksiyali $\bar{R}$ munosabatga aytiladi

$$\mu_R(u,v) = 1 - \mu_R(u,v), \ \forall u,v \in X \times X.$$

R ga teskari munosabat deb quyidagi tegishlilik funksiyali R^{-1} munosabatga aytiladi

$$\mu_{R^{-1}}(u,v) = \mu_R(v,u), \quad \forall u,v \in X \times X.$$

Demak R^{-1} matrsisa R matrisaga nisbatan transponerlangan deyiladi.

Noravshan chegaralanish.

$v = v_1,...,v_n)$ - $X = X_1 \times ... \times X_n$ dagi o’zgaruvchi.

R(v) orqali belgilangan noravshan chegaralanish v o’zgaruvchining qiymatiga nisbatan egiluvchan chegaralanish vazifasini o’tuvchi R noravshan munosabatdir. Berilgan bo’limda o’zgaruvchi(v,x,R(v)) uchlik sifatida qaralishi mumkin; v- o’zgaruvchining nomi.

R noravshan munosabatning $X_{i_1}...X_{i_k}$ $(i_1,...,i_k)$ dagi (1,2,…,n) ketma-ketlikka proyeksiyasi deb quyidagi ko’rinishda aniqlangan $X_{i_1} \times ... \times X_{i_k}$ dagi munosabatdir

$$proj(R; X_{i_1},...,X_{i_k}) = \int_{X_{i_1} \times .. \times X_{i_k}} \sup_{X_{j_1},...,X_{j_k}} \mu_R(X_1,...,X_n)/(X_{i_1},...,X_{i_k}), \qquad (4.1.2)$$

Bu yerda $(j_1,..., j_k)$ - (1,…,n) da $(i_1,...,i_k)$ gacha to’ldirilgan qism ketma-ketlik. Proyeksiyalar shuningdej marginal noravshan cheklanishlar deb ataladi. Aksincha, agar R- $X_{i_1} \times ... \times X_{i_k}$ dagi noravshan to’plam bo'lsa, u holda $X_1 \times ... \times X_n$ dagi silindrik kengaytma- $X_1 \times ... \times X_n$ dagi C(R) noravshan to'plam bo'lib, u quyidagi munosabat orqali aniqlanadi

$$C(R) = \int_{X_1 \times .. \times X_n} \mu_R(X_{i_1},..., X_{i_k})/(X_1,..., X_n).$$

n-ar noravshan chegaralanish $R(v_1,...,v_n)$ bo'linuvchi deyiladi, faqat va faqat

$$R(v_1,...,v_n) = R(v_1) \times ... \times R(v_n),$$

Da, bu yerda $\times$ kartezian ko'paytmani va $R(v_i)$ - R ning X dagi proyeksiyasini ifodalaydi, ya'ni

$$\mu_R(X_1,..., X_n) = \min_{i=\overline{1,n}} \mu_{proj[R;X_j]}(X_i).$$

Silindrik kengaytmaning atamalarida bu formula quyidagi ko'rinishda qayta yozib olinishi mumkin

$$R = \bigcap_{i=\overline{1,n}} C(proj[R : X_i]).$$

R uning proyeksiyalari birlashmalari bo'lgandagina bo'linuvchidir. Agar R bo'linuvchi bo'lsa, u holda barcha marginal noravshan bo'linishlar ham bo'linuvchidir. $v_1,...,v_n$ o'zgaruvchilar o'zaro ta'sirlashmaydigan deyiladi, agar ularning chegaralanishi $R(v_1,...,v_n)$ bo'linuvchi noravshan munosabat bo'lsa.

Misol.

$R = A \times B$ norvshan munosabatni hisoblaymiz, agar

A=0,1/4+0,3/5+0,4/6,

B=0,33/10+0,45/11+0,78/12.

min amalning o'rniga **max** va **prod** amallardan foydalanamiz

$$\mu_R = \max(\mu_A, \mu_B).$$

$R = A \times B$ =0,33/(4.10)+0,45/(4.11)+0,78/(4.12)+0,33/(5.10)+ +0,45/(5.11)+0,78/(5.12)+0,4/(6.10)+0,45/(6.11)+0,78/(6,12).

$$R = \begin{vmatrix} 0,33 & 0,45 & 0,78 \\ 0,33 & 0,45 & 0,78 \\ 0,4 & 0,45 & 0,78 \end{vmatrix}$$

$$\mu_R = (\mu_A \times \mu_B).$$

$R = A \times B$ =0,033/(4.10)+0,045/(4.11)+0,078/(4.12)+0,099/(5.10)+ +0,135/(5.11)+0,234/(5.12)+0,132/(6.10)+0,180/(6.11)+0,312/(6,1 2).

$$R = \begin{vmatrix} 0,033 & 0,045 & 0,078 \\ 0,099 & 0,135 & 0,234 \\ 0,132 & 0,180 & 0,312 \end{vmatrix}$$

4.2. Binar noravshan munosabatlar

Binar noravshan munosabatlar- bu klassik binary munosabatning umumlashmasidir.

$X \times Y$ dagi R binary munosabat- bu $X \times Y$ dagi noravshan to'plamdir. R- $X \times Y$ dagi binary noravshan munosabat bo'lsin. R munosabatning domeni dom(R) va uning rangi ran(R) mos ravishda quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu_{dom(R)}(x) \sup_{y} \mu_R(x, y), \forall x \in X \ ,$$

$$\mu_{ran(R)}(y) \sup_{x} \mu_R(x, y), \forall y \in Y \, .$$

18-ta'rif. Sup-Star kompozitsiya: Agar R va S $U \times V$ va $V \times W$ dagi noravshan munosabatlar bo'lsa, R va S kompozitsiya noravshan munosabat bo'lib, $R \circ S$ kabi belgilanadi va quyidagicha aniqlanadi:

$$R \circ S = \{[(x, y\}, \sup_{y \in Y}(\mu_R(x, y) * \mu_S(y, z))] \; x \in X, \; y \in Y, \; z \in Z\}, \qquad (4.2.1)$$

Bu yerda * uchburchaksimon normalar sinfidagi ixtiyoriy operator, aniqrog'i: minimum, algebraic ko'paytma, chegaralangan ko'paytma yoki qat'iy (drastic) ko'paytma bo'lishi mumkin [3].

(4.2.1) tenglama quyidagi tarzda talqin etilishi mumkin: $\mu_{R \circ S}(x, z)$ - X ni Z bilan ulovchi zanjirlar to'plamining kuchidir. Har bir zanjir x-y-z shaklga ega. Bunday zanjirning kuchi eng sust ulanishning kuchiga tengdir. X va z o'rtasidagi munosabatning kuchi x va z o'rtasidagi eng kuchli ulanishning kuchidir.

A – X dagi noravshan to'plam bo'lsin. (4.2.1) ni quyidagicha yozib olish mumkin:

$$\mu_{A \circ R}(y) = \sup_{x} \min(\mu_A(x), \mu_R(x, y)) \, .$$

Biz $B = A \circ R$ ni A dan R orqali induksiyalangan noravshan to'plam deb ataymiz. Bu induksiya mashhur ravshan qoidani umumlashtiradi: agar x=a va y=f(x) bo'lsa, u holda y=f(a).

$B = proj[C(A) \cap R; Y]$ ga ega bo'lamiz.

Noravshan munosbatni chekli universumda tasvirlash mumkin.

Bog'langan X va Y universumlar chekli bo'lsa, $X * Y$ dagi R noravshan munosabat [R] matrisa ko'rinishida tasvirlanishi mumkin, uning termi $[R]_{ij} \;\; \mu_R(x_i, y_j) = r_{ij}, \quad i = \overline{1, n}; \; j = \overline{1, m}$ ga tebg bo'lib, bu yerda $|X| = n$ $|Y| = m$.

$$[S]_{jk} = S_{jk} \, , \; k = \overline{1, p}; \quad P = |Z| ,$$

ni hisobga olgan holda, chekli noravshan munosabatlarning kompozitsiyasi

$$[ROS]_{ik} = \sum_j r_{ij} S_{jk},$$

Matrisaviy ko'paytma ko'rinishida qaralishi mumkin, bu yerda yig'indi max amali, ko'paytirish esa min amali orqali amalga oshiriladi.

$R \circ S$ quyidagi ko'rinishda yozib olinganligi uchun

$$proj[C(R) \cap C(S); X \times Z],$$

Bu yerda R va S $X \times Y$ va $Y \times Z$ da berilgan bo'lib, boshqa kompozitsiyalar kesishmaga nisbatan qo'llanilgan operatorni zamonaviylashtirish orqali kiritilishi mumkin.

min ni * ga o'zgartirib, $R * S$ ni

$$\mu_{R*S}(x,z) = \sup_y(\mu_R(x,y) * \mu_S(y,z)).$$

Orqali kiritamiz.

Biz boshqa ustuvor kompozitsiyalar inf-max, sup-prod va boshqalarga duch kelishimiz mumkin.

4.3. AGAR-U HOLDA noravshan munosabat

A va B – X va Y universumlardagi noravshan qism to'plamlardir.

A va B noravshan qism to'plamlarni X va Y mulohazalar sohasida bog'lash uchun, noravshan shartli tasdiq tushunchasi kiritiladi, ya'ni

$A \to B$ "AGAR A U HOLDA B" da.

Implikasiya orqali olingan R munosabat A va B qism to'plamlarning kartezian ko'paytma atamalarida ifodalanib, $R = A \times B$ orqali belgilanadi va uning tegishlilik funksiyasi quyidagicha aniqlanadi

$$\mu_R(x,y) = \mu_{A\times B}(x,y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)],\ x \in X,\ y \in Y \tag{4.3.1}$$

Misol

1.Noravshan implikasiya berilgan: agar A u holda B. Kompozitsiyaning min amalidan foydalangan holda $R = A \times B$ noravshan munosabatni hisoblang, bunda

a) A=0.1/20+0.3/21+0.4/22,

B=0.33/60+0.45/65+0.78/70;

$$R = A \times B = 0.1/(20,60) + 0.1/(20,65) + 0.1/(20,70) + 0.3/(21,60) + 0.3/(21,65) +$$
$$+ 0.3/(21,70) + 0.33/(22,60) + 0.4/(22,65) + 0.4/(22,70).$$

Shuningdek, biriktirilgan noravshan munosabat ham uchrashi mumkin. Bunday holatlarda noravshan shartli tasdiq biriktirilgan bo'lib, AGAR A U HOLDA AGAR B U HOLDA C ko'rinishga ega bo'ladi. U holda R noravshan munosabat quyidagi ko'rinishda yozib olinadi:

$$R = A\times(B\times C) = A\times B\times C \qquad (4.3.1)$$

Noravshan implikasiya ikkita impliasiyadan iborat bo'lishi mumkin.

Bunday sodda implikasiyalar "yoki", "va" biriktiruvchilardan

foydalangan holda ulanadi.

Misol.

AGAR A_1 U HOLDA B_1

Yoki(aks holda) AGAR A_2 U HOLDA B_2

Implikasiya berilgan bo'lsin, bu yerda A_1, A_2 - X dagi noravshan qism to'plamlar, B_1, B_2 - esa Y dagi noravshan qism to'plamlar.

Natijaviy noravshan munosabat R individual noravshan munosabatlarning birlashmasi ko'rinishida hisoblanadi R_i $(i=1,2)$:

$$R = \bigcup_{i=1,2} R_i = \bigcup_{i=1,2} A_i \times B_i \qquad (4.3.2)$$

R tegishlilik funksiyasi quyidagi ko'rinsihda aniqlanadi

$$\mu_R(x,y) = \max_x\{\min[\mu_{A1}(x), \mu_{B1}(y)], \min[\mu_{A2}(x), \mu_{B2}(y)]\}. \qquad (4.3.3)$$

Bu bitta emas, ikkitadan ortiq implikasiyalar bilan ish ko'rish holiga nisbatan kengaytirilishi mumkin.

$R = X\times Y$ noravshan munosabat va A noravshan qism to'plamning A' qiymati berilgan bo'lsin. Munosabatdan B' mos qiymatni quyidagi ko'rinishda yozib olingan kompozitsion chiqarish qoidasini qo'llash orqali chiqarish uchun ishlatiladi.

$$B' = A'\circ R = A'\circ(A\times B).$$

Tegishlilik funksiyasi quyidagi ko'rinishda aniqlanadi

$$\mu_{B'}(y) = \max_x \min[\mu_{A'}(x), \mu_R(x,y)].$$

Ternar noravshan munosabat holida formulalarning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$C' = A'\circ(B'\circ R) = A'\circ(B'\circ(A\times B\times C)),$$

$$\mu_{C'}(z) = \max_x \min\left[\mu_{A'}(x), \max_y \min[\mu_B(y), \mu_R(x,y,z)]\right]. \qquad (4.3.4)$$

Misol.

AGAR A U HOLDA B BO'LSA U HOLDA C norvshan implikasiya berilgan. $R = A\times B\times C$ noravshan munosabatni hisoblaymiz.

A=0.3/5+0.5/6+0.8/7,

B=0.3/15+0.5/16+0.8/17,

C=0.2/25+0.4/26+0.6/27;

$R = A \times B \times C =$

=0.2/(5,15,25)+0.3/(5,15,26)+0.3/(5,15,27)+
+0.2/(5,16,25)+0.3/(5,16,26)+0.3/(5,16,27)+
+0.2/(5,17,25)+0.3/(5,17,26)+0.3/(5,17,27)+

+0.2/(6,15,25)+0.4/(6,15,26)+0.3/(6,15,27)+
+0.2/(6,16,25)+0.4/(6,16,26)+0.5/(6,16,27)+
+0.2/(6,17,25)+0.4/(6,17,26)+0.5/(6,17,27)+

+0.2/(7,15,25)+0.3/(76,15,26)+0.3/(7,15,27)+
+0.2/(7,16,25)+0.4/(7,16,26)+0.6/(7,16,27)+
+0.2/(7,17,25)+0.4/(7,17,26)+0.56/(7,17,27).

Norvashan graf.

Norvashan munosabat tushunchasi bilan noravshan graf tushunchasi chambarchas bog'liq. E sodda tugunlar to'plami bo'lsin. Norvahsan graf quyidagi ko'rinishda aniqlanadi [3]

$$G(X_i, X_j) = \{((X_i, X_j), \mu_G(X_i, X_j))/(X_i, X_j) \in E \times E\}.$$

Agar E-noravshan to'plam bo'lsam u holda noravshan graf noravshan munosabatlarga o'xshash usulda aniqlanadi.

Misol.

$E = \{X_1, X_2, X_3, X_4\}$. U holda noravshan graf quyidagicha tasvirlanishi mumkin

$$G(X_i, X_j) = \{[(X_1, X_2),0.3],[(X_1, X_3),0.6],[(X_1, X_1),1],[(X_2, X_1),0.4],$$
$$[(X_3, X_1),0.2],[X_3, X_2),0.5],[(X_4, X_3),0.8]\}.$$

4.4.Noravshan tahlil

4.4.1. Noravshan funksiya

Avvalo noravshan to’plamlarga nisbatan klassik matematik usullarni umumlashtirishga mo’ljallangan noravshan to’plamlar nazariyasidagi asosiy qonuniyat hisoblangan Zade kengaytmasi tamoyilini kiritamiz [1-4].

X universum, A-X dagi noravshan to’plam, f esa X dan Y ga akslantirish, y=f(x) bo’lsin. U holda kengaytirish yamoyili Y dagi B noravshan to’plamni

$$B = f(A) = \{(y, \mu_B(y)) \mid y = f(x), x \in X\}$$

Kabi aniqlashga imkon beradi, bu yerda

$$\mu_B(y) = \begin{cases} \sup\limits_{x \in f^{-1}(y)} \mu_A(x), & если \; f^{-1}(y) \neq 0, \\ 0, & qo\lg an\, hollarda. \end{cases}$$

Misol.

A={(-1,0.3), (0,0.6), (1,1) (2,0.2)}

$f(x) = x^2$.

Kengaytirish tamoyilini qo’llagan holda quyidagini hisoblaymiz B=f(A)={(0,0.6), (1,1), (4,0.2)}.

Noravshan funksiya.

$f : R \to R$ funksiya (ravshan) berilgan bo’lsin. U holda uning grafigini tanlash mumkin [5]

$$\{(x, y) \in R^2 | y = f(x)\} \tag{4.4.1}$$

Tegishlilik qiymatlari shu grafikdan masofaning uzoqlashib borishi bilan monoton kamayuvchi F noravshan to’plamning yadrosi sifatida olamiz. Ushbu noravshan F to’plam noravshan funksiyani ifodalaydi. Yaqqol f funksiyalar uchun biz F ni yadrosi {f(x)} ga, tegishlilik funksiyasi esa

$$\mu_{Y(x)}(y) = \mu_F(x, y) \tag{4.4.2}$$

ga eng bo’lgan Y(x) noravshan sonlar oilasi (x parametrli) deb olishimiz mumkin. Quyidagi grafikli oshkormas funksiya holida

$$\{(x, y) \in R^2 | f(x, y) = 0\} \tag{4.4.3}$$

Noravshan oshkormas funksiyaga o’tishda sohaning chegarasi (ravshan) sifatida xususiy-ehtimolli interpretasiyadan foydalanishimiz mumkin.

Noravshan funksiyalarning uchta asosiy turi mavjud:

Nravshan xossali yoki noravshan cheklanishlarni qanoatlantiruvchi soda funksiyalar;

Argumentlarning noravshanligini akslantirib, o’zlari qo’shimcha noravshanlikni kiritmaydigan funksiyalar: bunda ravshan elementning obrazi funksiyaning ravshan qiymatiga teng bo’ladi;

Ravshan argumentning yomon-aniqlangan funksiyalar: biror bir elementning obrazi funksiya ta’siri ostida yuvilib ketadi.

f –W dagi sodda funksiya V

$$x \in V \to f(x) \in W\,,$$

V va W – ikkita universum.

A va B – mos ravishda V va W dagi ikkita noravshan to’plam. F deb noravshan A domenga va noravshan B sohaga ega bo’lganga aytiladi, faqat va faqat quyidagi munosabat o’rinli bo’lsa

$$\forall x \in V,\ \mu_B(f(x)) \geq \mu_A(x)\,.$$

Ravshan funksiyaning noravshan kengaytmasini ko’rib chiqamiz.

f – W dagi V ravshan funksiya: V dagi X noravshan to’plamning obrazi kengaytirish tamoyili yordamida aniqlanadi.

$$\mu_{f(x)}(y) = \sup_{x \in f^{-1}(y)} \mu_X(x) \tag{4.4.4}$$

$$\mu_{f(x)}(y) = 0\text{, если } f^{-1}(y) = 0\,,$$

Bu yerda $f^{-1}(y)$ - y antsedentlar to’plami.

X va Y universumlar va P(Y) Y dagi barcha noravshan to’plamlar to’plami bo’lsin.

$\tilde{f}: X \to P(Y)$ - noravshan funksiya deyiladi, faqat va faqat

$$\mu_{\tilde{f}(x)}(y) = \mu_R(x, y),\ \forall (x, y) \in X \times Y \text{ bo'lsa.}$$

Noravshan funksiyaning ekstremumi.

$\tilde{f}(x)$ chekli ordinar (noravshan bo’lmagan) D sohada aniqlansin.

$\tilde{f}(x)$ noravshan maksimum quyidagicha aniqlanadi

$$\tilde{M} = \max_{x \in D} \tilde{f}(x) = \left\{ (\sup \tilde{f}(x), \mu_{\tilde{M}}(x)) \middle|\ x \in D \right\} \tag{4.4.5}$$

4.4.2. Noravshan funskiyalarni integrallash

Noravshan funksiyani integrallash

$\tilde{f}(x)$ - $[a,b]\subset R,\ \ \forall x\in[a,b]$ dagi noravshan funksiya, $\tilde{f}(x)$ noravshan son, $f_\alpha^-(x)$ va $f_\alpha^+(x)$ - α - darajali kesimlar. [a,b] dagi $\tilde{f}(x)$ integral quyidagi noravshan to'plam sifatida aniqlanadi

$$\tilde{I}(a,b)=\left\{\left(\int_a^b f_\alpha^-(x)dx+\int_a^b f_\alpha^+(x)dx\right),\alpha\right\}. \qquad (4.4.6)$$

Bu yerda $y=\{g:[a,b]\to R/g\}$

Noravshan funskiya barcha $x\in[a,b]$ larda LR-noravshan son ko'rinishida tasvirlansin [3].

$$\tilde{f}(x)=(f(x),s(x),t(x))_{LR} \qquad (4.4.7)$$

f, s, t [a,b] dagi integrallanuvchi funksiyalar deb faraz qilinadi. U holda

$$\tilde{I}(a,b)=\left(\int_a^b f(x)dx,\int_a^b s(x)dx,\int_a^b t(x)dx\right)_{LR}.$$

Misol. $f(x)=x^2$, $s(x)=x/4$ va $t(x)=x/2$ li $\tilde{f}(x)=(f(x),s(x),t(x))_{LR}$ noravshan funksiya berilgan bo'lsin.

$$L(x)=\frac{1}{1+x^2},\qquad R(x)=\frac{1}{1+2|x|}.$$

$\int_1^4 \tilde{f}$ ni toppish talab etiladi. Quyidagi integrallarni hisoblaymiz

$$\int_1^4 x^2dx=21;\quad \int_1^4 \frac{x}{4}dx=1/875;\quad \int_1^4 \frac{x}{2}dx=3.75.$$

U holda $\tilde{I}(a,b)$ noravshan integralning qiymati quyidagiga teng bo'ladi

$$\tilde{I}(a,b)=(21{,}1.875{,}3.75)_{LR}.$$

Uchlari $\mu_a(x),\mu_b(x)$ bo'lgan noravshan oraliqda ravshan funksiyaning integrallashuvini ko'rib chiqamiz. $\mu_a(x)$ va $\mu_b(x)$ $\tilde{D}$ noravshan sohaning quyi va yuqori chegaralarining darajalari sifatida talqin etilishi mumkin. F $J=[a_0,b_0]$ oraliqdagi soda integrallanuvchi funksiya bo'lsin. Kengaytirish tamoyiliga ko'ra $\int_{\tilde{D}} f$ integralning tegishlilik funksiyasi quyidagi tarzda aniqlanadi

$$\mu_{\int_{\tilde{D}} f}(Z)=\sup_{x,y\in J}\min(\mu_a(x),\mu_b(y)) \qquad (4.4.8)$$

$$Z = \int_x^y f .$$

Misol.

a={(4,0.8), (5,1), (6,0.4)}

b={(6,0.7), (7,1), (8,0.2)}

$$f(x) = 2,\ x \in [4,8] .$$

U holda

$$\int_{\tilde{D}} f(x)dx = \int_4^8 2dx = 2x\Big|_4^8$$

Detal hisoblash natijalari quyida keltirilgan [3]

(a,b)	$\int_a^b 2dx$	$\min(\mu_x(a), \mu_x(b)$
(4,6)	4	0.7
(4,7)	6	0.8
(4,8)	8	0.2
(5,6)	2	0.7
(5,7)	4	1.0
(5,8)	6	0.2
(6,6)	0	0.4
(6,7)	2	0.4
(6,8)	4	0.2

Integralning har bir qiymatiga nisbatan tegishlilik funksiyasining maksimal qiymatini tanlab, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\int_{\tilde{D}} f\{(0,0.4),(2,0.7),(4,1),(6,0.8),(8,0.2)\} .$$

4.4.3. Noravshan funskiyalarni differensiallash

Noravshan differensiallash.

“Funksiyaning $\tilde{X}_0$ noravshan nuqtadagi hosilasi” noravshan to’plamning tegishlilik funksiyasi kengaytirish tamoyiliga ko’ra quyidagicha aniqlanadi

$$\mu_{f(\tilde{X}_0)}(y) = \sup_{x \in f^{-1}(y)} \mu_{\tilde{X}_0}(x) \qquad (4.4.9)$$

Misol. $f(x) = \frac{3}{5}x^5$

$$\tilde{X}_0 = \{(-1, 0.3), (0,1), (1,5)\}$$

$f'(x) = 3x^4$. f(x) haqiqiy funskiyaning $\tilde{X}_0$ nuqtadagi qidiriluvchi hosilasi quyidagiga teng bo’ladi

$$f'(x_0) = \{(0,1), (3, 0.6)\}.$$

Noravshan hosilaning quyidagi xossalarini qayd etamiz [3].

Agar f' va g' uzluksiz va ikkalasi kamayuvchi yoki o’suvchi bo’lsa, u holda

$$f'(\tilde{x}_0) \oplus g'(\tilde{x}_0) = (f' + g')(\tilde{x}_0)$$

$$(f \cdot g)'(\tilde{x}_0) = (f'g + fg')(\tilde{x}_0) \subseteq [f'(\tilde{x}_0) \otimes g(\tilde{x}_0)] \oplus [f(\tilde{x}_0) \cdot g'(\tilde{x}_0)].$$

Agar f, g, f' va g' uluksiz, f va g musbat va f’ hamda g’ lar kamaymaydigan bo’lsa (f,g-manfiy, f’,g’-o’smaydigan), u holda

$$(f \cdot g)'(\tilde{x}_0) = [f'(\tilde{x}_0) \otimes g(\tilde{x}_0)] \oplus [f(\tilde{x}_0) \cdot g'(\tilde{x}_0)]$$

R_0 dagi F noravshan funksiyaning x nuqtadagi hosilasi quyidagicha aniqlanadi

$$\mu_{F(x_0)}(y) = \sup\{\alpha \mid y = (f_\alpha^q)'(x_0),\ q \in \{+,-\}\}$$

Bu yerda f_α^+, f_α^- lar barcha $\alpha \in [0,1]$ larda mavjud, chegaralangan va differensialanuvchi deb olinadi.

4.4.4. Noravshan tenglamalar

Noravshan tenglamalar.

Umumiy holda, noravshan tenglamalar deb koeffitsiyentlari va/yoki o'zgaruvchilari noravshan son bo'lgan tenglamalarga aytiladi.

Amaliyotda ko'pincha soda matematik termli va noravshan matemtik munosabatli tenglamalar va noravshan sonli va sodda matematik munosabatli tenglamalar ko'p uchraydi.

Agar f_1 va f_2 matematik termlar ($x \in R^1$ elementlar va bog'lovchi amallar: $+,\times,-,:$ konsturksiyasi), Q noravshan munosabat bo'lsa, u holda

$$f_1 Q f_2$$

noravshan munosabatli noravshan tenglama deb ataladi.

Q a misol bo'lib Q $\triangleq$ «taxminan teng» xizmat qilishi mumkin.

Agar f_1 va f_2 noravshan termlar ($\mu_{A_i} \in F(R^1)$, $i \in N$ elementlarning $\oplus, \approx, \otimes, \tilde{\max}, \tilde{\min}$ amallar bilan bog'langan konstruksiyalari), R esa sodda matematik munosabatlar bo'lsa, α-kesimlardan foydalangan holda quyidagi tenglamani aniqlash mumkin

$$\left(\bigcup_{\alpha} \alpha f_1 \alpha\right) R \left(\bigcup_{\alpha} \alpha f_2 \alpha\right) = \left(\bigcup_{\alpha} \alpha\left[\delta_{f_1}, \gamma_{f_1}\right]\right) R \left(\bigcup_{\alpha} \alpha\left[\delta_{f_2}, \gamma_{f_2}\right]\right). \qquad (4.4.10)$$

Bu yerda $\delta_{f_1} \triangleq \delta_{f_1}(\alpha)$; $\delta_{f_2} \triangleq \delta_{f_2}(\alpha)$; $\gamma_{f_1} \triangleq \gamma_{f_1}(\alpha)$; $\gamma_{f_2} \triangleq \gamma_{f_2}(\alpha)$.

$\delta_f(\alpha) = \mu_+^{-1}(\alpha)$, $\gamma_f(\alpha) = \mu_-^{-1}(\alpha)$, $\mu_+^{-1}(\alpha)$, $\mu_-^{-1}(\alpha)$ - mos ravishda $\mu_f(x)$ ning o'suvchi va kamayuvchi qismlariga nisbatan teskari funksiyalardir.

Agar $\mu_A > 0, \mu_X > 0, \mu_C > 0, f_1 \triangleq \mu_C, f_2 \triangleq \mu_A \otimes \mu_X$ bo'lsa,
U holda

$$\mu_C = \mu_A \otimes \mu_X \Leftrightarrow \bigcup_{\alpha} \alpha[\delta_C, \gamma_C] = \bigcup_{\alpha} \alpha[\delta_A \delta_X, \gamma_A \gamma_X].$$

Demak $f_1(x) R f_2(x)$ turdagi tenglamani yechish uchun uni (4.4.10) ko'rinishga keltirish va δ_x hamda γ_x ga nisbatan alohida-alohida yechib olish kerak.

4.5. Lingvistik va noravshan o'zgaruvchilar

4.5.1. Lingvistik o'zgaruvchining ta'rifi va xossalari

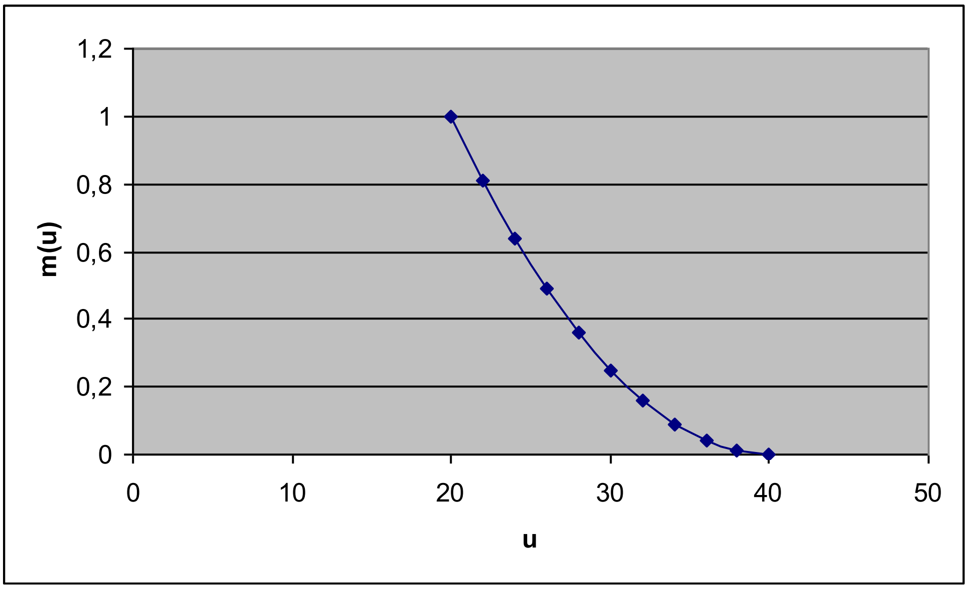
Oxirgi yillarning amaliy tadqiqotlari ko'rsatishicha sonli ma'lumotlarni EHM da aniq qayta ishlashga asoslangan tizimlarning sodda tahlil va modellashtirish usullari real texnologik jarayonlarni to'laligicha qamrab ololmaydi. Bunday holat oxirgilarning xatti-harakati to'g'risidagi sezilarli xulosalarni olish uchun ravshan aniqlangan mexanik tizimlarni matematik tahlil etishda zarur bo'lgan o'lchash aniqligiga qo'yilgan an'anaviy talablardan voz kechishga tog'ri keladi.

Aniqlik va determinatsiyalanganlikni qurbon qilish zarurati "Inson-EHM" konturida operator tomonidan qaror qabul qilish bilan bog'liq boshqaruv masalalarining ma'lum bir sinfi paydo bo'lishi hisobiga paydo bo'ladi. Bunday konturda muloqotni amalga oshirish uchun inson tushunchalari va tasavvurlariga yaqin noravshan mezonlarni ta'riflashga qodir tabiiyga yaqin tillardan foydalanish kerak. Bu borada birinchi bora L.Zade tomonidan kiritilgan lingvistik o'zgaruvchi [1,2] tsuhunchasidan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Bu kabi lingvistik o'zgaruvchilar aniq determinatsiyalangan ta'rif bo'lmagan holda predmet va hodisalarning taxminiy so'zli ta'rifini to'g'ri akslantirishga imkon beradi. Bunda, ko'pgina lingvistik usulda ta'riflangan noravshan kategoriyalar ta'rifning o'zi kabi katta axborotni o'z ichida saqlaydi.

Misol tariqasida "Mamed 25 yoshda" iborasi «Mamed yosh" iborasi sifatida tasvirlanishi mumkin (4.5.1-rasm). Bunda yosh so'zi yosh o'zgaruvchining lingvistik qiymati sifatida qabul qilinishi mumkin, bunda lingvistik qiymat 25 sonli qiymat kabi ahamiyatni kasb etadi. Huddi shu tasdiqni 17,24,31 sonli qiymatlar bilan solishtirganda o'ta yosh, yoshroqqa nisbatan bir oz kattaroq, deyarli o'rta yoshda lingvistik qiymatlar tog'risida ham aytish mumkin.

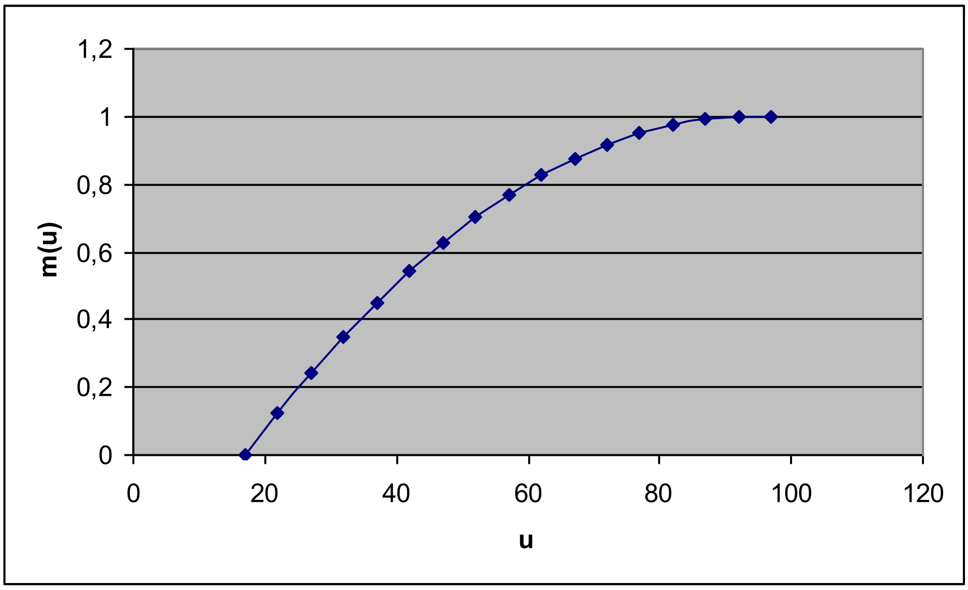
Lingvistik o'zgaruvchi qiymatlarining majmui shu o'zgaruvchining term-to'plamini hosil qiladi. Bu to'plam umuman olganda cheksiz sondagi elementlarga ega bo'lishi mumkin, lekin amaliyotda tabiiyki u chekli. Masalan yosh lingvistik o'zgaruvching term-to'plami quyidagicha yozib olinishi mumkin:

T(yosh)=o'ta yosh+deyarli yosh+yosh+…+deyarli o'rta yosh+o'rta yosh+…+qari+qariga nisbatan bir oz kattaroq+o'ta qari.



4.5.1-rasm. “Yosh” lingvistik qiymat

«+» ishorasi bu yerda birlashmani ifodalaydi. Yosh lingvistik o’zgaruvchisi holda 17,24,31,38,…,94 qiymatlarni qabul qiluvchi yosh sonly o’zgaruvchi yosh lingvistik o’zgaruvchining bazali o’zgaruvchisidir. Masalan, qari (4.5.2-rasm) kabi lingvistik qiymatni bazali o’zgaruvchining qiymatiga qo’yilgan ma’lum bir noravshan cheklanish sifatida talqin etish mumkin. Aynan shu cheklanishni **qari** ligvistik qiymatning ma’nosi deb hisoblaymiz.



4.5.2-rasm. «Qari” lingvistik qiymat

Bazali o’zgaruvching qiymatlariga qo’yilgan noravshan cheklanishlar bazali o’zgaruvchining har bir qiymatiga [0,1] oraliqdagi shu qiymatning noravshan cheklanish bilan mosligini ifodalovchi sonni mos qo’yuvchi moslik funksiyasi bilan xarakterlanadi. Matematik jihatdan va qoida bo’yicha moslik funksiyasi yuqorida kiritilgan tegishlilik funksiyasiga o’xshashdir.

Agar X – noravshan o’zgaruvchining nomi bo’lsa, shu nom tufayli kelib chiqqan cheklanishlarni X o’zgaruvching ma’nosi sifatida talqin etish mumkin, Shunda, yosh noravshan o’zgaruvchining qari qiymati tufayli kelib chiqqan cheklanish U=[17,94] to’plamning quyidagi ko’rinishdagi noravshan qism to’plamini ifodalasa =

$$R(qari)=\int_{17}^{94}\left\{1-\left[1-\frac{(u-17)}{77}\right]^{2}\right\}/u,\quad u\in U\ ,$$

U holda ushbu noravshan to’plamni qari o’zgaruvching ma’nosi deb hisoblash mumkin.

Lingvistik o’zgaruvchi tushunchasining boshqa muhim omili lingvistik o’zgaruvchiga ikkita qoidaning mos qo’yilganligidir: sintaktik, o’zgaruvchi qiymatining nomini keltirib chiqaruvchi grammatika shaklida va har bir qiymatning ma’nosini hisoblashning algoritmik prosedurasini aniqlaydigan semantic ko’rinishda. Shunday qilib, bu qoidalar lingvistik o’zgaruvchi tuzilmasini ta’riflashning sezilarli qismini tashkil etadi.

Lingvistik o’zgaruvchi tushunchasini muhokama qilish oraliq xarakterga ega bo’lgan, shuning uchun u rasmiy emas. Ushbu tusuhunchani matematik rasmiylashtirish uchun o’zgaruvchi va noravshan o’zgaruvchi tushunchalari bilan bog’liq ayrim ta’rif va izohlarni keltirish lozim. Bu borada quyidagilarni keltiramiz:

Sodda o’zgaruvchi. Sodda (ravshan) o’zgaruvchi [3] (X,U,R(X;u)) uchlik bilan xarakterlanadi, bu yerda X-o’zgaruvchining nomi; U-universal to’plam (chekli va cheksiz); u- U to’plam elementlarining umumiy nomi (barcha elementlar uchun umumiy); R(X;u)- X nom bilan ataluvchi u elementlarning qiymatiga qo’yilgan cheklanishni ifodalovchi U to’plamning qism to’plami.

Bundan tashqari, o’zgaruvchiga $x=u\div R(X;u)$ mos qo’yish tenglamasi, yoki bunga ekvivalent tenglik

$$x=u\,,\qquad u\in R(X;u)\,.$$

Mos keladi. Bu tenglama x o’zgaruvchiga R(X;u) cheklanishni hisobga olgan holda u qiymat berilganlik omilini akslantiradi. Shunday qilib, mos qo’yish tenglamasi $u\in R(X;u)$ bo’lgandagina o’rinli bo’ladi.

Aytilganlarni yosh o'zgaruvchisining o'zida ham tasvirlash mumkin. Bu yerda U sifatida butun sonlar to'plami 0, 1, 3, … ni olish mumkin, R(X;u) esa 17, 24, 31, … , 94 ning qism to'plami bo'lishi mumkin.

Noravshan o'zgaruvchi. [3] noravshan o'zgaruvchi $(\bar{X}, U, R(X;\bar{u}))$ uchlik bilan xarakterlanadi, bu yerda X-o'zgaruvchining nomi; $R(X;\bar{u})$ - o'zgaruvchilarning qiymatiga qo'yilgan noravshan cheklanish. Chegaralanmagan sodda (ravshan) u o'zgaruvchi X ga nisbatan bazali hisoblanadi. X uchun mos qo'yich tenglamasining ko'rinishi

$$x = u : R(X;u)$$

Kabi bo'lib, x elementga $R(X;u)$ cheklanishni hisobga olgan holda u qiymat berilganligini ifodalaydi.

Shu tenglik qanoatlantiriluvchi darajani u qiymatning $R(X;u)$ bilan moslanganligi deb atash va C(u) orqali belgilashga kelishilgan. T'arifga ko'ra

$$C(u) = \mu_{R(X;u)}(u), u \in U,$$

Bu yerda $\mu_{R(X;u)}(u)$ -u ning $R(X;u)$ cheklanishga tegishlilik darajasi.

Sodda va noravshan o'zgaruvchilarga ta'rif keltirgandan so'ng, yuqori tartibli o'zgaruvchi hisoblangan lingvistik o'zgaruvchining shakllangan ta'rifiga o'tamiz. Bu borada quyida keltirilgan ta'rifni bayon etamiz.

Lingvistik o'zgaruvchi. [3] lingvistik o'zgaruvchi (x, T(x), U, G, M) to'plam bilan xarakterlanadi, bu yerda: x-o'zgaruvchining nomi; T(x)- x o'zgaruvchining term-to'plamini, ya'ni x o'zgaruvchi lingvistik qiymatlarining nomlari to'plamini ifodalaydi, jumladan bunday qiymatlarning har biri u bazali o'zgaruvchili U universal to'plamidan olingan qiymatli X o'zgaruvchi bo'ladi; G – x o'zgaruvchi X qiymatlarning nomini keltirib chiqaruvchi sintaktik qoida (odatda grammatika shakliga ega bo'ladi); M- Har bir noravshan o'zgaruvchi X ga uning ma'nosi M(X) ni, ya'ni universal U to'plamning noravshan to'plami M(X) ni mos qo'yuvchi semantic qoida.

G sintatik qoida tufayli kelib chiqqan aniq X nom term deb ataladi. Bitta yoki har doim o'zaro ta'sirlashuvchi bir nechta so'zlardan iborat term atomar term deb ataladi. Tarkibiy termning ayrim komponentalarni konkatenasiyalash (ya'ni bir biriga tarkibiy termlar komponentalar zanjirini yozib qo'yish natijasi) qism term deb ataladi. Bu yerda $X_1, X_2,...$ -

$$T = X_1 + X_2 + ...$$

dagi termlar.

M(X) termning ma’nosi X noravshan o’zgaruvchi bilan ta’minlangan u bazali o’zgaruvchiga qo’yilgan $R(X;u)$ cheklanish sifatida aniqlanadi:

$$M(X) \triangleq R(X;u), \tag{4.5.1}$$

Jumladan $R(X;u)$ bo’lganligi uchun, M(X) ni X nomga ega bo’lgan U to’plamning noravshan qism to’plami sifatida qabul qilish mumkin.

Lingvistik o’zgaruvchi holida mos qo’yish tenglamasida X-term G grammatika tufayli kelib chiqqan T(x)-nomni qabul qiladi, bundan X termga berilgan ma’no quyidagi tenglik bilan ifodalanadi

$$M(X)=R(\text{терм} - T(x)). \tag{4.5.2}$$

Boshqa so’z bilan aytganda, X termning ma’nosi M semantik qoidani (4.5.2) tenglamaning o’ng tomoniga binoan belgilangan X termning qiymatiga nisbatan qo’llash orqali hosil qilinadi. Bundan tashqari, (4.5.1) dan M(X) X term bilan ta’minlangan cheklanishga o’xshash ekanligi kelib chiqadi.

T(x) dagi elementlar soni cheksiz bo’lishi mumkin, bunda T(X) elementlarni keltirib chiqarish uchun ham, ularning ma’nosini hisoblash uchun ham term-to’plam elementlarini ko’rib chiqish prosedurasini emas, algoritmini qo’llash darkor.

X lingvistik o’zgaruvchi tuzilmali deyiladi, agar uning T(x) term-to’plami va term-to’plamning har bir elementiga uning ma’nosini mos qo’yuvchi M funksiyani algoritmik ko’rinishda berish mumkin bo’lsa. Bu mulohazalarga ko’ra, tuzilmaviy lingvistik o’zgaruvchi bilan bog’langan sintaktik va semantic qoidalarni T(x) to’plam elementlarini keltirib chiqarishning algoritmik proseduralari sifatida qabul qilish mumkin.

Lekin, amaliyotda bir qancha termlardan tuzilgan term to’plamlarga duch kelinadi, shuning uchun T(x) term-to’plamning elementlarini shunchaki sanab o’tish va har bir element bilan uning ma’nosi o’rtasida to’g’ridan-to’g’ri moslikni o’rnatish maqsadga muvofiqdir.

4.6.Noravshan arifmetika

4.6.1. Noravshan sonlar va noravshan sonlar ustida amallar

Avvalo noravshan sonlarning asosiy ta’riflarini va ular ustidagi amallarni ko’rib chiqamiz [1-4].

Noravshan son. Haqiqiy tog’ri chiziqdagi noravshan A soni- $\mu_A : R \to [0,1]$ tegishlilik funksiyasi bilan xarakterlanuvchi noravshan to’plamdir. A noravshan son quyidagicha aniqlanishi mumkin

$$A = \int_R \mu_A(x)/x\,, \qquad (4.6.1)$$

bu yerda $\int$ - barcha $x \in R$ bo’yicha birlashtirish ishorasi.

Noravshan sonning qavariqligi. Haqiqiy to’g’ri chiziqdagi A noravshan son haqiqiy x,y,z$\in R$ sonlarga nisbatan $x \le y \le z$ da

$$\mu_A(y) \ge \min(\mu_A(x), \mu_A(z)) \qquad (4.6.2)$$

munosabat bajarilganda qavariq deyiladi.

Norvashan sonning normalligi. Haqiqiy o’qdagi A noravshan son normal deyiladi, **agar** $\max_x \mu_A(x) = 1$ bo’lsa.

Noravshan sonning chegaralari. Agar a songa nisbatan quyidagi munosabat bajarilsa

$$\forall \delta \mu_A = 0; \quad \mu(a-\delta) \ne 0,\ \mu(a+\delta) \ne 0\,, \qquad (4.6.3)$$

U holda u tegishlilik funksiyaning chegarasi deyiladi. Agar bunday chegaralar ikkita: yuqori (b) va quyi(a) ekanligini hisobga olsak, A noravshan sonni quyidagi ko’rinishda yozib olish mumkin

$$A = \int_a^{\bar{a}} (x-a)/x + \int_{\bar{a}}^{b} (b-x)/x\,. \qquad (4.6.4)$$

Umumlashtirish tamoyili. Haqiqiy R to’g’ri chiziqda A va B noravshan sonlar berilgan bo’lsin. A va B lar ustida * amalini quyidagi munosabatdan foydalangan holda amalga oshirish mumkin

$$A * B = \int_R \min(\mu_A(x), \mu_B(y))/(x * y)\,. \qquad (4.6.5)$$

* gipotetik amalining o’rniga arifmetik +, -, ×, : lardan foydalangan holda A va B ustidagi to’rtta arifmetik amalni hosil qilib olish mumkin:

$$A + B = \int_R \min(\mu_A(x), \mu_B(y))/(x + y)\,. \qquad (4.6.6)$$

$$A - B = \int_R \min(\mu_A(x), \mu_B(y))/(x - y)\,. \qquad (4.6.7)$$

$$A \times B = \int_R \min(\mu_A(x), \mu_B(y))/(x \times y)\,. \qquad (4.6.8)$$

$$A:B=\int_R \min(\mu_A(x),\mu_B(y))/(x:y)\,. \qquad (4.6.9)$$

(4.6.4) dan foydalangan holda quyidagini hosil qilib olish mumkin

$$A*B=\left(\int_a^{\bar a}\mu_A(x)/x+\int_{\bar a}^{b}\mu_A(x)/x\right)*\left(\int_{a'}^{\bar b}\mu_B(x)/x+\int_{\bar b}^{b'}\mu_B(x)/x\right)=$$

$$=\int_{a''}^{\bar a*\bar b}\mu_{A*B}(x)/x+\int_{\bar a*\bar b}^{b''}\mu_{A*B}(x)/x,$$

(4.6.10)

bu yerda a'',b'' a, b dan hosil qilib olinadi a',b' esa ma'lum amalga qarab hosil qilinadi, $\mu_{A*B}(x)$ amalga qarab va μ ning normallashinuviga qarab aniqlanadi. A+B ni hisoblaymiz

$$A+B=\left(\int_a^{\bar a}\mu_A(x)/x+\int_{\bar a}^{b}\mu_A(x)/x\right)+\left(\int_{a'}^{\bar b}\mu_B(x)/x+\int_{\bar b}^{b'}\mu_B(x)/x\right)=$$

$$=\int_{a''}^{\bar c}\mu_C(x)/x+\int_{\bar c}^{b''}\mu_C(x)/x=C, \qquad (4.6.11)$$

bu yerda

$$\bar c=\bar a+\bar b\,,\ a''=a+a'\,,\ b''=b+b'\ . \qquad (4.6.12)$$

μ_C $\mu_C=k_1x+k_2$ ko'rinishda aniqlanadi. Normallashtirishdan kelib chiqqan holda $a''\le x\le \bar c$ ga nisbatan [4] ni quyidagicha yozib olish mumkin

$$A+B=\int_{a''}^{\bar c}\frac{x-a''}{\bar c-a''}\Big/x+\int_{\bar c}^{b''}\frac{b''-x}{b''-\bar c}\Big/x=C\,. \qquad (4.6.13)$$

Qolgan arifmetik amallar uchun shunga o'xshash usulda quyidagilarni hosil qilish mumkin [4]

$$A-B=\int_{a''}^{\bar c}\frac{x-a''}{\bar c-a''}\Big/x+\int_{\bar c}^{b''}\frac{b''-x}{b''-\bar c}\Big/x=C\ , \qquad (4.6.14)$$

bu yerda

$$a''=a-b'\,,\ b''=b-a'\,,\ \bar c=\bar a-\bar b\ . \qquad (4.6.15)$$

Tegishlilik funksiyasini $\mu_c=k_1\sqrt{x}+k_2$ ko'rinishda qabul qilib, quyidagiga ega bo'lamiz

$$A*B=\int_{a''}^{\bar c}\frac{\sqrt{x}-\sqrt{a''}}{\sqrt{\bar c}-\sqrt{a''}}\Big/x+\int_{\bar c}^{b''}\frac{\sqrt{b''}-\sqrt{x}}{\sqrt{b''}-\sqrt{\bar c}}\Big/x=C\,, \qquad (4.6.16)$$

bu yerda

$$a'' = a * a',\ b'' = b * b',\ \bar{c} = \bar{a} * \bar{b}\ . \qquad (4.6.17)$$

μ_C tegishlilik funksiyasini $\mu_C = \frac{k_1}{x} + k_2$ ko'rinishda qabul qilib, quyidagiga ega bo'lamiz

$$A:B = \int_{a''}^{\bar{c}} \frac{(x-a'')\bar{c}}{(\bar{c}-a'')x} \Big/ x + \int_{\bar{c}}^{b''} \frac{(b''-x)\bar{c}}{(b''-\bar{c})x} \Big/ x = C\ , \qquad (4.6.18)$$

bu yerda

$$a'' = a' : a,\ b'' = b' : b,\ \bar{c} = \bar{b} : \bar{a}\ . \qquad (4.6.19)$$

Misollar. A=taxminan 6=$\tilde{6}$; B=taxminan 8=$\tilde{8}$.

$$\tilde{6} = \int_5^6 (x-5)/x + \int_6^7 (7-x)/x,$$

x=5 da: $\tilde{6}\big|_{x=5} = \int_5^6 (x-5)_{x=5}$ =5-5=0;

x=5,5 da: $\tilde{6}\big|_{x=5,5} = \int_5^6 (x-5)_{x=5,5}$ =5,5-5=0,5;

x=6 da: $\tilde{6}\big|_{x=6} = \int_5^6 (x-5)_{x=6}$ =6-5=1;

x=6,5 da: $\tilde{6}\big|_{x=6,5} = \int_6^7 (7-x)_{x=6,5}$ =7-6,5=0,5;

x=7 da: $\tilde{6}\big|_{x=7} = \int_6^7 (7-x)_{x=7}$ =7-7=0.

Demak

$$\tilde{6} = \{0/5; 0{,}5/5{,}5; 1/6; 0{,}5/6{,}5; 0/7\}.$$

$\tilde{8}$ uchun x=6, 7, 8, 9 va 10 da shunga o'xshash usulda quyidagiga ega bo'lish mumkin

$$\tilde{8} = \{0/6; 0{,}5/7; 1/8; 0{,}5/9; 0/10\}.$$

Noravshan sonlarning grafiklari 4.6.1-rasmda keltirilgan. Quyi va yuqori chegaralar hamda ushbu sonlarning balandliklari quyidagicha: $\tilde{6}$ uchun: a=5, b=7, $\bar{a} = 6$; $\tilde{8}$ uchun: $a' = 6, b' = 10, \bar{b} = 8$. Quyida $\tilde{6}$ va $\tilde{8}$ ustidagi to'rtta amal keltirilgan.

Qo'shish. Avvalo (4.6.12) ga ko'ra ($\tilde{6}+\tilde{8}$) yig'indining chegaralari va balandligini hisoblaymiz:

$$a''=a+a'=5+6=11; \quad b''=b+b'=7+10=17; \quad \bar{c}=\bar{a}+\bar{b}=6+8=14.$$

(4.6.13) ni hisobga olgan holda quyidagicha yozib olish mumkin

$$\tilde{6}+\tilde{8}=\int_{11}^{14}\frac{x-11}{3}\Big/x+\int_{14}^{17}\frac{17-x}{3}\Big/x=\tilde{14}.$$

$\tilde{14}$ ni har xil x larda hisoblab: x=12,5; x=15,5 $\tilde{14}$={0/11; 0,5/12,5; 1/14; 0,5/15; 0/17} larni hosil qilib olish mumkin, ular 4.6.1-rasmda grafik tasvirlangan.

Ayirish. $\tilde{8}$-$\tilde{6}$ ayirmaning chegaralari va balandligi (4.6.15) ga binoan quyidagicha aniqlanadi:

$$a''=a'-a=6-5=1; \quad b''=b'-b=10-7=3; \quad \bar{c}=\bar{b}-\bar{a}=8-6=2.$$

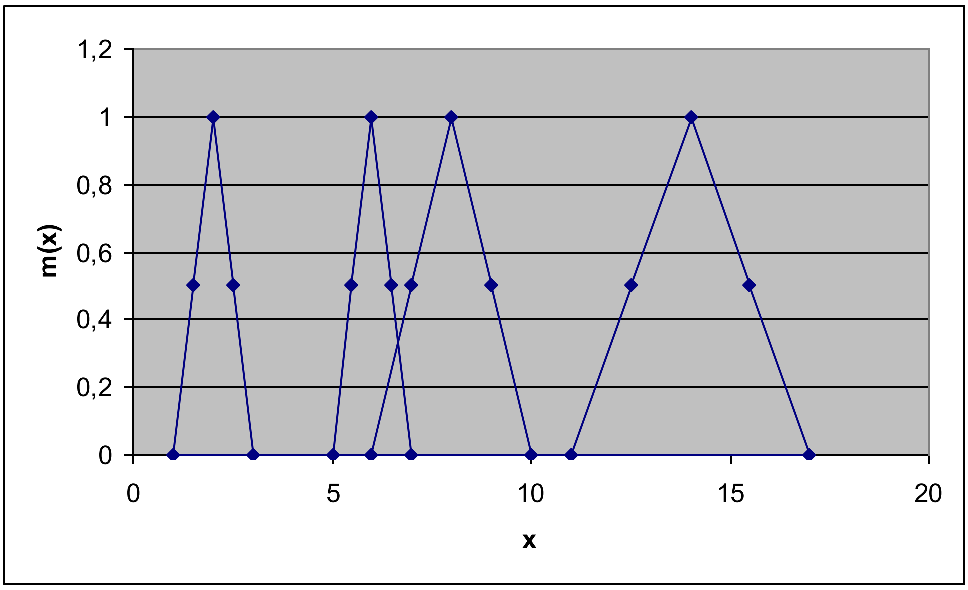
(4.6.15) ni hisobga olib, quyidagilarni hosil qilish mumkin

$$\tilde{8}-\tilde{6}=\int_{1}^{2}\frac{x-1}{3-2}\Big/x+\int_{2}^{3}\frac{3-x}{3-2}\Big/x=\tilde{2}.$$

Tegishlilik funksiyasining x=1,5 va x=2,5 dagi qiymatlari mos ravishda 0,5 va 0,5 ga teng bo'ladi. U holda

$$\tilde{2}=\{0/1;0,5/1,5;1/2;0,5/2,5;0/3\},$$

U 4.6.1-ramsda grafik tasvirlangan.



4.6.1. Noravshan sonlar:
TAXMINAN 2. TAXMINAN 6.
TAXMINAN 8. TAXMINAN 14.

Ko'paytirish. (4.6.17) munosabat orqali $\tilde{6}\times\tilde{8}: a''=a\times a'=5\times6=30; \quad b''=b\times b'=7\times10=70; \quad \bar{c}=\bar{a}\times\bar{b}=6\times8=48$ cheagara va balandlikni aniqlaymiz.

(4.6.16) ni hisobga olib $\mu_{\tilde{6}\times\tilde{8}}$ tegishlilik funksiyasini quyidagicha tasvirlash mumkin

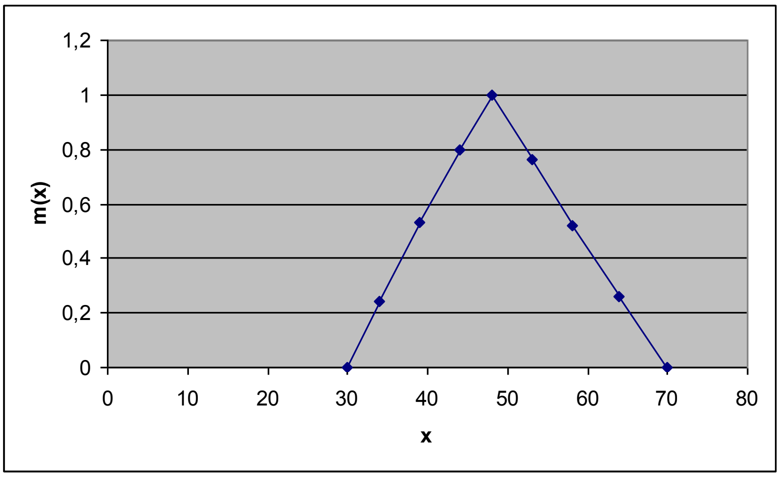
$$\tilde{6}\times\tilde{8}=\int_{30}^{48}\frac{\sqrt{x}-\sqrt{30}}{\sqrt{48}-\sqrt{30}}\Big/x+\int_{48}^{70}\frac{\sqrt{70}-\sqrt{x}}{\sqrt{70}-\sqrt{48}}\Big/x=$$

$$=\int_{30}^{48}\frac{\sqrt{x}-5{,}48}{1{,}45}\Big/x+\int_{48}^{70}\frac{8{,}37-\sqrt{x}}{1{,}44}\Big/x=4\tilde{8}$$

Tegishlilik funksiyasining x=34; x=39; x=53; x=58 nuqtalardagi qiymati mos ravishda 0,24; 0,53; 0,76; 0,52 ga teng bo'ladi. Shunday qilib

$\tilde{6}\times\tilde{8}=4\tilde{8}=\{0/30;\,0{,}24/34;\,0{,}53/39;\,0{,}8/44;\,1/48;\,0{,}76/53;\,0{,}52/58;\,0{,}26/64;\,0/70\}$,

U 4.6.2-rasmda grafik tasvirlangan.



4.6.2-rasm. Noravshan son
TAXMINAN 48.

Bo'lish. (4.6.19) ga ko'ra $\tilde{8}$ ni $\tilde{6}$ ga bo'lish natijasining chegarasi va balandligi quyidagiga teng bo'ladi

$$a''=a:b'=6:7=0{,}86;\; b''=b:a'=10:5=2{,}0;\; \bar{c}=\bar{b}:\bar{a}=8:6=1{,}33.$$

Tegishlilik funksiyasi quyidagicha aniqlanadi

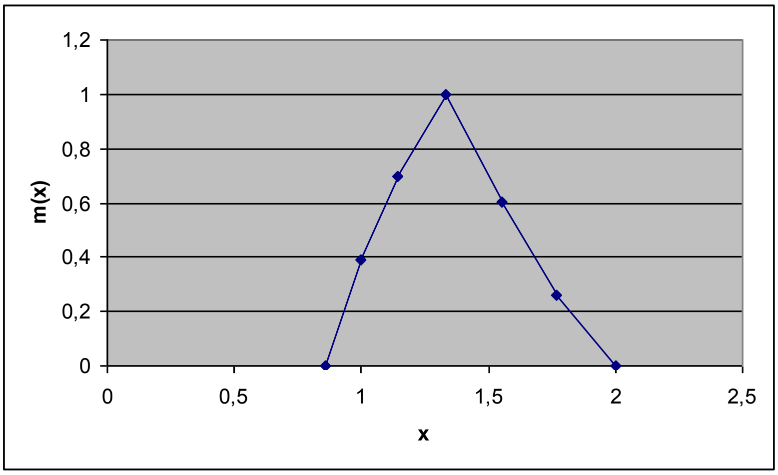
$$\tilde{8}:\tilde{6}=\int_{0,86}^{1,33}\frac{(x-0{,}86)\cdot1{,}33}{(1{,}33-0{,}86)\cdot x}\Big/x+\int_{1,33}^{2,0}\frac{(2{,}0-x)\cdot1{,}33}{(2{,}0-1{,}33)\cdot x}\Big/x=$$

$$=\int_{0,86}^{1,33}\frac{(x-0{,}86)\cdot1{,}33}{0{,}47\cdot x}\Big/x+\int_{1,33}^{2,0}\frac{(2{,}0-x)\cdot1{,}33}{0{,}67\cdot x}\Big/x=1{,}3\tilde{3}.$$

Tegishlilik funksiyasining x=1,0; x=1,14; x=1,55; x=1,77 nuqtalardagi qiymatlarini hisoblab va mos ravishda 0,39; 0,70; 0,60; 0,26 natijalarni olib, quyidagicha yozib olish mumkin

$$\tilde{8} : \tilde{6} = \{0/0{,}86;\ 0{,}39/1{,}0;\ 0{,}70/1{,}14;\ 1/1{,}33;\ 0{,}60/1{,}55;\ 0{,}26/1{,}77;\ 0/2{,}0\}.$$

U grafik ravishda 4.6.3-rasmda tasvirlangan.



4.6.3-rasm. Noravshan son
TAXMINAN 1,33

Quyida darajali ko'phadlardan foydalanishga asoslangan noravshan sonlar ustida amallar bajarishning boshqa usulini ko'rib chiqamiz, undagi hisoblashlar umumlashtirish tamoyiliga asoslangan amallarga nisbatan soddalashtirilgan [4-6]. Bunda qo'shimcha ravishda quyidagi ta'riflardan foydalanish lozim [4]: R dagi * binary amal o'suvchi deyiladi, agar $(x_1 > y_1, x_2 > y_2) \Rightarrow x_1 * x_2 > y_1 * y_2$ bo'lsa. * amal kamayuvchi deyiladi, agar $(x_1 > y_1, x_2 > y_2) \Rightarrow x_1 * x_2 < y_1 * y_2$.

Agar μ_A va μ_B tegishlilik funksiyali noravshan A va B sonlar berilgan bo'lsa, u holda ular ustidagi umumlashgan * amalning natijasi quyidagi tegishlilik funksiyasi orqali berilgan $C = A * B$ noravshan sondir

$$\mu_C(z) = \sup_{Z=X*Y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)). \qquad (4.6.20)$$

Aniqroq qilib aytganda, to'rtta arifmetik amalni quyidagicha tasvirlash mumkin:

Qo'shish.

$$\mu_{A+B}(z) = \sup_{Z=X+Y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) = \sup_X \min(\mu_A(x), \mu_B(z-x)). \qquad (4.6.21)$$

Ayirish.

$$\mu_{A-B}(z) = \sup_{Z=X-Y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) = \sup_X \min(\mu_A(x), \mu_B(x-z)). \qquad (4.6.22)$$

Ko'paytirish.

$$\mu_{A\times B}(z)=\sup_{Z=X\times Y}\min(\mu_A(x),\mu_B(y))=\sup_X\min(\mu_A(x),\mu_B(z:x)),\ x\neq 0\,. \qquad (4.6.23)$$

Bo'lish.

$$\begin{aligned}&\mu_{A:B}(z)=\sup_{Z=X:Y}\min(\mu_A(x),\mu_B(y))=\sup_X\min(\mu_A(x),\mu_B(x:z))=\\&=\sup_Y\min(\mu_A(yz),\mu_B(y)).\end{aligned}\,. \qquad (4.6.24)$$

Agar A va B noravshan sonlar quyidagicha tasvirlansa

$$A=\{\omega_1/x_{11};\,\omega_2/x_{21};\,\omega_1/x_{12}\};\qquad B=\{\omega_1/y_{11};\,\omega_2/y_{21};\,\omega_1/y_{12}\},$$

U holda ular ustidagi * umumlashgan amalning natijasi quyidagi noravshan son bo'ladi

$$C=A*B=\{\omega_1/(x_{11}*y_{11});\,\omega_2/(x_{21}*y_{21});\,\omega_1/(x_{12}*y_{12}\}\ . \qquad (4.6.25)$$

Bu * amal o'suvchi yoki kamayuvchi bo'lganida o'rinlidir. Ayirish va bo'lish amallari bunday emas, lekin ularni quyidagicha tasvirlash mumkin [4]:

$$A-B=A+(-B);\qquad A:B=A\times(B^{-1})\,. \qquad (4.6.26)$$

Misollar. Ikkita noravshan son berilgan

$$\tilde{2}=\{0/1;\,0{,}5/1{,}5;\,1/2;\,0{,}5/2{,}5;\,0/3\},$$

$$\tilde{3}=\{0/2;\,0{,}5/2{,}5;\,1/3;\,0{,}5/3{,}5;\,0/4\}.$$

Quyida ular ustida to'rtta umumlashgan amal bajariladi $(+,-,\times,:)$.

Qo'shish.

$$\begin{aligned}\tilde{3}+\tilde{2}&=\{0/(2+1);\,0{,}5/(2{,}5+1{,}5);\,1/(3+2);\,0{,}5/(3{,}5+2{,}5);\\&0/(4+3)\}=\{0/3;\,0{,}5/4;\,1/5;\,0{,}5/6;\,0/7\}.\end{aligned}$$

Ko'paytirish.

$$\tilde{3}\times\tilde{2}=\{0/2;\,0{,}5/3{,}75;\,1/6;\,0{,}5/8{,}75;\quad 0/12\}.$$

Ayirish.

$$-\tilde{2}=\{0/(-3);\,0{,}5/(-2{,}5);\,1/(-2);\,0{,}5/(-1{,}5);\,0/(-1)\};$$

$$\begin{aligned}\tilde{3}-\tilde{2}=\tilde{3}+(-\tilde{2})&=\{0/(2-3);\,0{,}5/(2{,}5-2{,}5);\,1/(3-2);\,0{,}5/(3{,}5-1{,}5);\\&0/(4-1)\}=\{0/(-1);\,0{,}5/0;\,1/1;\,0{,}5/2;\,0/3\}.\end{aligned}$$

Bo'lish.

$$\begin{aligned}&\tilde{2}^{-1}=\{0/(1:1);\,0{,}5/(1:1{,}5);\,1/(1:2);\,0{,}5/(1:2{,}5);\,0/(1:3)\}=\\&=\{0/1;\,0{,}5/0{,}66;\,1/0{,}5;\,0{,}5/0{,}4;\,0/0{,}33\}=\{0/0{,}33;\,0{,}5/0{,}4;\,1/0{,}5;\,0{,}5/0{,}66;\,0/1\};\end{aligned}$$

$$\tilde{3}:\tilde{2}=3\times(2^{-1})=\{0/0{,}66;\,0{,}5/1;\,1/1{,}5;\,0{,}5/2{,}33;\,0/4\}.$$

Qo'shimcha ayirish va bo'lish amallari. Noravshan tenglamalarni yechsihda qarama-qarshi va teskari sonlarni hisoblash kerak bo'ladi [4]. Yuqorida ko'rib chiqilgan arifmetik amallar, umumlashtirish tamoyiliga asoslangan bo'lib, qarama-qarshi A' ($A+A'=0$ bo'ladigan) va teskari sonni A''($A\times A''=1$) topishga imkon bermaydi. Shuningdek, quyidagi tengsizliklar o'rinlidir. Shuningdek, quyidagi tengsizliklar o'rinlidir

$$(A-B)+B\neq A; \quad (A:B)\times B\neq A.$$

Quyidagi tenglikni aniq yechish uchun

$$AX+B=D, \tag{4.6.27}$$

bu yerda A, B, D – noravshan sonlar, X-noma'lum, qo'shimcha ayirish (--) va qo'shimcha bo'lish (//) amalidan foydalaniladi.

Xususiy holda (4.6.27) ning yechimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$X=D--B \tag{4.6.28}$$

B va D to'plamning tashuvchilari mos ravishda $S_B=[b_1,b_2]$ va $S_D=[d_1,d_2]$ oraliqlardir. Qo'shimcha ayirish yordamida aniqlanuvchi X to'plamning tashuvchisi quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$S_X=[d_1-b_1,d_2-b_2], \tag{4.6.29}$$

Tegishlilik funksiyasi yordamida ifodalangan ko'rinishi esa [4]

$$\mu_X(x)=\inf_z\begin{cases}1, & agar\ \mu_D(z-x)<\mu_D(z);\\ \mu_D, & agar\ \mu_B(z-x)\geq\mu_D(z).\end{cases} \tag{4.6.30}$$

Ko'rib chiqilayotgan ayirish amali kamayuvchining tashuvchisi uzunligi ayiriluvchinikidan kichik bo'lgandagina aniqlangan.

Qo'shimcha bo'lish. AX=B tenglamaning yechimi X=D//A to'plam bo'ladi. Agar A va D to'plamning tashuvchilari $S_A=[a_1,a_2]$ va $S_D=[d_1,d_2]$ bo'lsa, u holda X to'plamning tashuvchisi quyidagicha aniqlanadi

$$S_X=[d_1,d_2]//[a_1,a_2]=\begin{cases}d_1:a_1,d_2:a_2,agar & S_A>0;S_D>0\\ d_1:a_2,d_2:a_1,agar & S_A>0;S_D<0\\ d_2:a_1,d_1:a_2,agar & S_A<0;S_D>0\\ d_2:a_2,d_1:a_1,agar & S_A<0;S_D<0\end{cases}[4]$$

Yoki uning tegishlilik funksiyasi orqali ifodalangan ko'rinishi:

$$\mu_X(x)=\inf_t\begin{cases}1, & agar\ \mu_A(t/x)<\mu_D(t),\\ \mu_D(t), & agar\ \mu_A(t/x)\geq\mu_D(t).\end{cases}$$

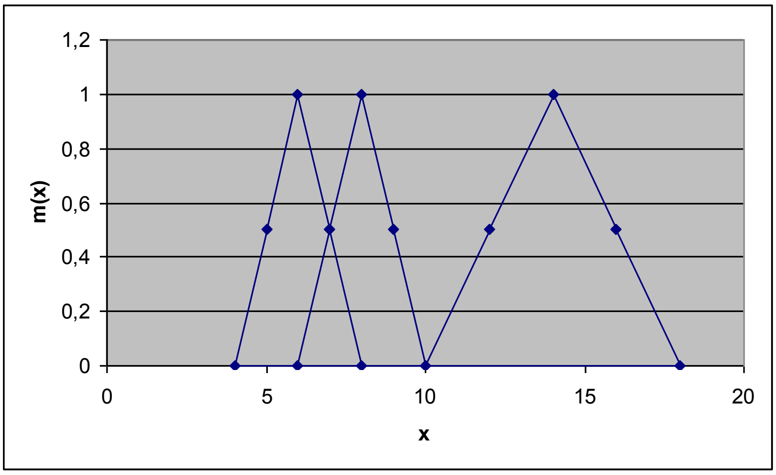
Bu amal ixtiyoriy A va D sonlarning ixtiyoriysi uchun aniqlanmagan, u oraliq tashuvchilari ma'lum shartlarni qanoatlantiruvchi sonlarga nisbatan aniqlangandir [4].

Misollar. Quyidagi tenglamani yeching

$$X+B=D, \tag{4.6.33}$$

bunda B=$\tilde{8}$={0/6; 0,5/7; 1/8; 0,5/9; 0/10),

D=$\tilde{14}$={0/10; 0,5/12; 1/14; 0,5/16; 0/18},
Ularning tegishlilik funksiyalari 4.6.5-rasmda tasvirlangan.



4.6.5-rasm. Qo'shimcha ayirish amali uchun to'plamlarning tegishlilik funksiyasi .

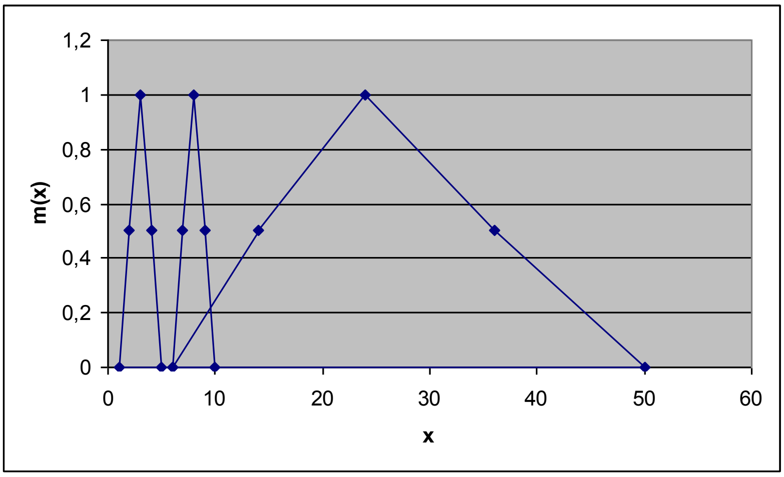
B va D uchun oraliq-tashuvchilar $S_B = [6,10]$; $S_D = [10,18]$. (4.6.29) ga ko'ra $S_X = [4,8]$. (4.6.30) formulaga ko'ra 4.6.5-rasmda grafik usulda tasvirlangan $\mu_X(x)$ tegishlilik funksiyasini aniqlash mumkin.

Mos ravishda, $X = (0/4; 0,5/5; 1,0/6; 0,5/7; 0/8)$.

A=$\tilde{8}$={0/6; 0,5/7; 1/8; 0,5/9; 0/10} va D=$\tilde{24}$={0/6; 0,5/14; 1,0/24; 0,5/36; 0/50} da quyidagi tenglamani yeching

$$AX=D. \tag{4.6.34}$$

μ_A va μ_D tegishlilik funksiyalari 4.6.6-rasmda tasvirlangan.



4.6.6-rasm. QO'shimcha bo'lish amali uchun to'plamlarning tegishlilik funksiyalari

A va D to'plamlarning oraliq-tashuvchilari $S_A = [6,10]$; $S_D = [6,50]$. (4.6.31) ga ko'ra $S_X = [6:6,50:10] = [1,5]$.

(4.6.32) ga ko'ra, 4.6.6-rasmda keltirilgan $\mu_X(x)$ tegishlilik funksiyasining qiymantini aniqlash mumkin.

Tenglamaning yechimi

$$X=\{0/1;\ 0,5/2;\ 1/3;\ 0,5/4;\ 0/5\}.$$

4.6.2. L-R turdagi noravshan sonlar

L yoki R orqali belgilanuvchi funksiya quyidagi shartlar bajarilsa, noravshan sonni ifodalovchi funksiyadir:

1) L(x)=L(-x);
2) L(0)=1;
3) L $[0,\infty)$ oraliqda os'maydi.

Misollar.

a) $L(x)=\begin{cases}1, & x\in[-1,1];\\ 0, & aksholda.\end{cases}$

б) $L(x)=\max(0;1-|x|^{p}),\quad p\geq 0$.

в) $L(x)=\theta^{-|x|p},\quad p>0$.

г) $L(x)=1/(1+|x|^{p}),\quad p\geq 0$.

M noravshan son L-R turda deyiladi, agar:

$$\mu_M(x)=\begin{cases}L\left(\dfrac{m-x}{\alpha}\right) & x\leq m\,da,\ \alpha>0;\\ R\left(\dfrac{x-m}{\beta}\right) & x\geq m\,da,\ \beta>0.\end{cases}$$

L chap ifoda deyiladi; R-o'ng ifoda; m-M ning o'rta qiymati; α va β mos ravishda chap va o'ng kengaytma deyiladi. Kengaytmalar nolga teng bo'lganida, M soda son bo'ladi. Kengaytmani oshirib brogan sari, M shunchalik noravshanlashib boradi. L-R turdagi sonning belgili yozuvi $M=(m,\alpha,\beta)_{LR}$.

L-R turdagi sonlar ustida algebraik amallarni ko'rib chiqamiz.

1-teorema. [6] M va N – uzluksiz tegishlilik funksiyali ikkita noravshan son; * - uzluksiz o'suvchi binary amal; $[\lambda_M,\rho_M]$ - M noravshan sonning tegishlilik funksiyasi kamaymaydigan ma'lum bir oraliq ($\lambda_m=\rho_m$); $[\lambda_N,\rho_N]$ - N ga nisbatan o'xshash oraliq, jumladan

$$\mu_M(x)=\mu_N(y)=\omega \text{ для } \forall x\in[\lambda_M,\rho_M],\ \forall y\in[\lambda_N,\rho_N].$$

Tegishlilik funksiyasi umumlashtirish tamoyili bo'yicha aniqlangan $M*N$ noravshan to'plam bo'lsa, undagi uzluksiz tegishlilik funksiyali noravshan son ixtiyoriy $t \in [\lambda_M * \lambda_N, \rho_M * \rho_N]$ nuqtada $\mu_{M*N}(t) = \omega$ formula bo'yicha aniqlanadi.

Noravshan sonlarni qo'shish. Ikkita noravshan sonning o'suvchi qismlarini ko'rib chiqamiz

$$M = (m, \alpha, \beta)_{LR} \text{ и } N = (n, \gamma, \delta)_{LR}.$$

x va y –yagona haqiqiy sonlar bo'lib, bunda

$$L\left(\frac{m-x}{\alpha}\right) = \omega = L\left(\frac{n-y}{\gamma}\right),$$

Bu yerda ω [0,1] kesmadagi qo'zg'almas nuqta. Bu quyidagiga ekvivalent

$$x = m - \alpha L^{-1}(\omega), \quad y = n - \gamma L^{-1}(\omega), \tag{4.6.35}$$

(4.6.35) dan quyidagilar kelib chiqadi

$$z = x + y = m + n - (\alpha - \gamma)L^{-1}(\omega) \text{ и } L\left(\frac{m+n-z}{\alpha+\gamma}\right) = \omega.$$

Huddi shunday, M va N ning kamyuvchi qismlariga nisbatan quyidagilarga ega bo'lamiz

$$R\left(\frac{z-(m+n)}{\beta+\delta}\right) = \omega.$$

Bu yerdan toremaga ko'ra quyidagilar kelib chiqadi

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} \oplus (n, \gamma, \delta)_{LR} = (m+n, \alpha+\gamma, \beta+\delta)_{LR}. \tag{4.6.36}$$

Umumiy ko'rinishda

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} \oplus (n, \gamma, \delta)_{LR} = (m+n, 1, 1)_{L''R''},$$

Bu yerda $L'' = (\alpha L^{-1} + \gamma L^{-1})^{-1}, \quad R'' = (\beta L^{-1} + \delta L^{-1})^{-1}$.

Norvahsan sonni inkor etish formulasining ko'rinishi quyidagicha

$$-(m, \alpha, \beta)_{LR} = (-m, \beta, \alpha)_{RL}. \tag{4.6.37}$$

Noravshan sonni ifodalovchi L va R funksiyalarning o'rni almashdi. (4.6.36) va (4.6.37) dan ayirish formulasini keltirib chiqarish mumkin

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} - (n, \gamma, \delta)_{RL} = (m-n, \alpha+\delta, \beta+\gamma)_{LR}.$$

Ko'paytirish. Oldindagi kabi, quyidagiga ega bo'lish mumkin

$$z = xy = mn + (m\gamma + n\alpha)L^{-1}(\omega) + \alpha\gamma(L^{-1}(\omega))^2. \tag{4.6.38}$$

(4.6.38) tenglama $L^{-1}(\omega)$ ga nisbatan ikkinchi tartibli tenglama deyiladi va $z \le mn$ holda bitta musbat ildizga ega. Teoremadan foydalangan holda, $\mu_{M \otimes N}$ ko'paytmaning tegishlilik funksiyasini aniqlash mumkin. Odatda bu ko'paytma $M \otimes N$ L-R turdagi noravshan son bo'lmaydi. Shunga qaramay, agar α va β m va n va n ga nisbatan kichik bo'lsa hamda (yoki) ω 1 atrofida joylashgan bo'lsa, $\alpha\gamma(L^{-1}(\omega))^2$ hadni hisobga olmasa bo'ladi. Bunda tenglama soddalashadi va yaqinlashgan formualarni hosil qilish mumkin

$$(m,\alpha,\beta)_{LR}\otimes(n,\gamma,\delta)_{LR}=(mn, m\gamma+n\alpha, m\delta+n\beta)_{LR}, \quad M>0,\ N>0\,da,$$

$$(m,\alpha,\beta)_{LR}\otimes(n,\gamma,\delta)_{LR}=(mn, n\alpha-m\delta, n\beta-m\gamma)_{LR}, \quad M<0,\ N>0\,da,$$

$$(m,\alpha,\beta)_{LR}\otimes(n,\gamma,\delta)_{LR}=(mn, -n\beta-m\delta, n\alpha-m\gamma)_{LR}, \quad M<0,\ N<0\,da.$$

Agar kengaytmalar o'rta qiymatlarga nisbatan kichik bo'lmasa, boshqa taxminiy formulalardan foydalanish mumkin. Masalan, agar M>0 va N>0 bo'lsa, u holda

$$(m,\alpha,\beta)_{LR}\otimes(n,\gamma,\delta)_{LR}\approx(mn, m\gamma+n\alpha-\alpha\gamma, m\delta+n\beta+\beta\delta)_{LR}.$$

Ushbu tenglik orqali aniqlangan tegishlilik funksiyasi μ bilan kamida uchta nuqtada ustma-ust tushsa, u holda:

$$(mn,1);\ [(m-\alpha)(n-\gamma), L(1)];\ [(m+\beta)(n+\delta), R(1)].$$

Skalyarga ko'paytirish. Quyidagi formulalar o'rinli:

$$\forall\lambda>0\ \lambda\in R:\quad \lambda\otimes(m,\alpha,\beta)_{LR}=(\lambda m, \lambda\alpha, \lambda\beta)_{LR},$$

$$\forall\lambda<0\ \lambda\in R:\quad \lambda\otimes(m,\alpha,\beta)_{LR}=(\lambda m, -\lambda\alpha, -\lambda\beta)_{LR}.$$

Bo'lish. Musbat, noravshan L-R va R-L turdagi sonlar uchun quyidagi taxminiy natijalar olingan :

$$(m,\alpha,\beta)_{LR}\div(n,\gamma,\delta)_{LR}\approx\left(\frac{m}{\tilde{n}},\frac{\delta m+\alpha n}{n^2},\frac{\gamma m+\beta n}{n^2}\right)_{LR}.$$

4.6.3. Noravshan sonlarni solishtirish [6,7].

Noravshan sonlarni solishtiranda ikki turdagi savol paydo bo'ladi:

КBerilgan noravshan sonlar oilasidagi eng katta (eng kichik) sonning noravshan qiymati qanday?

" $\tilde{m}\,\tilde{n}$ dan katta (kichik)" mulohazaning chinlik qiymati niomaga teng". Boshqa so'z bilan aytganda, $\tilde{m}$ ning $\tilde{n}$ dan katta (kichik) bo'lishi ehtimoli qanday?

Birinchi savolga javob berish uchun quyidagi funksiyaga nisbatan qo'llanilgan umumlashtirish tamoyilidan foydalanamiz

z(m,n)=max{m;n};

t(m,n)=min{m;n}.

Agar $\mu_1(m), \mu_2(n)$ - $\tilde{m}$ va $\tilde{n}$ noravshan sonlarning tegishlilik funksiyalari bo'lsa, u holda umumlashtirish tamoyiliga binoan quyidagiga ega bo'lamiz

$$\mu_3(z)=\sup_{z=\max(m;n)}\min\{\mu_1(m),\mu_2(n)\};$$

$$\mu_4(t) = \sup_{z=\min(m;n)} \min\{\mu_1(m), \mu_2(n)\}.$$

μ_3 va μ_4 tegishlilik funksiyali $\tilde{z}$ va $\tilde{t}$ noravshan to'plamlar $\tilde{m}$ va $\tilde{n}$ dan farqli qavariq normal sonlar bo'ladi. Ikkinchi savolga javob berishga harakat qilamiz. "$\tilde{n}$ $\tilde{m}$ dan katta" mulohazaning chinlik darajasi $v(\tilde{n} > \tilde{m})$ ko'rinishda yozib olinadi va quyidagicha aniqlanadi:

$$v(\tilde{n} > \tilde{m}) = \max_{n \geq m} \min\{(\mu_1)\}.$$

«$\tilde{n}$ $\tilde{m}$ dan katta» hol uchun

$$v(\tilde{n} > \tilde{m}) = \min\{\mu_1(A), \mu_2(B)\} = \min\{1,1\} = 1;$$

$$v(\tilde{m} > \tilde{n}) = \min\{\mu_1(C), \mu_2(C)\} = d.$$

D soni $\tilde{m}$ va $\tilde{n}$ sonlarning farq qilish darajasini xarakterlaydi. C nuqtaning ordinatasi 1 ga qanchalik yaqin bo'lsa, $\tilde{m}$ va $\tilde{n}$ sonalrdan qaysi biri kattaroq ekanligiga javob berish shunchalik qiyin bo'ladi.

$\tilde{m}$ va $\tilde{n}$ L-R va R-L turdagi noravshan sonlar bo'ladi; $\tilde{m} = (m, \alpha, \beta)$, $\tilde{n} = (n, \gamma, \delta)$, bunda C quyidagi tenglikdan topiladi

$$(C - m)/\beta = (n - C)/\gamma,$$

Bu yerdan

$$C = (\beta n + \gamma m)/(\beta + \gamma) \text{ и } d = R[(n - m)/(\beta + \gamma)]. \qquad (4.6.39)$$

Shunday qilib, ikkita noravshan sonning kesishmasi bo'lgan noravshan to'plamning balandligi (4.6.39) fomula bo'yicha aniqlanadi(biz m<n holni ko'rib chiqmoqdamiz). Demak, $\tilde{m}$ va $\tilde{n}$ ni solishtirish uchun ham $v(\tilde{m} > \tilde{n})$, ham $v(\tilde{m} < \tilde{n})$ ni bilish kerak. Agar, masalan $v(\tilde{m} > \tilde{n})$=1 bo'lsa, bu degani yoki $\tilde{m}$ $\tilde{n}$ dan katta, yoki ikkala noravshan son ularni ajratish mumkin bo'lishi uchun, juda uzoqda joylashgan. Bunday holda ma'lum bir τ ostonaviy qiymatni tanlab, $\tilde{m}$ $\tilde{n}$ dan katta deb olish mumkin, agar $v(\tilde{n} > \tilde{m}) \leq \tau$ bo'lsa. Bu quyidagicha belgilanadi $\tilde{m} \underset{\tau}{>} \tilde{n}$. L-R turdagi noravshan sonlar uchun qoida quyidagicha aniqlanishi mumkin:

$$\tilde{n} > \tilde{m} \Leftrightarrow n - m \geq \beta + \gamma; \ (\tau = R(1));$$

$$\tilde{m} > \tilde{n} \Leftrightarrow m - n \geq \alpha + \delta; \ (\tau = L(1));$$

Bu yerda qisqalik uchun $\underset{\tau}{>}$ ning o'rniga > belgilash kiritilgan. "n m dan katta" uchun boshqa ta'rifni kiritish ham mumkin :

$$\tilde{n} \geq \tilde{m} \Leftrightarrow \max(\tilde{m}, \tilde{n}) = \tilde{n} \text{ и } \min(\tilde{m}, \tilde{n}) = \tilde{m}.$$

Misollar.

1. Noravshan $\tilde{n}$ soni noravshan $\tilde{m}$ sondan katta, agar

$$n > m$$
$$n - \underline{n} \geq m - \underline{m} \qquad (4.6.40)$$
$$n + \overline{n} \geq m + \overline{m}$$

2. $\tilde{m}$ norvashan son $\tilde{n}$ noravshan sondan kichik, agar

$$m \leq n$$
$$m - \underline{m} \leq n - \underline{n} \qquad (4.6.41)$$
$$m + \overline{m} \leq n + \overline{n}$$

3. $\tilde{n}$ norvashan son $\tilde{m}$ norvashan songa teng, agar

$$n = m$$
$$n - \underline{n} = m - \underline{m} \qquad (4.6.42)$$
$$n + \overline{n} = m + \overline{m}$$

Misol. Ikkita L-R turdagi son berilgan:

a) $A = (1,5,2)_{LR}$ $\quad B = (3,8,4)_{LR}$

b) $A = (8,10,6)_{LR}$ $\quad B = (6,9,5)_{LR}$

c) $A = (20,35,30)_{LR}$ $\quad B = (18,20,25)_{LR}$

d) $A = (4,7,6)_{LR}$ $\quad B = (8,10,5)_{LR}$

e) $A = (2,8,6)_{LR}$ $\quad B = (4,8,6)_{LR}$

Ushbu sonlarni qo'shish, ayirish, ko'patitish va bo'lishni hisoblang.

Javob:

	Qo'shish	Ayirish	Ko'paytirish	Bo'lish
a)	$(4,13,6)_{LR}$	$(-2,9,10)_{LR}$	$(3,23,10)_{LR}$	$(0.3,2.11,1.44)_{LR}$
b)	$(14,19,11)_{LR}$	$(-2,15,15)_{LR}$	$(48,132,76)_{LR}$	$(1.33,2.78,3)_{LR}$
c)	$(38,55,55)_{LR}$	$(2,60,50)_{LR}$	$(360,1030,1040)_{LR}$	$(1.11,3.49,2.9)_{LR}$
d)	$(12,17,11)_{LR}$	$(-4,12,16)_{LR}$	$(32,96,68)_{LR}$	$(0.5,1.19,1.38)_{LR}$
e)	$(6,16,12)_{LR}$	$(-2,14,14)_{LR}$	$(8,48,36)_{LR}$	$(0.5,2.75,2.5)_{LR}$

4.7.Noravshan mantiq

4.7.1. Noravshan mantiqlarning asosiy turlari va xossalari

Keng tarqalgan ta'riflarga ko'ra mantiq mulohazalar usullarini tahlil qilishdir. Shu usullarni o'rganish asosida, mantiq birinchi navbatda u yoki bu mulohazalarning mazmuni bilan emas, shakli bilan qiziqadi. Alohida yo'llanma va xulosalarning chin yoki yolg'onligi mantiqni qiziqtirmaydi. Uni yo'llanmalarning chinligifan xulosaning chinligi kelib chiqish yoki chiqmasligi qiziqtiradi. Mulohaza qilishning to'g'ri usullarini tizimli shakllantirish va kataloglashtirish- mantiqning asosiy masalalaridan biri.

Mantiqda sodda mulohazalardan ularni har xil yo'l bilan birlashtirish orqali yangi, murakkabroq mulohazalarni tuzish mumkin. Kelgusida biz yangi mulohazalarning chin yoki yolg'onligi tashkil etuvchi mulohazalarning chin yoki yolg'onligiga qarab aniqlanuvchi chin-funksional kombinatsiyalarni ko'rib chiqamiz xolos.

Mulohazalar ustidagi eng sodda amallardan biri inkordir. Masalan, agar A mulohaza bo'lsa, u holda A ning inkori $\neg A$ ko'rinishda belgilanib, "A emas" deb o'qiladi.

Mulohazalar ustidagi boshqa chin-funksional amal konyunksiya VA bo'lib, $A \& B$ orqali belgilanadi. Mulohaza A va B mulohazalarning ikkalasi ham chin bo'lgandagina chin bo'ladi. A va B mulohazalar $A \& B$ konyunksiyaning konyunktiv hadlari deyiladi.

A va B mulohazalar ustidagi dizyunksiya amali YOKI bog'lovchisiga mos bo'lib, $A \vee B$ orqali belgilanadi. Oddiy tilda YOKI bog'lovchisi ikkita: ajratuvchi va birlashtiruvchi ma'noda qo'llaniladi. Dizyunksiya amalida YOKI bog'lovchisi birlashtiruvchi ma'noga ega.

Keyingi muhim chin-funksional amal natiajaviylikdir: AGAR A BO'LSA U HOLDA B. Bu mulohaza A yo'llanma rost, B xulosa esa yolg'on bo'lganda yolg'on bo'ladi. AGAR A U HOLDA B ning belgilanishi quyidagicha: $A \supset B$. Bu ifoda implikatsiya deyiladi.

"A faqat va faqat B bo'lganda" ifodasi $A \equiv B$ orqali belgilanadi. Bunday ifoda ekvivalentlik deyiladi. Demak, $A \equiv B$ A va B bir xil chinlik qiymatiga ega bo'lganidagina rost bo'ladi.

Quyida mulohazalar ustidagi ushbu amallarning chinlik jadvali keltirilgan:

A	B	$\neg A$	$A \& B$	$A \vee B$	$A \supset B$	$A \equiv B$

R	R	Y	R	R	R	R
Y	R	R	Y	R	R	Y
R	Y	Y	Y	R	Y	Y
Y	Y	R	Y	Y	R	R

$\neg, \&, \vee, \supset, \equiv$ belgilar propozitsional bog'lovchilar deyiladi. Ushbu bog'lovchilar yordamida qurilgan har qanday mulohaza tashkil etuvchi mulohazalarning chinligiga bog'liq bo'lgan ma'lum bir rost qiymatga ega. A,B,C va h.k proporzitsional harflardan proporzitsional bog'lovchilar yordamida qurilgan ifodaga propozitsional shakl deyiladi.

Har qanday propozitsional shakl ma'lum bir rost funksiyani aniqlaydi va shu proporzisional shaklning chinlik funksiyasi orqali tasvirlanishi mumkin. n argumentlardan iborat rost funksiya deb rost qiymatlar qabul qiluvchi R(rost) va Y(yolg'on) qiymatlarni argumentlar huddi shu qiymatlarni qabul qilganda qabul qiluvchi har qanday n ta argumentli funksiyaga aytiladi. Propozitsional harflarning qanday qiymat qabul qilishiga qaramay rost bo'ladigan propozitsion shakl tavtologiya deyiladi. Propozitsion shakl mos chinlik funksiyasi faqatgina R qiymat qabul qilganidagina tavtologiya bo'ladi. Masalan, quyidagi mulohazalar proprozitsional tavtologiyalardir:

1) $\neg(A \& \neg A)$ - ziddiyatni inkor etish qonuni;

2) $((A \vee B) \to (\neg A \to B))$ va $(\neg B \to A)$ - dizyunksiyalarni inkor va implikatsiya orqali ifodalash;

3) $(((A \to B) \& A) \to B)$.

O'z navbatida, propozitsional harflarning barcha qiymatlarida yolg'on bo'lhgan propozitsional shaklni ziddiyat deb atashadi, masalan $(A \equiv \neg A)$ yoki $(A \& (\neg A))$ propozitsional shakl.

Shuni qayd etish joizki, implikasiya ajratish(modus—ponens) qoidasi deb ataluvchi muhim xossaga ega: AGAR $(A \to B)$ rost va A rost bo'lsa U HOLDA B rost. Bu qoidaning boshqacha qilib gipotetik sillogizmning birinchi shakli deb atashadi. Sillogizm deganda bitta mulohaza qolgan ikkitasining zarurati bo'lgan deduktiv mulohaza tushuniladi. Bu xossa, yuqorida qayd etilganidek, murakkab texnologik jarayonlarni modellashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Hozirgacha binar(bull) mantiq ko'rib kelindi. Mantiqlar mulohazalarning asosi tariqasida uchta tashkil etuvchisi: chinlik qiymati; operatorlar; chiqarish proseduralari bilan farq qiladi.

Noravshan mantiq. Noravshan mantiq nazariy-to'plamli ko'p qiymatli mantiqning kengaytmasi bo'lib, undagi chinlik qiymati lingvistik o'zgaruvchi bo'ladi.

Noravshan mantiqda $\vee, \neg, \wedge, \Rightarrow$ amallar ham chinlik jadvalidan foydalangan holda aniqlanganligi tufayli, Zadening kengaytma tamoyilini qo'llash natijasida ushbu operatorlar chiqariladi.

Ushbu mantiqdagi chinlik fazosi [0,1] haqiqiy oraliqdan iboratdir. Ko'p qiymatli yoki noravshan deb ataluvchi ushbu mantiq noravshan to'plamlar nazariyasiga asoslanadi. Shu ko'p qiymatli mantiqning semantik chinlik funksiyasini aniqlaymiz. P mulohaza, $\vee(P)$ -esa uning chinlik qiymati bo'lsin, bunda $\vee(P) \in [0,1]$.

P mulohazaga nisbatan inkor qiymati quyidagicha aniqlanadi: $\vee(\neg P) = 1 - \vee(P)$. Demak, $\vee(\neg\neg P) = \vee(P)$.

$\rightarrow$ implikatsiya-bog'lovchisi har doim quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$\vee(P \rightarrow Q) = \vee(\neg P \vee Q)$$

Ekvivalentlik esa

$$\vee(P \leftrightarrow Q) = \vee[P \rightarrow Q \wedge (Q \rightarrow P)].$$

Ajratuvchi dizyunksiya, inkorlar dizyunksiyasi yoki Sheffer chizig'i /, inkorlar konyunksiyasi $\downarrow$ va $\rightarrow$ (umumiy nomga ega emas) mos ravishda $\leftrightarrow$ ekvivalentlik, $\wedge$ konyunksiya, $\vee$ dizyunksiya va $\rightarrow$ implikatsiyalarning inkoridir. Tavtologiya va ziddiyat mos ravishda quyidagicha bo'ladi:

$$\vee(\dot{P}) = \vee(P \vee \neg P); \ \vee(\dot{P}) = \vee(P \wedge \neg P).$$

Umumiyroq tarzda esa:

$$\vee(\dot{P}Q) = \vee((P \vee \neg P) \vee (Q \vee \neg Q)); \quad \vee(PQ) = \vee((P \wedge \neg P) \wedge (Q \wedge \neg Q)).$$

Ikkita asosiy noravshan to'plamlar nazariyalarida noravshan mantiqning asosiy bog'lovchilarini aniqlaymiz.

$(\Re(x), \cup, \cap, -)$ ga asoslangan mantiq. Bunday holatda dizyunksiya va konyunksiya quyidagicha aniqlanadi:

$$\vee(P \vee Q) = \max(\vee(P), \vee(Q)); \qquad \vee(P \wedge Q) = \min(\vee(P), \vee(Q)).$$

Ma'lumki, $\wedge$ va $\vee$ - kommutativ, assotsiativ, idempotent, distributiv, uchinchini inkor etish qoidasini qanoatlantirmaydi, ya'ni va $\vee(P \wedge \neg P) \neq 0$, lekin yutilish qonuni

$$(\vee((P) \vee (P \wedge Q))) = \vee(P); \quad (\vee((P) \wedge (P \vee Q))) = \vee(P),$$

hamda De-Morgan qonunlari

$\vee(\neg(P \wedge Q)) = \vee(\neg P \vee \neg Q)$; $\vee(\neg(P \vee Q)) = \vee(\neg P \wedge \neg Q)$ ni qanoatlantiradi.

Dizyunksiyani inkor etish qoidasi

$$\vee[(\neg P \wedge Q) \vee (P \wedge \neg Q)] = \vee[(P \vee Q) \wedge (\neg P \vee \neg Q)].$$

Quyida 16 ta bog'lovchiga nisbatan ifodalar keltirilgan:

PQ	$\dot{P}Q$	$P \vee Q$	$Q \to P$	P
pq	$\max(p,1-p,q,1-q)$	max(p,q)	max(p,1-q)	p
PQ	$P \to Q$	Q	$P \leftrightarrow Q$	$P \wedge Q$
pq	max(1-p,q)	q	min(max(1-p,q), max(p,1-q))	min(p,q)
PQ	P/Q	PexQ	$\neg Q$	$Q \leftrightarrow P$
pq	max(1-p,1-q)	max(min(1-p,q), pQmin(p,1-q)	1-q	min(p,1-q)
PQ	$\neg P$	$P \approx\to Q$	$P \downarrow Q$	$\dot{P}Q$
pq	1-p	min(1-p,q)	min(1-p,1-q)	min(p,1-p,q,1-q)

Bu yerda $\vee(P) = p$ va $\vee(Q) = q$ deb olingan.

Mulohazalardagi kvantorlar:

$$\vee(\exists \times P(x) = \sup(\vee P(x)))\,; \quad \vee(\forall \times P(x) = \inf(\vee P(x)))\,,$$

bu yerda x – mulohaza sohasining elementi.

$\tilde{\Re}(x),\cup,\cap,-$ **ga asoslangan ko'p qiymatli mantiqni** odatda K-standartli ketma-ket mantiq deb atashadi. Bu mantiqda bog'lovchilar quyidagi xossalarni qanoatlantiradilar:

Implikatsiya $\vee[P \to (Q \to R)] = \vee[(P \wedge Q) \to R]$;

Tavtologiya va ziddiyat

$$\vee(P \to P) = \vee(\dot{P})\,; \quad \vee(\dot{P} \to P) = \vee(P)\,; \quad \vee(P \to \dot{P}) = \vee(\dot{P})\,;$$

$$\vee(P \leftrightarrow P) = \vee(\dot{P})\,; \quad \vee(\dot{P} \to P) = \vee(\dot{P})\,; \quad \vee(P \to \dot{P}) = \vee(\neg P)\,;$$

$$\vee(P \leftrightarrow \neg P) = \vee(\dot{P})\,;$$

Sheffer va Pisrs bog'lovchilari

$$\vee(\neg P) = \vee(P/P)\,; \quad \vee(P \to Q) = \vee(P/(Q/Q))\,; \quad \vee(\dot{P}) = \vee(P/(P/P))\,.$$

[4] da ko'rsatilishicha, ko'p qiymatli mantiq mulohazalarning standart hisobi (kengaytma tamoyilining ma'nosida) ning tarqoqligidir (noravshanlik ma'nosida). Bu mantiqda har bir P mulohazaga [0,1] dagi normallangan, noravshan to'plam mos qo'yiladi, ya'ni $\{\mu_p(0), \mu_p(1)\}$ juftlik yolg'onlik va rostlik darajasi sifatida talqin etiladi. Mulohazalar standart hisobining mantiqiy bog'lovchilari chinlik funksionallari bo'lganligi, ya'ni funksiyalar ko'rinishida tasvirlanganligi uchun ularni

tarqoqlashtirib yuborish mumkin. Shuni qayd etish joizki, berilgan mantiq birinchi bora Klin va Deynes tomonidan mustaqil tarzda taqdim etilgan.

($\tilde{\Re}(x),\dot{\cup},\cap,-$) ga asoslangan mantiq. Bunday holatda dizyunksiya va konyunksiya quyidagicha aniqlanadi:

$$\vee(P\dot{\vee}Q)=\min(1,\vee(P)+\vee(Q))\,;\quad \vee(P\underset{\cdot}{\wedge}Q)=\max(0,\vee(P)+\vee(Q)-1)\,.$$

$\dot{\vee}$ va $\underset{\cdot}{\wedge}$ ham – kommutativ, assotsiativ, idempotent emas, distributiv emasligi va

$$\vee(\neg(P\underset{\cdot}{\wedge}Q))=\vee(\neg P\dot{\vee}\neg Q)\,;$$

qonunni, De-Morgan qonunini

$$\vee(\neg(P\dot{\vee}Q))=\vee(\neg P\wedge\neg Q)\,,$$

hamda uchinchini inkor etish qonunini qanoatlantirishi ravshan.

$$\vee(P\dot{\vee}\neg P)=1,\quad \vee(P\wedge\neg P)=0\,.$$

Quyida 16 ta bog'lovchining baholari berilgan:

PQ	$P\cdot Q$	$P\dot{\vee}Q$	$Q\Rightarrow P$	P
pq	1	min(1,1+q)	min(1, p+1-q)	p
PQ	$P\Rightarrow Q$	Q	$P\leftrightarrow Q$	$P\wedge Q$
pq	min (1,1-p+q)	q	$1-\lvert p-q\rvert$	max(0,p+q-1)
PQ	P$\Vert$ Q	PexQ	$\neg Q$	$Q\approx\Rightarrow P$
pq	min(1,1-p+1-q)	$\lvert p-q\rvert$	1-q	max(0,p-q)
PQ	$\neg P$	$P\approx\Rightarrow Q$	$P\downarrow\downarrow Q$	$\dot{P}Q$
pq	1-p	max(0,q-p)	max(0,1-p-q)	0

Bu yerda $\vee,\rightarrow,\leftrightarrow,\wedge,/,ex,\Rightarrow,\downarrow$ lar mos ravishda $\dot{\vee},\Rightarrow,\leftrightarrow,\wedge,\Vert,ex,\approx\Rightarrow,\downarrow\downarrow$ orqali belgilanadi. Tavtologiya va ziddiyat quyidagi xossalarni qanoatlantiradi:

$$\vee(P\Rightarrow P)=\vee(\dot{P}),\quad \vee(\dot{P}\Rightarrow P)=\vee(P),\quad \vee(P\Rightarrow\dot{P})=\vee(\dot{P}),$$

$$\vee(P\leftrightarrow P)=\vee(\dot{P}),\quad \vee(\dot{P}\Rightarrow P)=\vee(\dot{P}),\quad \vee(P\leftrightarrow\dot{P})=\vee(\neg P).$$

Zadening belgilashlarida $\Rightarrow$ implikatsiya noravshan to'plamlarni oddiy kiritish, $\approx\Rightarrow$ simmetrik Δ va cheklangan $\Vert$ ayirmalarga tog'ri keladi. Ushbu mantiq Lukasevich mantiqi nomi bilan mashhur edi (L).

Shuni qayd etish joizki, noravshan to’plamlarning ikkita nazariyasi va ular asosida qurilgan mantiqlar bugungi kunda ma’lum bo’lganlarning bir qismigina xolos. Shu asosda asosiy ma’lum bo’lgan ko’p qiymatli mantiqlarni semantik tahlil etish maqsadga muvofiq bo’lib, buni shu kabi mantiqlarni semantik tahlil etish uchun zarur bo’lgan noravshan “kuchli” to’plamlar nazariyasidagi ma’lmotlarni bayon etishdan boshlash kerak.

A va B ravshan U universumning noravshan qism to’plamlari bo’lsin; noravshan to’plamlar nazariyasida A $\mu_A \le \mu_B$, т.е. $\forall x \in U, \mu_A x \le \mu_B x$ bo’lgandagina B ning qism to’plami bo’ladi deb fikr yuritish an’anaga aylandi.

Kuchli norvashan to’plam. Agar [5] noravshan implikatsiya amali $\rightarrow$ va U universumdan olingan B noravshan to’plam berilgan bo’lsa, u holda B dagi noravshan “kuchli” to’plam $\Re B$

$$\mu_{\Re B} A = \bigwedge_{x \in U} (\mu_A x \rightarrow \mu_B x)$$

Ko’rinishdagi $\mu_{\Re B}$ tegishlilik funksiyasi orqali beriladi.

U holda A B ning qism to’plam bo’lish darjasi

$$\pi(A \subseteq B) = \mu_{\Re B} A \text{ dir.}$$

Implikatsiya amali. Agar [5] implikatsiyaning noravshan operatori $\rightarrow$ berk birlik oraliq [0,1] da berilgan bo’lsa, u holda

$$a \leftarrow b, \quad b \rightarrow a,$$

$$a \leftrightarrow b = (a \rightarrow b) \wedge (a \leftarrow b) = (a \rightarrow b) \wedge (b \rightarrow a).$$

35-ta’rif. Noravshan to’plamlarning ekvivalentligi. 33 ta’rifning shartlariga ko’ra, A va B noravshan to’plamlarning ekvivalent bo’lish darajasi, yoki ularning “ekvivalentlik” darajasi

$$\pi(A \equiv B) = \pi(A \subseteq B) \wedge \pi(A \ge B);$$

$$\pi(A \equiv B) = \bigwedge_{x \in U} (\mu_A x \leftrightarrow \mu_B x) \text{ ko’rinishga ega.}$$

4.7.2. Noravshan implikatsiyalar

[6] da ko'rsatilishicha, amaliy maqsadlarda, ko'pgina hollarda mantiqiy o'zgaruvhilar I=[0,1] haqiqiy oraliqni 10 ta qism oraliqqa bo'lgan holda, ya'ni $\vee_{II}\,[0,0.1,0.2,...,1]$ qism to'plamdan foydalangan holda, undagi qiymatlarni qabul qiluvchi ko'p qiymatli mantiqlar bilan ishlash maqsadga muvofiqdir.

[6] da keltirilgan tahlil etiluvchi mantiqlardagi implikatsiya amallari quyidagi ko'rinishga egadir:

1) $S^{\#}$ - mantiq:

$$a \underset{s^{\#}}{\rightarrow} b = \begin{cases} 1, \; agar \quad a \neq 1 \; yoki \quad b = 1; \\ 0, \; aksholda; \end{cases}$$

2) S-mantiq(«standart ketma-ketlik»):

$$a \underset{s}{\rightarrow} b = \begin{cases} 1, \; agar \quad a \leq b; \\ 0, \; aksholda; \end{cases}$$

3) G-mantiq («Gedelinan ketma-ketlik»):

$$a \underset{g}{\rightarrow} b = \begin{cases} 1, \; agar \quad a \leq b; \\ b, \; aksholda; \end{cases}$$

4) G43-mantiq:

$$a \underset{G43}{\rightarrow} b = \min(1, b/a) \quad a = 0\,da, \quad a \underset{G43}{\rightarrow} b = 1 \; ;$$

5) L-mantiq, yoki muhokama qilib o'tilgan Lukasevich mantig'i:

$$a \underset{L}{\rightarrow} b = \min(1, 1 - a + b)\; ;$$

6) Yuqorida ko'rsatilgan KD-mantiq:

$$a \underset{KD}{\rightarrow} b = (1-a) \vee b = \max(1-a, b)\; .$$

O'z navbatida, berilgan kitobning keyingi boblarida muhokama etiladigan ALI 1 – ALI 3 –mantiqlar implikatsiyaning quyidagi amallari bilan xarakterlanadi [2]:

7) ALI 1-mantiq:

$$a \underset{ALI1}{\rightarrow} b = \begin{cases} 1 - a, \; agar \quad a < b; \\ 1, \; agar \quad a = b; \\ b, \; agar \; a > b; \end{cases}$$

8) ALI 2 – mantiq:

$$a \underset{ALI2}{\rightarrow} b = \begin{cases} 1, \; agar \quad a \leq b; \\ (1-a) \wedge b, \; agar \quad a > b; \end{cases}$$

9) ALI 3 - mantiq:

$$a \underset{ALI3}{\rightarrow} b = \begin{cases} 1, \; agar \quad a \leq b; \\ b/[a + (1-b)], \; aksholda. \end{cases}$$

Implikatsiya amallarini o'n bir qiymatli mantiqlarga implikativ o'tish jadvallari ko'rinishida tasvirlash qulay. S# - mantiqning bunday jadvali quyidagi ko'rinishga ega (gorizontal bo'yicha chegara ostida chiquvchi mantiqiy yo'llanmaning qiymatlari, vertikal bo'yicha-kiruvchining chinlik qiymati ajralib qoladi):

$\vec{S}^{\#}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$\vec{S}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0,5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0,6	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0,7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

$\vec{G}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	0	0,1	0,2	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0	0,1	0,2	0,3	1	1	1	1	1	1	1
0,5	0	0,1	0,2	0,3	0,4	1	1	1	1	1	1
0,6	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	1	1	1	1
0,7	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1	1	1	1
0,8	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1	1	1
0,9	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1
1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

$\vec{G}_{43}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	0	0,33	0,67	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0	0,25	0,5	0,75	1	1	1	1	1	1	1
0,5	0	0,21	0,4	0,6	0,8	1	1	1	1	1	1
0,6	0	0,17	0,33	0,5	0,67	0,83	1	1	1	1	1
0,7	0	0,14	0,29	0,43	0,57	0,71	0,86	1	1	1	1
0,8	0	0,13	0,25	0,38	0,5	0,63	0,75	0,88	1	1	1
0,9	0	0,11	0,22	0,33	0,44	0,56	0,67	0,78	0,89	1	1
1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

$\vec{L}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1	1
0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1
0,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1
0,7	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1
0,8	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1
0,9	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1
1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

$\overrightarrow{KD}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1
0,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1
0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1
0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,8	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,9	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

$\overrightarrow{ALI1}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
0,2	0	0,1	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
0,3	0	0,1	0,2	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
0,4	0	0,1	0,2	0,3	1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
0,5	0	0,1	0,2	0,3	0,4	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,6	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	0,4	0,4	0,4	0,4
0,7	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1	0,3	0,3	0,3
0,8	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1	0,2	0,2
0,9	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	0,1
1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

$\overrightarrow{ALI2}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	0	0,1	0,2	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0	0,1	0,2	0,3	1	1	1	1	1	1	1
0,5	0	0,1	0,2	0,3	0,4	1	1	1	1	1	1
0,6	0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	1	1	1	1	1
0,7	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1	1	1	1
0,8	0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1	1	1
0,9	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$\overrightarrow{ALI3}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0	1/11	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,3	0	1/12	2/11	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0	1/13	1/6	3/11	1	1	1	1	1	1	1
0,5	0	1/14	2/13	1/4	4/11	1	1	1	1	1	1
0,6	0	1/15	1/7	3/13	1/3	5/11	1	1	1	1	1
0,7	0	1/16	2/15	3/14	4/13	5/12	6/11	1	1	1	1
0,8	0	1/17	1/8	1/5	2/7	5/13	1/2	7/11	1	1	1
0,9	0	1/18	2/17	3/16	4/15	5/14	6/13	7/12	8/11	1	1
1	0	1/19	1/9	3/17	1/4	1/3	3/7	7/13	2/3	9/11	1

Taklif etilgan ALI1-ALI3 noravshan mantiqlar uchun ikkilamchi implikatsiya amalini aniqlashning analitik ifodalarini yozib olamiz

$$a \underset{ALI1}{\leftrightarrow} b = \begin{cases} 1-ka, \ agar \ a<b; \\ 1, \ agar \ a=b \\ 1-kb, \ agar \ a>b; \end{cases}$$

$$a \underset{ALI2}{\leftrightarrow} b = \begin{cases} 1, \quad agar \quad a=b; \\ \min[(\neg a \wedge b), (\neg b \wedge a)], \ qo\lg an \ hollarda; \\ 0, \quad agar \quad (ka=1) \vee (kb=1); \end{cases}$$

$$a \underset{ALI3}{\rightarrow} b = \begin{cases} 1, \quad agar \quad a=b; \\ \min\left(\dfrac{a}{b+\neg a}; \dfrac{b}{a+\neg b}\right), \quad qo\lg an\, hollarda; \\ 0, \quad agar \quad (a=0) \vee (b=0), \end{cases}$$

bu yerda ka=max(a,1-a).

Noravshan to'plamning cho'qqisi. B noravshan to'plamning cho'qqisi deb

$hB = \underset{U}{\vee} \mu_B X$ ga aytiladi.

Noravshan to'plamning quyisi. B noravshan to'plamning quyisi deb

$pB = \underset{U}{\wedge} \mu_B X$ ga aytiladi.

Noravshan to'plamning ravshanligi.

$a \in v$ noravshanning ravshanligi deb $ka = a \vee (1-a)$ ko’rinishdagi ifodaga aytiladi. Noravshan B to’plamning ravshanligi quyidagicha aniqlanadi

$$kB = \underset{U}{\wedge} k\mu_B X \ .$$

4.7.3. Noravshan mantiqlarni semantik tahlil etish

Kuchli noravshan to’plamlar nazariyasida qabul qilingan atamalardan foydalangan holda taklif etilgan noravshan mantiqlarga qisqa semantik tahlil keltirib o’tamiz. Ushbu maqsadda quyidagilarni shakllantiramiz.

1-taklif. (to’plamlarni kiritish imkonining darajasi). $\pi_i(A \subseteq B)$ ko’rinishdagi funksiyalarni ALI1-ALI3 noravshan mantiqlarda aniqlab olamiz.

1. $$\pi_1(A \subseteq B) = \begin{cases} 1-\mu_A x, & agar \quad \mu_A x < \mu_B x; \\ 1, & agar \quad \mu_A x = \mu_B x; \\ \mu_B x, & agar \quad \mu_A x > \mu_B x. \end{cases}$$

2. $$\pi_2(A \subseteq B) = \begin{cases} 1, & agar \quad \mu_A x \le \mu_B x; \\ (1-\mu_A x) \wedge \mu_B x, & agar \quad \mu_A x > \mu_B x. \end{cases}$$

3. $$\pi_3(A \subseteq B) = \begin{cases} 1, & agar \quad \mu_A x \le \mu_B x; \\ \dfrac{\mu_B x}{\mu_A x + (1-\mu_B x)}, & agar \quad \mu_A x > \mu_B x. \end{cases}$$

ALI1 noravshan mantiqqa nisbatan $\mu_A x = 0$ yoki $A = \varnothing$ bo’lgandagina ravshan kiritishni amalga oshirish mumkib. Kelgusida to’plamlarning ekvivalentlik masalasini ko’rib chiqamiz.

2-taklif (to’plamlar ekvivalent bo’la olish darajasi). Bu yerda $T = \{x \in \bigcup / \mu_A x \ne \mu_B x\}$ to’plam va A=B $\forall x da \quad \mu_A x = \mu_B x$ bo’lishini, yoki boshqa so’z bilan aytganda $T = \varnothing$ ekanligini anglatadi.

1. $$\pi_1(A \equiv B) = \begin{cases} 1-[(1-\mu_A x) \vee \mu_A x], & agar \quad \mu_A x < \mu_B x; \\ 1, & agar \quad \mu_A x = \mu_B x; \\ 1-[(1-\mu_B x) \vee \mu_B x], & agar \quad \mu_A x > \mu_B x. \end{cases}$$

2. $\pi_2(A\equiv B)=\begin{cases}1, \quad agar \quad A=B;\\ T\{[(1-\mu_A x)\wedge\mu_B x],[(1-\mu_B x)\wedge\mu_A x]\}, \quad agar \quad A\neq B;\\ 0, \quad agar \quad \exists x\| \;|\mu_A x=0, \quad \mu_B x\neq 0 \quad (yoki\,ak\sin cha)\\ shuningdek\;\exists x\|\;|\mu_A x=1,\, \mu_B x\neq 1\,(yoki\,ak\sin cha).\end{cases}$

3. $\pi_3(A\equiv B)=\begin{cases}1, agar\; A=B;\\ T\left[\dfrac{\mu_A x}{\mu_B x+(1-\mu_A x)},\dfrac{\mu_B x}{\mu_A x+(1-\mu_B x)}\right],\\ aksholda\\ 0, agar\;\exists x\|\;|\;\mu_A x=0, lekin\;\mu_B x\neq 0\\ (yoki\,ak\sin cha).\end{cases}$

$\|\,|$ belgisi “singari” degan ma’noni bildiradi.

$\pi_i(A\equiv B)$ ifodalardan kelib chiqadiki, uchala noravshan mantiqlarga nisbatan $\pi_i(A\equiv B)=1$ ekvivalentlik imkoni to’plamlarning haqiqiy ekvivalentligida, ya’ni A=B da o’rinli bo’ladi. Ekvivalentlik imkoni mulohazalardan biri ravshan, ya’ni rost, yoki yolg’on, boshqasi noravshan bo’lganida 0 ga teng bo’ladi.

3-faraz. (B noravshan to’plamning boshlik darajasi). Ta’rifdagi $B=\varnothing\;\;\forall x\;\mu_B x=0$ yoki ekvivalent ravishda hB=0 ekanligini anglatadi.

1. $\pi_1(B\equiv\varnothing)=\begin{cases}1, agar \quad B=\varnothing;\\ 0, aksholda.\end{cases}$

2. $\pi_2(B\equiv\varnothing)=\begin{cases}1, agar \quad hB<1\; yoki\; B=\varnothing;\\ 0, aksholda.\end{cases}$

3. $\pi_3(B\equiv\varnothing)=\begin{cases}1, agar \quad B=\varnothing;\\ 0, aksholda.\end{cases}$

Noravshan to’plamlarning mos emaslik tushunchasini kiritamiz.

“Mos kelmaslikning” ikkita turi mavjud: birinchi tur to’plamlardan biri A ikkinchisi kengaytmasining B^c qism to’plam bo’lish darajasi bilan aniqlanadi; ikkinchi tur- to’plamlari kesishmasining bo'sh bo'lish darajasi, shuning uchun quyidagini bayon etamiz.

(A va B to'plamlarning mos bo'lmaslik darajasi A va B larning mos kelmaslik darajasidir).

$$\pi(A disj_1 B) = \pi(A \subseteq B^c) \wedge \pi(B \subseteq A^c), \qquad (4.7.1)$$

$$\pi(A disj_2 B) = \pi(A \cap B) = \varnothing. \qquad (4.7.2)$$

$T = \{x \mid \mu_A x > 1 - \mu_B x\}$ da birinchi turdagi mos kelmaslikni ko'rib chiqamiz:

1. $$\pi_1(A disj_1 B) = \begin{cases} 1, & agar \ \exists x \| \mid \mu_A x = 1 - \mu_B x; \\ (1-\mu_A x) \wedge (1-\mu_B x), & qolgan\, hollarda; \\ 0, & hech\, qachon. \end{cases}$$

2. $$\pi_2(A disj_1 B) = \begin{cases} 1, & agar\ \mu_A x \le 1 - \mu_B x; \\ T[(1-\mu_A x),(1-\mu_B x)], & qolgan\, hollarda; \\ 0, & agar\ \ \exists x \| \mid \mu_A x = 1, \ \ lekin\ \ \mu_B x \neq 0 \\ yoki & \mu_B x = 1, \ \ lekin\ \ \mu_A x \neq 0. \end{cases} \qquad (4.7.3)$$

3. $$\pi_3(A disj_1 B) = \begin{cases} 1, & agar\ \mu_A x = \mu_B x \quad agar \quad \mu_B x = 0; \\ T\left(\dfrac{1-\mu_B x}{\mu_A x + (1-\mu_B x)}, \dfrac{1-\mu_B x}{\mu_B x + (1-\mu_A x)}\right), \\ aks\, holda \\ 0, & hech\ qachon. \end{cases}$$

Mos kelmaslik darajasi ALI2 noravshan mantiqqa nisbatangina 0 ga teng bo'lishi mumkin, bunda zaruriy shart ko'rilayotgan noravshan to'plamlardan biri subnormal bo'lganida, boshqasi normal bo'lishidir.

5-taklif. (To'plam o'z kengaytmasining qism to'plami bo'lish darajasi). Ko'rilayotgan tizimlarga nisbatan $\pi_i(A \subseteq A^c)$ quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

1. $\pi_1(A \subseteq A^c) = \begin{cases} 1, & agar \quad hA = 0; \\ 0, & agar \quad hA = 1; \\ 1 - hA, & qo\lg an\, hollarda. \end{cases}$

2. $\pi_2(A \subseteq A^c) = \begin{cases} 1, & agar \quad hA \leq 0{,}5; \\ 0, & agar \quad hA = 1; \\ 1 - hA, & qo\lg an\, hollarda. \end{cases}$

3. $\pi_3(A \subseteq A^c) = \begin{cases} 1, & agar \quad hA \leq 0{,}5; \\ 0, & agar \quad hA = 1; \\ 1 - hA/(2hA), & qo\lg an\, hollarda. \end{cases}$

ALI1 noravshan mantiqda to'plam o'z kengaytmasining qism to'plami bo'lish darajasi bu to'plam bo'sh bo'lish darajasiga tengdir. Shuni qayd etish joizki, [2] da olib borilgan semantik tahlil, hamda yuqorida o'tkazilgan tahlil ham ALI1 va KD noravshan mantiqlar xossalaridagi katta oxshashlikni ko'rsatib turadi. Lekin quyida ko'rsatilishicha, noravshan ALI1 mantiq KD-mantiqqa nisbatan noravshan shartli chiqarish qoidalarini shakllantirish va turli xil texnologik jarayonlarni modellashtirish paytida muvaffaqiyatli qo'llash imkonini beruvchi bir qator ustuvorliklarga ega.

4.8. **Noravshan to'plamlar va imkoniyatlar nazariyasi**

4.8.1. Noravshan to'plamlarni imkoniyatli interpretasiyalash

Noravshan o'lchov. Noravshan o'lchov [1,2] shartlarni qanoatlantiruvchi B dagi g funksiya bilan aniqlanadi:

1. $g(\varnothing)=0, \quad g(x)=1$.

2. Agar $A,B\in[B$ va $A\subseteq B$, u holda $g(A)\le g(B)$.

3. Agar $A_n\in[B, \quad A_1\subseteq A_2\subseteq ...$, u holda $\lim\limits_{n\to\infty} g(A_n)=g(\lim\limits_{n\to\infty} A_n)$.

Bu yerda [B X universumning Borel-sohasidir.

Quyidagi tushunchalarni kiritamiz.

Imkoniyat o'lchovi.

P(X) X universumning kuchli noravshan to'plami bo'lsin. U holda imkoniyat o'lchovi quyidagi xossali $\Pi: P(X)\to[0,1]$ funksiyadir [1].

1. $\Pi(\phi)=0, \quad \Pi(x)=1$.

2. $A\subseteq B\to \Pi(A)\le \Pi(B)$.

3. $\Pi(\bigcup\limits_{i\in I} A_i)=\sup\limits_{i\in I}\Pi(A_i)$.

Imkoniyat o'lchovi $f: X\to[0,1], \Pi(A)=\sup\limits_{x\in A} f(x), A\subset X$ taqsimot funksiyasi orqali aniqlanishi mumkin. Demak,

$$f(x)=\Pi(\{X\}) \quad \forall x\in X .$$

[1] misol.

$$X=\{0,1,...,10\} .$$

$\Pi(\{X\})$:= x ning 8 ga yaqin bo'lish imkoniyati.

X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Pi(\{X\})$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.8	1	0.8	0.5

Π(A):= A da 8 ga yaqin sonlarning bo'lish imkoni.

$A\subset X\to \Pi(A)=\sup\limits_{x\in F}\Pi(\{X\})$. A={2,5,9} ga nisbatan quyidagilarni aniqlash mumkin:

$$\Pi(A)=\sup\{\Pi(\{2\}), \Pi(\{5\}), \Pi(\{9\})\}=\sup\{0, 0.1, 0.8\}=0.8 .$$

Noravshan to'plamlarning noravshanlik darajasini aniqlovchi noravshanlik o'lchovi tushunchasi ham katta ahamiyat kasb etadi.

Noravshanlik o'lchovi.

Noravshanlik o'lchovini d(A) orqali belgilaymiz. Entropiya $A=\{X, \mu_A(x)\}$ noravshanlik o'lchovi sifatida quyidagicha aniqlandi

$$d(A)=H(A)+H(\overline{A}), \quad x\in X ,$$

$$H(A) = -K\sum_{i=1}^{n} \mu_A(x_i)\ln(\mu_A(x_i)),$$

bu yerda n – A tashuvchining elementlari soni, K-musbat konstanta.

L.Zade [3,4] da tegishlilik funksiyasini ayrim hollarda ehtimolliklarning taqsimlanishi sifatida talqin etish mumkin, ya'ni ixtiyoriy to'plam ma'lum bir o'zgaruvchining mavjud qiymatlariga qo'yilgan cheklanish sifatida qaralishi mumkin.

Axborotning noaniqligini tasvirlashning nazariy-to'plamli va mantiqiy usullari bilan noaniqliklarni sonli ta'riflash usullari bilan birgalikda ehtimolliklar nazariyasining asosiy masalasini tashkil etadi. Ehtimolliklar nazariyasi o'lchash paytida aniq axborot olib bo'lmaydigan yoki axborot manbai inson(ekspert) bo'lgan modellashtirish, boshqarish va qaror qabul qilishning haqiqiy masalalarida keng qo'llanilib kelinmoqda. U bir vaqtning o'zida noaniqlikni modellashtirish va noaniqlikni sonli xarakterlash imkonini beradi. Ma'lumotlar, bilimlarning noqat'iylik va noaniqlik tushunchalarini bir-biridan ajrata bilish kerak. Noqat'iylik axborotning tarkibiga, noaniqlik esa- haqiqatga mos kelish ma'nosidagi chinligiga taaluqlidir.

Ehtimolliklar nazariyasi noravshan to'plamlarga asoslangan. Bu borada noravshan to'plamlarning ehtimollikli talqinini keltirib o'tish foydalidir.

Ehtimolliklarning taqsimlanishi. Agar G universumdagi noravshan mulohaza p: "X A dir" A G dagi noravshan to'plam bo'ladigan qilib X ga nisbatan mavjud bo'lsa, u holda p Π_x ehtimolliklarning taqsimotini (possibility distribution)ifodalaydi [5]

$$\Pi_x = A, \tag{4.8.1}$$

$$Poss(X = U / X \quad есть A) = \mu_A(U) \tag{4.8.2}$$

P mulohaza ehtimolliklarning vazifasi tenglamalariga "o'giriladi", $\Pi_x = A$ va aksincha $\Pi_x = A$ ni "teskari o'girish" deb ham atashadi.

Π to'plamning funksiyalari shundayki,

$$\forall A, B \subseteq \Omega,\ \Pi(A \cup B) = \max(\Pi(A), \Pi(B)) \tag{4.8.3}$$

lar ehtimollik o'lchovlari deb ataladilar [3,6]. Xususan, agar A va $\overline{A}$ - ikkita qarama-qarshi hodisa bo'lsalar, u holda

$$\max(\Pi(A), \Pi(\overline{A})) = 1, \text{ yoki } \Pi(A) + \Pi(\overline{A}) \geq 1. \tag{4.8.4}$$

Ω chekli bo'lsa, u holda har qanday Π ehtimollik o'lchovini uning bir nuqtali Ω qism to'plamlardagi qiymatlariga qarab aniqlash mumkin

$$\Pi(A) = \sup\{\pi(\omega) / \omega \in A\}, \tag{4.8.5}$$

bu yerda $\pi(\omega) = \Pi(\{\omega\})$ -ehtimolliklarning taqsimot funksiyasi deyiladi. Amaliy masalalarda Π ehtimollikning o'lchovini ehtimolliklarning taqsimlanish funksiyasiga asoslangan holda (9,5) formulaga asoslanib qurish mumkin.

Agar fizik o'lchovlar natijasida hodisalarning paydo bo'lishi to'g'risida axborot berilgan bo'lsa, u holda noaniqlik o'lchovini ehtimolliklar nazariyasining additivlik aksiomatikasidan kelib chiqqan holda quyidagicha aniqlash mumkin

$$\forall A, B, P(A \cup B) = P(A) + P(B). \tag{4.8.6}$$

Bu yerda P –noaniqlikning ehtimolli o'lchovi. (4.8.5) shartning o'xshash ko'rinishi quyidagicha

$$P(A) = \sum_{\omega \in A} P(\omega), \tag{4.8.7}$$

bu yerda $P(\omega) = P(\{\omega\})$.

(4.8.4) shartning o'xshashi quyidagicha bo'ladi

$$P(A) + \overline{P}(\overline{A}) = 1. \tag{4.8.8}$$

(4.8.4) va (4.8.8) munosabatlardan ehtimollik va ehtimollar o'rtasidagi asosiy farq ko'rinib turibdi [6].

Biron bir hodisaning ehtimoli unga zid hodisaning ehtimoli bilan to'laligicha aniqlanadi. Biron bir hodisaning ehtimolliligi va unga zid hodisaning ehtimolliligi sustroq bog'langan. Kelgusida sun'iy intellektning markaziy muammosi bo'lgan ehtimollilik o'lchovi va ehtimollikning taqsimlanish funksiyasi kabi subyektiv mulohazalarni modellashtirishni F noravshan to'plamning tegishlilik funksiyasi sifatida talqin etish mumkin, ya'ni

$$\forall \Pi, \exists F \in [0,1]^{\omega}, \quad \vee \omega \in \Omega, \Pi(\{\omega\}) = \pi(\omega) = \mu_F(\omega). \tag{4.8.9}$$

Ehtimolliklarning taqsimlanishi taxminiy mulohaza masalasida noqat'iy axborotni tasvirlashning muhim vositasidir.

Ekspert tizimlarda, boshqaruvning noravshan mantiqiy tizimlarda, mantiqiy chiqarish vaqtidagi mahsuldor qoidalarning darajasini hisoblash uchun ko'pincha [7,8] da taklif etilgan noravshan o'xshashlik amalidan foydalaniladi $a_1 = a_2$, bu yerda a_1 va a_2 - lingvisitik qiymatlar; ="ga yaqin" amali. Bu amal a_1 qiymat a_2 qiymatga teng bo'lish ehtimolining o'lchovi sifatida aniqlanadi [7,8].

Misol. a_1 va a_2- trapesiyasimon noravshan sonlar bo'lganida $Poss\{a_1 / a_2\}$ ni hisoblang, ya'ni

$$\mu_{a_1}(u)=\begin{cases}1-\dfrac{ml_1-u}{\alpha_1}, & agar \quad ml_1-\alpha_1\le u\le ml_1,\\ 1, \quad agar \quad ml_1\le u\le mr_1 & \\ 1-\dfrac{u-ml_1}{\beta_1}, & agar \quad mr_1\le u\le mr_1+\beta_1\\ 0, \quad \text{qolgan hollarda} & \end{cases}$$

$$\mu_{a_2}(u)=\begin{cases}1-\dfrac{ml_2-u}{\alpha_2}, & agar \quad ml_2-\alpha_2\le u\le ml_2,\\ 1, \quad agar \quad ml_2\le u\le mr_2 & \\ 1-\dfrac{u-ml_2}{\beta_2}, & agar \quad mr_2\le u\le mr_2+\beta_2\\ 0, \quad \text{qolgan hollarda}. & \end{cases}$$

$$a_1=a_2=Poss(a_1/a_2)=\max_u\min(\mu_{a_1}(u),\mu_{a_2}(u))\in[0,1]=$$

$$=\begin{cases}1-\dfrac{ml_1-mr_2}{\alpha_1+\beta_2}, & agar \quad 0<ml_1-mr_2<\alpha_1+\beta_2\\ 1, \quad agar \quad \max(ml_1,ml_2)\le\min(mr_1,mr_2) & \\ 1-\dfrac{ml_2-mr_1}{\alpha_2+\beta_2}, & agar \quad 0<ml_2-mr_1<\alpha_2+\beta_1\\ 0, \quad \text{qolgan hollarda}. & \end{cases}$$

4.9.Taxminiy mulohazalar nazariyasi

4.9.1. Taxminiy mulohazalar sxemasi

Oxirgi paytda noravshan to'plamlar (F-to'plamlar) ni o'rganishda F-Conditional Rules Inference yoki qisqa qilib CRI [1-9] deb ataluvchi noravshan shartli mantiqiy xulosa (F-sharli xulosa) qoidalarini ishlab xulosaga katta e'tibor qaratiladi. Bu holat oddiy tilning semantikasida ma'lum sondagi noravshan tushunchalar (F-tushunchalar) mavjudligi bilan bog'liqdir, shuning uchun yo'llanmalar va natijalar bunday F-tushunchalarni o'z ichiga olgan mantiqiy xulosalar chiqaramiz. Amaliyotning ko'rsatishicha, bunday xulosalarga nisbatan qoidalarni shakllantirish yo'sinlari mutlaqo har xil bo'lishi mumkin. Lekin bu kabi xulosalar klassik bull mantiqqa asoslangan holda qoniqarli darajada shakllanmaydi, ya'ni shu maqsadda ko'p qiymatli mantiqiy tizimlardan foydalanish zarur bo'lib qoladi.

Noravshan mantiqda va taxminiy mulohazalarda umumlashgan modus ponens GMP (Generalized Modus Ponens) va umumlashgan modus tollens GMT (Generalized Modus Tollens)deb ataluvchi noravshan xulosaning ikkita muhim qoidasi mavjud:

1-yo'llanma: x A' dir,
2-yo'llanma: Agar x A bo'lsa, u holda y B dir,

Xulosa: y B' dir (GMP)

1-yo'llanma: y B' dir,
2-yo'llanma: Agar x A bo'lsa, u holda y B dir,

Xulosa: x A' dir (GMT)

Noravshan implikasion xulosa Zade tomonidan taklif etilgan taxminiy mulohazalarga asoslangan kompozitsion qoidaga asoslanadi [10]. Bu yerda an'anaviy mantiqdagi ravshan to'plamlar o'rniga x va y lingvistik o'zgaruvchili noravshan A, A', B, B' to'plamlar kiritilgan. A' =A va B'=B bo'lganda "modus ponens" ga keltiriladigan GMP noravshan boshqaruv tizimlarida foydali bo'lgan to'g'ridan-to'g'ri xulosa bilan zich bog'langan. B'=B emas va A'=A emas bo'ladigan “modus tollens” ga keltiriluvchi GMT ekspert tizimlarda, ayniqsa tibbiy tashxis sohasida keng qo’llaniluvchi teskari xulosa bilan bog’langan.

Shartli mantiqiy xulosa qoidalarini ishlab xulosa asosan uch turdagi shartli taklifni qamrab oladi [4,11]:

P_1 = AGAR x A bo’lsa U HOLDA y B dir

P_2 = AGAR x A bo’lsa U HOLDA y B dir Aks holda C

P_3 = AGAR x_1 A_1 bo’lsa va x_2 A_2 bo’lsa va x_n A_n bo’lsa U HOLDA y B dir

Yuqorida qayd etilganidek, shartli mantiqiy xulosa qoidalarini shakllantirishning qonuniy asosi quyidagi mazmundagi ajratish (modus=ponens) qoidasidir:

AGAR ($\alpha \to \beta$) rost va α rost bo’lsa U HOLDA β rostdir.

O’z navbatida, bunday shakllanishning uslubiy asosi L.Zade tomonidan taklif etilgan kompozitsion qoidadir [12,13]. U bu qoidadan foydalangan holda F-qonuniyatni o’z ichiga olgan shartli mulohazalar bo’lgan yo’llanmalar va natijalarni o’z ichiga olgan ayrim xulosa qoidalarini shakllantirdi. Keyinchalik E.Mamdani [5] Zadening qoidasi singari P_1 ko’rinishdagi mantiqiy mulohazaga nisbatan ishlab chiqilgan shaxsiy xulosa qoidasini taklif etdi. Boshqa so’z bilan aytganda quyidagi shakldagi F-shartli xulosa ko’rib chiqiladi:

1-yo’llanma: Agar x A bo’lsa u holda y B dir,

2-yo’llanma: x A’ dir,

Xulosa: y $B^{'}$ dir (4.9.1)

Yoki agar x=A bo’lsa, u holda y=B

x= $A^{'}$,

y= $B^{'} = A^{'}$ oR

bu yerda A va $A^{'}$ - U universumdagi F-to’plam ko’rinishida berilgan F-qonuniyat; B-V universumdagi F-qonuniyat yoki F-to’plam. Bundan B’ V dagi F-to’plam ko’rinishida berilgan natijadir.

Taxminiy mulohazalar sxemasi. (4.9.1) sxema taxminiy mulohazalar sxemasi deb ataladi.

CRI dan foydalangan holda mantiqiy natijani olish uchun 1 va 2 yo’llanmalar mos ravishda R($A_1(x), A_2(y)$) ko’rinishdagi binar F-munosabat va R($A_1(x)$) ko'rinishdagi unar F-munosabatga keltirilishi kerak. Bu yerda $A_1(x)$ va $A_2(y)$ mos ravishda U va V universumlardagi qiymatlarni qabul qiluvchi x va y atributlar orqali aniqlanadi. U holda

$$R(A_1(x)) = A'. \qquad (4.9.2)$$

R($A_1(x), A_2(y)$) Zade-Mamdani xulosalarining qoidalariga ko'ra quyidagi tarzda aniqlanadi.

Shartli mulohazaning maksimin qoidasi

$$R_m(A_1(x), A_2(y)) = (A \times B) \bigcup (\neg A \times V) \qquad (4.9.3)$$

Shartli mulohazaning arifmetik qoidasi

$$R_0(A_1(x), A_2(y) = (\neg A \times V) \oplus (U \times V) \qquad (4.9.4)$$

Shartli mulohazaning mini-funksional qoidasi

$$R_c(A_1(x), A_2(y)) = A \times B \qquad (4.9.5)$$

Bu yerda $\times, \bigcup, \neg$ - mos ravishda dekart ko'paytma, birlashma va inversiya; $\oplus$ -chegaralangan yig'indi.

Shunday qilib, [5,12,13] ga ko'ra (4.9.1) dagi B' bo'lgan mantiqiy natija $R(A_2(y))$ quyidagi tarzda olinishi mumkin:

$$R(A_2(y)) = A' o[(A \times B)] \bigcup [(A \times B)]$$

$$R(A_2(y)) = A' o[(\neg A \times V)] \oplus [(U \times B)] \quad ;$$

yoki

$$R(A_2(y)) = A' o(A \times B),$$

bu yerda o – F-to'plamlarni maksimin kompozitsiyalash amali.

Shu qoidalar asosida [6] da P_2 ko'rinishdagi shartli mulohazalarga taaluqli qoidalar taklif etildi:

$$R_4(A_1(x), A_2(y)) = [(\neg A \times V) \oplus (U \times B)] \bigcap [(A \times V) \oplus (U \times C)]; \qquad (4.9.6)$$

$$R_5(A_1(x), A_2(y)) = [(\neg A \times V) \bigcup (U \times B)] \bigcap [(A \times V) \bigcup (U \times C)]; \qquad (4.9.7)$$

$$R_6(A_1(x), A_2(y)) = [(A \times B)] \bigcap [(\neg A \times C)]. \qquad (4.9.8)$$

Huddi shu yerda [6] P_3 ko'rinishdagu shartli mulohazaga oid qoidalar ham taklif etildi:

$$R_7(A_1(x), A_2(y)) = [\bigcap_{i=\overline{1,n}} (\neg A_i \times V)] \oplus [(U \times B)]; \qquad (4.9.9)$$

$$R_8(A_1(x), A_2(y)) = [\bigcap_{i=\overline{1,n}} (\neg A_i \times V)] \bigcup [(U \times B)]; \qquad (4.9.10)$$

$$R_9(A_1(x), A_2(y)) = [\bigcap_{i=\overline{1,n}} \neg A_i] \times B. \qquad (4.9.11)$$

4.9.2. Taxminiy mulohazalar usullarini tahlil etish mezoni

(4.9.3(-(4.9.11) qoidalarning samaradorligini tahlil etish uchun [9] da taklif etilgan F-shartli mantiqiy xulosaga taaluqli ayrim mezonlardan foydalanamiz. Berilgan mezonlarning mazmuni noravshan shartli xulosaning u yoki bu qoidasi taxminiy mulohazalarda inson ichki tuyg'ularini qay darajada qanoatlantirilishini tekshirish imkoni beradi. Bu mezonlarning ko'rinishi quyidagicha:

I-mezon.

1-yo'llanma: AGAR x A bo'lsa, U HOLDA y B dir,
2-yo'llanma: x A dir,

Natija: y B dir

II-1-mezon.

1-yo'llanma: AGAR x A bo'lsa U HOLDA y B dir,
2-yo'llanma: x juda A dir,

Natija: y juda B dir.

II-2-mezon.

1-yo'llanma: AGAR x A bo'lsa, u holda y B dir,
2-yo'llanma: x juda A dir,

Natija: y B dir.

III-mezon.

1-yo'llanma: AGAR x A bo'lsa, U HOLDA y B dir,
2-yo'llanma: x bir muncha A dir,

Natija: y bir muncha B dir

IV-1-mezon

1-yo'llanma: AGAR x A bo'lsa U HOLDA y B dir,
2-yo'llanma: x A emas dir,

Natija: y – noma'lum

IV-2-mezon.

1-yo’llanma: AGAR x A bo’lsa, U HOLDA y B dir,
2-yo’llanma: x A emasdir,

Natija: y B emasdir.

[9,14] da Zade-Mamdani qoidalarida R_m, R_o va R_c munosabatlar har doim ham ushb mezonlarni qanoatlantiravermasligi ko’rsatildi. Shunday qilib, R_m ga nisbatan quyidagi natijalar olindi. $A^{'}=A$ va

$$B_m^{'}=Ao[(A\times B)\bigcup(\neg A\times V)]=\int_U \mu_A(u)/uo\int_{U\times V}\mu_A(u)\wedge\mu_B(v)\vee(1-\mu_A(u))/(u,v)=$$

$$\int_V \underset{u\in U}{\vee}[\mu_A(u)\wedge(\mu_A(u))\wedge(\mu_B(v))\vee(1-\mu_A(u))]/v$$

da

$$S_m(\mu_A(u))=\mu_A(u)\wedge(\mu_A(u)\wedge\mu_B(v))\vee(1-\mu_A(u)))$$

ni topamiz.

$u\in U$ ga nisbatan $\mu_A(u)$ tegishlilik funksiyasi [0,1] oraliqdagi barcha qiymatlarni qabul qilganligi uchun,

$$\underset{u\in U}{\vee}S_m(\mu_A(u))=\begin{cases}\mu_B(v), & \mu_B(v)\geq 0.5\\ 0.5, & \mu_B(v)\leq 0.5\end{cases}$$

bundan $B_m^{'}=\int_V \underset{u\in U}{\vee}S_m(\mu_A(u))/v$, u holda $B_m^{'}\neq B$ ekanligi yaqqoldir, bu degani I-mezon qanoatlanmadi.

$A^{'}=A^2$ (juda A) da

$S_m^{'}(\mu_A^{\alpha}(u))=\mu_A^{\alpha}(u)\vee[(\mu_A(u)\wedge\mu_B(v))\vee(1-\mu_A(u))]$.

ga ega bo’lamiz, bundan

$$\underset{u\in U}{\vee}S_m^{'}(\mu_A(u))=\begin{cases}\mu_B(v), & \mu_B(v)\geq(3-\sqrt{5})/2\\ (3-\sqrt{5})/2, & \mu_B(v)\leq(3-\sqrt{5})/2\end{cases}.$$

Shunday qilib,

$$B_m^{'}=\int_V \underset{u\in U}{\vee}S_m^{'}(\mu_A(u)/v+\text{ juda B},$$

ya’ni $B_m^{'}\neq B$, demak II-1 va II-2 mezonlar qanoatlanmadi.

$A^{'}$=(bir muncha A) da III-mezon qanoatlanmaydi, VI-1 mezon esa qanoatlanadi.

$$B_{\alpha}^{'}=A^{\alpha}o[(\neg A\times V)\oplus(U\times B)]$$

da R_{α} arifmetik qoida uchun quyidagiga ega bo’lindi:

a) $A^{'}=A$ da

$$\underset{u\in U}{\vee}S_0(\mu_A(u),1)=[1+\mu_B(v)]/2$$

yoki

$$B_\alpha^{'} = \int_V \underset{u\in U}{\vee} S_0(\mu_A(u),1)/v = \int_V \frac{1+\mu_\alpha(v)}{2} v\,,$$

ya'ni $B_\alpha^{'} \neq B$ yoki I-mezon qanoatlanmaydi;

b) $A^{'} = A^2$ (juda A) da

$$B_\alpha^{'} = \int_V \frac{3+2\mu_B(v)-\sqrt{5+4\mu_B(v)}}{2} \Big/ v\,.$$

Lekin juda $B = \int_V \mu_B^2(v)/v$ ekanligi ko'rsatildi, shunday qilib, $B_\alpha^{'} \neq B^2$ (juda B),ya'ni II-1 $B_\alpha^{'} \neq B$ da bajarilmaydi, $B = \int_V \mu_B(v)/v$, ya'ni II-2 mezon qanoatlanmaydi;

c) $A^{'} = A^{0,5}$ (bir muncha A da)

$B_\alpha^{'} = \int_V \frac{-1+\sqrt{5+4\mu_B(v)}}{2} \Big/ v \neq \int_V \mu_B^{0,5}(v)/v$ =(bir muncha B) o'rinlidir.

Shunday qilib, II-mezon qanoatlanmaydi, bunda IV-1 mezon qanoatlanadi. R_c mini-operasion qoida holi uchun I va II-2 mezonlar bajarilishi, II-1 va III mezonlar esa bajarilmasligi qayd etildi.

AGAR $A^{'}$= A bo'lsa U HOLDA

$$B_C^{'} = (\neg A)o(A\times B) = \begin{cases} \int_V 0{,}5/v, & \mu_B(v) \geq 0{,}5; \\ \int_V \mu_B(v)/v, & \mu_B(v) \leq 0{,}5. \end{cases}$$

Bu esa IV-1 va IV-2 mezonlar qanoatlanmasligini isbotlaydi. Boshqa so'z bilan aytganda, birinchi uchta qoidaga nisbatan mantiqiy natijalar bizning intuisiyamizni har doim ham qoniqarli darajada qanoatlantirmaydi. $R_4 - R_9$ qoidalar P_2 va P_3 mulohazalarga nisbatan qo'llanilgan xulosalar qoidalarining zamonaviy ko'rinishidir xolos. Shuning uchun ular o'z navbatida I-IV mezonlarni qanoatlantirmaydi.

[9] da yuqorida sanab o'tilgan F-shartli mantiqiy xulosa qoidalarini yaxshilashga imkon beruvchi muhim umumlashtirish kiritildi, ya'ni

Zade tomonidan aniqlangan

P_1= AGAR x A bo'lsa, u holda y B dir,

shartli mulohaza arifmetik qoidasini F-munosabat bilan almashtirganda quyidagilar o'rinli ekanligi ko'rsatildi

$$R_\alpha(A_1(x), A_2(y)) = (\neg A\times V)\oplus(U\times B) =$$
$$= \int_{U\times V} 1\wedge(1-\mu_A(u)+\mu_B(v))/(u,v).$$

Bunda F-munosabatning tegishlilik funksiyasi

$$1\wedge(1-\mu_A(u)+\mu_B(v))$$

bo'ladi, bu esa implikasiya amali yoki L(Lukasevich) ko'p qiymatli mantig'ining Ply-operatoriga mos keladi, ya'ni

$$v(P \underset{L}{\rightarrow} Q) = 1 - (1 - v(P) + v(Q)), \tag{4.9.12}$$

bu yerda $v(P \underset{L}{\rightarrow} Q)$, $v(P)$ va $v(Q)$ - mos ravishda $P \underset{L}{\rightarrow} Q$, P va Q mantiqiy mulohazalarning chinlik qiymatlari.

Boshqa so'z bilan aytganda, berilgan munosabatlar moddiy implikasiyani L-mantiqiy tizimda shartli mulohazaga moslashtirish kabi tasvirlanishi mumkin. Bu omilni hisobga olgan holda quyidagi ifoda olindi:

$$\begin{aligned} R_\alpha(A_1(x), A_2(y)) &= (\neg A \times V) \oplus (U \times B) = \\ &= \int_{U \times V} 1 \wedge (1 - \mu_A(u) + \mu_B(v))/(u,v) = \\ &= \int_{U \times V} (\mu_A(u) \underset{L}{\rightarrow} \mu_B(v))/(u,v) = (A \times V) \underset{L}{\rightarrow} (U \times B). \end{aligned} \tag{4.9.13}$$

[9] da (4.9.13) dagi implikasiya amali yoki Ply-operator ixtiyoriy ko'p qiymatli mantiqiy tizimga tegishli bo'lishi mumkinligi ko'rsatildi. F-shartli mantiqiy xulosaning qoidalarini ishlab chiqarishda mantiqiy tizimni tanlash sharti quyidagi yaqqol mulohazadir [9].

U dagi A va V dagi B F-to'plamlar

$$A = \int_U \mu_A(u)/u, \quad B = \int_V \mu_B(v)/v$$

ko'rinishda berilgan bo'lsin. U holda, yuqorida aytib o'tilganidek, shartli mantiqiy mulohaza P_1 Ply-operatorni ko'p qiymatli mantiqiy tizimda moslashtirish orqali $R(A_1(x), A_2(y))$ F-munosabatga o'girilishi mumkin, ya'ni

$$R(A_1(x), A_2(y)) = A \times V \rightarrow U \times B = \int_{U \times V} \mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v)/(u,v). \tag{4.9.14}$$

Bu yerda $\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v)$ qiymati tanlangan mantiqiy tizimga qarab aniqlanadi.

$R(A_1(x)) = A$ deb olib, $R(A_1(x))$ va $R(A_2(y))$ ga nisbatan CRI dan foydalangan holda $R(A_2(y))$ mantiqiy natijaga ega bo'lishimiz mumkin, bundan

$$\begin{aligned} R(A_2(y)) &= AoR(A_1(x), A_2(y)) = \int_U \mu_A(u)/u o \int_{U \times V} \mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v)/(u,v) = \\ &= \int_V \vee [\mu_A(u) \wedge \mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v)]. \end{aligned} \tag{4.9.15}$$

I-mezon qanoatlanishi uchun quyidagi tengliklarning bajarilishi zarurdir

$$R(A_2(y)) = B,$$

yoki $\underset{u\in U}{\vee}[\mu_A(u)\wedge(\mu_A(u)\to\mu_B(v))]=\mu_B(v)$,

yoki $\mu_A(u)\wedge(\mu_A(u)\to\mu_B(v))\le\mu_B(v)$, (4.9.16)

oxirgisi ixtiyoriy $u\in U$ va $v\in V$ larda yoki chinlik qiymatlarining atamalarida o'rinli bo'ladi:

$$v(P\wedge(P\to Q))\le v(Q). \quad (4.9.17)$$

Bajarilishi F-shartli mantiqiy xulosani bayon etish uchun zarur bo'lgan ikkita shartni bayon etamiz:

1. CRI shartli mantiqiy xulosa qoidalari yaqqol I-IV mezonlarga javob berishi kerak;

2. CRI F-shartli mantiqiy xulosa qoidalari (4.9.17) tengsizlikni qanoatlantirishi kerak.

4.9.3. Noravshan mantiqiy xulosa qoidalari

P_1 ko'rinishdagi shartli mulohazaga nisbatan noravshan shartli xulosa qoidalarini shakllantirish. Yuqorida qayd etilganidek, P_1 ko'rinishdagi shartli xulosa quyidagi ko'rinishga egadir:

I-mezon.

1-yo'llanma: AGAR x A bo'lsa, U HOLDA y B dir,

2-yo'llanma: x A' dir,

Natija: y B' dir. (4.9.18)

Bu yerda A,B,A' I,II-1, III va IV-1 mezonlarni qanoatlantirishi kerak bo'lgan U,V va V dagi F-to'plamlar sifatida berilgan F-qonuniyatlardir.

Bunday xulosa uchun, AGAR 2 yo'llanma $R(A_1(x))=A'$ ko'rinishdagi unar F-munosabatga va 1 yo'llanma quyida aniqlanadigan $R(A_1(x),A_2(y))$ F-munosabatga o'tkazilsa, U HOLDA $R(A_1(y))$ ga mos CRI F-mantiqiy xulosa qoidasi yordamida o'tiladi, ya'ni

$$R(A_2(y))=R(A_1(x))oR(A_1(x),A_2(y)). \quad (4.9.19)$$

Bu yerda $R(A_2(y))$ (4.9.18) dagi B' bilan teng kuchli.

ALI1 noravshan shartli xulosa qoidasi.

2-teorema. Agar U dagi A va V dagi B F-to'plamlar an'anaviy ko'rinishda:

$$A=\int_U \mu_A(u)/u, \quad B=\int_V \mu_B(v)/v; \quad (4.9.20)$$

va ALI1 ko'p qiymatli mantiqiy tizimga nisbatan quyidagi munosabat berilgan bo'lsa, u holda

$$R_1(A_1(x),A_2(y)) = A\times V \underset{ALI1}{\rightarrow} U\times B = \int\limits_{U\times V} \mu_A(u)/(u,v) \underset{ALI1}{\rightarrow} \int\limits_{U\times V} \mu_B(v)/(u,v) = $$
$$= \int\limits_{U\times V} \mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v)/(u,v). \qquad (4.9.21)$$

Bu yerda

$$\mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v) = \begin{cases} 1-\mu_A(u), & \mu_A(u) < \mu_B(v) \\ 1, & \mu_A(u) = \mu_B(v) \\ \mu_B(v), & \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}$$

U holda I-IV mezonlar qanoatlantiriladi.

Isbot: Avvalambor quyidagi yaqqol shartlar o'rinli ekanligini qayd etamiz:

$$\left.\begin{array}{l} \exists u \in U / \mu_A(u) = 0, \quad \exists u' \in U / \mu_A(u') = 1; \\ \exists v \in V / \mu_B(v) = 0, \quad \exists v' \in V / \mu_B(v') = 1. \end{array}\right\} \qquad (4.9.22)$$

$R(A_1(x)) = A^2 (\alpha > 0)$ bo'lsin, u holda (4.9.19) ning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) o R_1(A_1(x)), A_2(y)) =$$
$$= A^{\alpha} o (A\times V \underset{ALI1}{\rightarrow} U\times B) =$$
$$= \int\limits_{V} \mu_A^{\alpha}(u)/u o \int\limits_{U\times V} \mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v)/(u,v) = \qquad (4.9.23)$$
$$= \int\limits_{V} \underset{u\in U}{\vee} \mu_A^{\alpha}(u) \wedge (\mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v)/v.$$

Bu yerda U dan olgan har bir u uchun U dan quyidagi shartlarni qanoatlantiruvchi uchta U_1, U_2 va U_3 qism to'plamni ajratib olamiz:

$$U_i \cup U_j = U, \quad U_i \cap U_j = \varnothing, \quad (i \neq j), \quad i,j \in \{1,2,3\}; \qquad (4.9.24)$$
$$\forall u \in U_1, \quad \mu_A(u) < \mu_B(v); \qquad (4.9.25)$$
$$\forall u \in U_2, \quad \mu_A(u) = \mu_B(v); \qquad (4.9.26)$$
$$\forall u \in U_3, \quad \mu_A(u) > \mu_B(v). \qquad (4.9.27)$$

(4.9.24)-(4.9.27) larni hisobga olib, quyidagilarga ega bo'lamiz

$$R(A_2(y)) = \int\limits_{V} [\underset{u\in U_1}{\vee} \mu_A^{\alpha}(u) \wedge (1-\mu_A(u))] \vee [\underset{u\in U_2}{\vee} \mu_A^{\alpha}(u) \wedge 1] \vee$$
$$\vee [\underset{u\in U_3}{\vee} \mu_A^{\alpha}(u) \wedge \mu_B(u)]/(u,v). \qquad (4.9.28)$$

Lekin (4.9.22) shartlar hisobiga

$$(\underset{г\in Г1}{\vee} \mu_A^{\alpha}(u)) \wedge (1-\mu_A(u)) = (\underset{u\in U_1}{\vee} \mu_A^{\alpha}(u)) \wedge 1 = \mu_B^{\alpha}(v) \wedge 1 = \mu_B^{\alpha}(v)$$

ga ega bo'lamiz, u holda (20.38) ifodaning ko'rinishi

$$R(A_2(y)) = \int_V \mu_B^\alpha(v) \vee (1 \wedge \mu_B(v)) = \int_V \mu_B^\alpha(v) \vee \mu_B(v)/v =$$

$$= \begin{cases} \int_V \mu_B^\alpha(v)/v = B^\alpha, & \alpha \le 1; \\ \int_V \mu_B(v)/v = B, & \alpha > 1. \end{cases}$$

Bu I,II-2 va III mezonlarning qanoatlantirilishini isbotlaydi. Kelgusida $R(A_1(x)) = \neg A$ deb olamiz, u holda:

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) o R_1(A_1(x), A_2(y)) = (\neg A) o (A \times V) \underset{ALI1}{\rightarrow} U \times B =$$

$$= \int_U (1 - \mu_A(u))/u o \int_{U \times V} \mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v))]/(u,v) =$$

$$= \int_V [\vee_{u \in U} (1 - \mu_A(u)) \wedge (\mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v))]/v = \tag{4.9.29}$$

$$= \int_V [\vee_{u \in U_1} (1 - \mu_A(u)) \cap (1 - \mu_A(u))] \vee [\vee_{u \in U_2} (1 - \mu_A(u)) \wedge 1] \vee$$

$$\vee [\vee_{u \in U_3} (1 - \mu_A(u)) \wedge \mu_B(v))]/v = \int_V \vee_{u \in U} (1 - \mu_A(u))/v,$$

lekin (4.9.22) shartga ko'ra $\exists u \in U / \mu_A(u) = 0$, u holda $R(A_2(y)) = \int_V 1/v = V$ = noma'lum, ya'ni IV-1 mezonning qanoatlanitirilishi isbotlandi.

ALI2 shartli noravshan chiqarish qoidasi.

3-teorema. Agar U dagi A va V dagi B F-to'plamlar (4.9.20) dagidek bo'lsa, u holda $R_2(A_1(x), A_2(y))$ binar munosabat ALI2 mantiqiy ko'p qiymatli tizimga nisbatan quyidagicha aniqlanadi:

$$R_2(A_1(x), A_2(y)) = A \times V \underset{ALI2}{\rightarrow} U \times B = \int_{U \times V} \mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v)/(u,v),$$

bu yerda

$$\mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v) = \begin{cases} 1, & \mu_A(u) \le \mu_B(v); \\ (1 - \mu_A(u)) \wedge \mu_B(v), & \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases} \tag{4.9.30}$$

I-IV shartlar bajariladi.

Isbot: $R(A_1(x)) = A^\alpha$ bo'lsin. U holda

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x) o R(A_1(x), A_2(y)) =$$

$$= \int_V \mu_A^\alpha(u)/u o \int_{U \times V} (\mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v))/(u,v) = \tag{4.9.31}$$

$$\int_V \vee_{u \in U} \mu_A^\alpha(u) \wedge (\mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v))/v.$$

$\forall v \in V$ ga nisbatan U dan ikkita U_1 va U_2 qism to'plamlarni ajratamiz, ular quyidagi shartlarga javob beradi:

$$U_1 \cup U_2 = U; \quad U_1 \cap U_2 = \varnothing; \tag{4.9.32}$$

$$\forall u \in U_1 / \mu_A(u) < \mu_B(v); \tag{4.9.33}$$

$$\forall u \in U_2 / \mu_A(u) > \mu_B(v). \qquad (4.9.34)$$

(4.9.32)-(4.9.34) lardan foydalanib, (4.9.31) ifodani quyidagi ko'rinishga keltirib olamiz

$$\begin{aligned}(R(A_2(y)) &= \int_V [\vee_{u\in U_1} \mu_A^\alpha(u) \wedge 1] \vee [\vee_{u\in U_2} \mu_A^\alpha(u) \wedge ((1-\mu_A(u)) \wedge \mu_B(v))/v] = \\ &= \int_V [\vee_{u\in U_1} \mu_A^\alpha(u)] \vee [\vee_{u\in U_2} (\mu_A^\alpha(u) \wedge (1-\mu_\alpha(u))]/v,\end{aligned} \qquad (4.9.35)$$

lekin $\exists u \in U_2 / \mu_A(u) = 1$, bunda $\mu_A^\alpha(u) \wedge (1-\mu_A(u)) = 0$,

$$\begin{aligned}(R(A_2(y)) &= \int_V [\vee_{u\in U_1} \mu_A^\alpha(u) \wedge 1] \vee [\vee_{u\in U_2} \mu_A^\alpha(u) \wedge ((1-\mu_A(u)) \wedge \mu_B(v))/v] = \\ &= \int_V [\vee_{u\in U_1} \mu_A^\alpha(u)] \vee [\vee_{u\in U_2} (\mu_A^\alpha(u) \wedge (1-\mu_\alpha(u))]/v = \int_V \mu_B^\alpha(v)/v = B^\alpha.\end{aligned}$$

Shunday qilib ALI2 turdagi CRI usul uchun I,II-1 va III mezonlarning qanoatlanishi isbotlandi.

Kelgusida $R(A_1(x)) = \neg A$ bo'lsin, u holda

$$\begin{aligned}R(A_2(y)) &= R(A_1(x)) o R_2(A_1(x), A_2(y)) = \\ &= \int_V \vee_{u\in U} (1-\mu_A(u)) \wedge (\mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v))/v\end{aligned} \qquad (4.9.36)$$

va (4.9.32)-(4.9.34) ni hisobga olgan holda quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned}R(A_2(y)) &= \int_V [\vee_{u\in U_1} (1-\mu_A(u)) \wedge 1] \vee [\vee_{u\in U_2} (1-\mu_A(v)) \wedge \\ &\wedge ((1-\mu_A(u)) \wedge \mu_B(v))] = \int_V \vee_{u\in U} (1-\mu_A(u))/v.\end{aligned} \qquad (4.9.37)$$

Lekin, $\exists u \in v / \mu_A(u) = 0$, u holda $R(A_2(y)) = \int_V 1/v = V$ noma'lum, ya'ni IV-1 mezonning qanoatlanishi isbotlandi.

ALI3 noravshan shartli xulosa qoidasi.

4-teorema. Agar U dagi A va V dagi B to'plamlat (4.9.20) dagi kabi bo'lsa, u holda ALI3 mantiqiy tizimga nisbatan $R_3(A_1(x), A_2(y))$ binar munosabatning ko'rinishi

$$R_3(A_1(x), A_2(y)) = A \times V_3 \underset{ALI3}{\rightarrow} U \times B = \int_{U\times V} \mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v)/(u,v), \qquad (4.9.38)$$

kabi bo'ladi, bu yerda

$$\mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v) = \begin{cases} 1, & \mu_A(u) \le \mu_B(v), \\ \dfrac{\mu_B(v)}{\mu_A(u) + (1-\mu_B(v))}, & \mu_A(u) > \mu_B(v). \end{cases}$$

U holda I-IV mezonlar qanoatlantiriladi.

Isbot: $R(A_1(x)) = A^\alpha \quad (\alpha > 0)$ bo'lsin, u holda

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) o R_3(A_1(x), A_2(y)) =$$
$$= \int_U \mu_A^\alpha(u)/u o \int_{U\times V} (\mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v))/(u,v) = \tag{4.9.39}$$
$$= \int_V \bigvee_{u\in U} \mu_A^\alpha(u) \wedge (\mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v))/v.$$

$\forall v \in V$ uchun (4.9.32)-(4.9.34) shartlarni qanoatlantiruvchi U dan ikkita U_1 va U_2 qism to'plamni ajratib olamiz, u holda

$$R(A_2(y)) = \int_V \left[\bigvee_{u\in U_1} \mu_A^{\alpha(u)} \wedge 1\right] \vee \left[\bigvee_{u\in U_2} \mu_A^\alpha(u) \wedge \left(\frac{\mu_B(v)}{\mu_A(u) + (1-\mu_B(v))}\right)\right] v =$$
$$= \int_V \left[\bigvee_{u\in U_1} \mu_A^\alpha(u)\right] \vee \left[\bigvee_{u\in U} \left(\frac{\mu_B(v)}{\mu_A(u) + (1-\mu_B(v))}\right)\right] v \tag{4.9.40}$$

lekin $\exists v \in V | \ \mu_B(v) = 0$, ya'ni $\mu_B(v)/[(\mu_A(u) + (1-\mu_B(v)))]/v = 0$, bundan

$$R(A_2(y)) = \int_V [\bigvee_{u\in U} \mu_A^\alpha(u)]/v = \int_V \mu_B^\alpha(v)/v = B^\alpha .$$

Bu I,II-1 va III mezonlarning qanoatlanishini isbotlaydi.

$R(A_1(x)) = \neg A$ bo'lsin, u holda

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) = R_3(A_1(x), A_2(y)) = \int_U (1-\mu_A(u))/u o$$
$$o \int_{U\times V} (\mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v))/(u,v) = \int_V \bigvee_{u\in U} (1-\mu_A(u)) \wedge (\mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v))/v. \tag{4.9.41}$$

(4.9.32)-(4.9.34) ga ko'ra ikkita U_1 va U_2 qism to'plamlarni ajratib olamiz.

Quyidagilarni hisoblaymiz:

$$R(A_2(y)) = \int_V [\bigvee_{u\in U_1} (1-\mu_A(u)) \wedge 1] \vee [\bigvee_{u\in U_2} (1-\mu_A(u) \wedge$$
$$\wedge (\mu_B(v)/\mu_A(u)) + (1-\mu_B(v))]/v. \tag{4.9.42}$$

Lekin $\exists u \in U_2 | \mu_B(v) = 0$ bo'lgani uchun,

$$R(A_2(y)) = \int_V [\bigvee_{u\in U_1} (1-\mu_A(u))] \bigvee_{u\in U_2} (\mu_B(v)/\mu_A(u) +$$
$$+ (1+\mu_B(v))]/v = \int_V \bigvee_{u\in U_1} (1-\mu_A(u))/v. \tag{4.9.43}$$

Lekin $\exists u \in U_1 / \mu_A(u) = 0$, demak, $R(A_2(y)) = \int_V 1/v = V$ noma'lum, ya'ni IV-1 mezonning qanoatlanishi isbotlandi.

Xulosalarning taklif etilgan qoidalarga yaqqol namuna bo'lib mantiqiy ko'p qiymatli ALI1 tizimga qaratilgan quyidagi misol xizmat qilishi mumkin.

$$\mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v) = \begin{cases} 1-\mu_A(u), & \mu_A(u) < \mu_B(v) \\ 1, & \mu_A(u) = \mu_B(v) \\ \mu_B(v), & \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}$$

Misol. U=V=0+1+2+3+4+5+6+7+8+9+10,

A=kichik=1/0+0.8/1+0.6/2+0.4/3+0.2/4,

B o’rta=0.2/2+0.4/3+0.8/4+1/5+0.8/6+0.4/7+0.2/8 bo’lsin.

U holda F-shartli mulohaza

AGAR x kichik bo’lsa U HOLDA y o’rtadir quyidagi ko’rinishdagi binar munosabatga keltiriladi

$$R(A_1(x), A_2(y)) = [kichik] \times V \underset{ALI1}{\rightarrow} U \times [o'rta] =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0,2	0,4	0,8	1	0,4	0,2	0	0
1	0	0	0,2	0,4	1	0,2	1	0,4	0,2	0	0
2	0	0	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0	0
3	0	0	0,2	1	0,6	0,6	0,6	1	0,2	0	0
4	0	0	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

$R(A_1(x))$=kichik bo’lsin, u holda $R(A_2(y)) = [kichik] o R_1(A_1(x), A_2(y)) =$ =0.2/2+0.4/3+0.8/4+1/5+0.8/6+0.4/7+0.2/8=o’rta.

$R(A_1(x))$=juda kichik bo’lganida quyidagiga ega bo’lamiz

$R(A_2(y)) = [juda\, kichik] o R_1(A_1(x), A_2(y)) = [kichik]^2 o R_1(A_1(x), A_2(y)) =$ =0,04/2+0,16/3+0,64/4+0,16/7+0,04/8=$[o'rta]^2$=очень среднjuda o’rta.

Agar $R(A_2(y)) = [kichik\, emas] o R_1(A_1(x), A_2(y)) =$ 0+1+2+3+ +4+5+6+7+8+9+10=noma’lum=V.

Oddiy tilda olingan xulosani quyidagicha talqin etish mumkin:

AGAR x kichik bo’lsa U HOLDA y o’rta
x=kichik

---

y=o’rta
AGAR x kichik bo’lsa U HOLDA y o’rta
x= juda kichik

---

y=juda o’rta
AGAR x kichik bo’lsa U HOLDA y o’rta

x= kichik emas

---

y=noma'lum

Quyidagi noravshan implikasiyasiyalardan ko'pincha noravshan mantiqiy tizimlarda foydalaniladi.

Noravshan implikasiyalarning mini-amallar [Mamdani] qoidasi

$$R_c = A\times B = \int_{U\times V} \mu_A(u)\wedge\mu_B(v)/(u,v).$$

Ko'paytirish amallari qoidasi [Larsen]

$$R_p = A\times B = \int_{U\times V} \mu_A(u)\mu_B(v)/(u,v).$$

Noravshan implikasiyaning arifmetik qoidasi [Zade]

$$R_\alpha = (notA\times V)\oplus(U\times B) = \int_{U\times V} 1\wedge(1-\mu_A(u)+\mu_B(v))/(u,v).$$

Noravshan implikasiyaning maxmin qoidasi [Zade]

$$R_m = A\times B\bigcup(notA\times V) =$$

$$= \int_{U\times V} \mu_A(u)\wedge\mu_B(v))\vee(1-\mu_A(u))/(u,v).$$

Aliyev-Serkovning noravshan implikasiyasi

$$R_A^1 = A\times V \underset{ALI1}{\rightarrow} U\times B = \int_{U\times V} \mu_A(u)/(u,v) \underset{ALI1}{\rightarrow} \int_{U\times V} \mu_B(v)/(u,v) =$$

$$= \int_{U\times V} \mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v)/(u,v)$$

Bu yerda

$$\mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v) = \begin{cases} 1-\mu_A(u), & \mu_A(u)<\mu_B(v) \\ 1, & \mu_A(u)=\mu_B(v) \\ \mu_B(v), & \mu_A(u)>\mu_B(v) \end{cases}$$

$$R_A^2 = A\times V \underset{ALI2}{\rightarrow} U\times B = \int_{U\times V} \mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v)/(u,v),$$

bunda

$$\mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v) = \begin{cases} 1, & \mu_A(u)\le\mu_B(v); \\ (1-\mu_A(u))\wedge\mu_B(v), & \mu_A(u)>\mu_B(v) \end{cases}.$$

$$R_A^3 = A\times V_3 \underset{ALI3}{\rightarrow} U\times B = \int_{U\times V} \mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v)/(u,v),$$

bunda

$$\mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v) = \begin{cases} 1, & \mu_A(u)\le\mu_B(v), \\ \dfrac{\mu_B(v)}{\mu_A(u)+(1-\mu_B(v))}, & \mu_A(u)>\mu_B(v). \end{cases}$$

Noravshan chiqarishning standart ketma-ket qoidasi

$$R_S = A\times V \to U\times B = \int_{U\times V} (\mu_A(u) > \mu_B(v))/(u,v),$$

bu yerda

$$\mu_A(u) > \mu_B(v) = \begin{cases} 1, & \mu_A(u) \le \mu_B(v) \\ 0, & \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}$$

Bull noravshan implikasiya

$$R_b = (notA\times V)\bigcup(U\times B) = \int_{U\times V} (1-\mu_A(u)) \vee (\mu_B(v))/(u,v).$$

Gogen noravshan implikasiyasi

$$R_\Delta = A\times V \to U\times B = \int_{U\times V} (\mu_A(u) >> \mu_B(v))/(u,v),$$

bu yerda

$$\mu_A(u) >> \mu_B(v) = \begin{cases} 1, & \mu_A(u) \le \mu_B(v) \\ \dfrac{\mu_B(u)}{\mu_A(v)}, & \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}$$

R_A^1, R_A^2 va R_A^3 ning ayrim xossalari. Bu yerda R_A^1, R_A^2 va R_A^3 ning ayrim qiziqarli xossalarni ta'riflab o'tamiz. Shuni qayd etish joizki L.Zade tomonidan aniqlangan R_m va R_B munosabatlarda ular o'rinli bo'la olmaydi. Shuni qayd etish kerakki R_a ga nisbatan 2 munosabatgina, E.Mamdani tomonidan aniqlangan R_c F-munosabat uchun esa quyidagilargina o'rinlidir:

1-munosabat. F-shartli P_1 ifoda quyidagi ko'rinishda berilgan bo'lsin:

P_{11}=AGAR x A bo'lsa U HOLDA y B dir

P_{12}=AGAR y B bo'lsa U HOLDA z C dir (4.9.44)

P_{13}=AGAR x A bo'lsa U HOLDA z C dir.

Bu yerda A,B va C - quyidagi ko'rinishdagi F-to'plamlar ko'rinishida berilgan F-qoidalar

$$A = \int_U \mu_A(u)/u;\qquad B = \int_V \mu_B(v)/v;\qquad C = \int_W \mu_C(w)/w.$$

$R_A^2(A_1(x),A_2(y))$, $R_A^2(A_2(y),A_3(z))$, $R_A^2(A_1(x),A_3(z))$ lar (4.9.30) qoidaga ko'ra $P_{11}\,P_{12}$ va P_{13} ifodalarni almashtiuvchi F-ifodalar bo'ladi [(4.9.38) da aniqlangan R_A^3 ga tenglashtirish mumkin].

U holda quyidagi shartlarga amal qilingan holda:

$$\left.\begin{array}{l} \exists u \in U/\mu_A(u)=0,\quad \exists u' \in U/\mu_A(u')=1 \\ \exists v \in V/\mu_B(v)=0,\quad \exists v' \in V/\mu_B(v')=1 \\ \exists w \in W/\mu_C(w)=0,\quad \exists w' \in W/\mu_C(w')=1 \end{array}\right\} \qquad (4.9.45)$$

quyidagi tenglik:

$$R_2(A_1(x),A_3(z))=R_1(A_1(x),A_2(y))oR_2(A_2(y),A_3(z)) \qquad (4.9.46)$$

va F-shartli ifodalar bajariladi:

P_{11}=AGAR x A bo'lsa U HOLDA y B dir,

P_{12}=AGAR y B bo'lsa U HOLDA z C dir,

P_{13}=AGAR x A bo'lsa U HOLDA z C dir.

Isbot: (4.9.46) dan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} &R_A^2(A_1(x),A_2(y))oR_A^2(A_2(y),A_3(z))= \\ &=\int_{U\times V}\mu_A(u)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_B(v)/(u,v)o\int_{V\times W}\mu_B(v)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_C(w))]/(v,w)= \\ &=\int_{U\times W}\vee_{u\in V}[(\mu_A(u)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_B(v))\wedge(\mu_B(v)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_C(w))]/(u,w). \end{aligned} \qquad (4.9.47)$$

$S(v)=(\mu_A(u)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_B(v))\wedge(\mu_B(v)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_C(w))$ bo'lsin, u holda

$$S(v)=\begin{cases}1, \quad \mu_A(u)\le\mu_B(v)\le\mu_C(w); \\ (1-\mu_A(u))\wedge\mu_B(v)\wedge(1-\mu_B(v))\wedge\mu_C(w)), \\ \mu_A(u)>\mu_B(v)>\mu_C(w). \end{cases}$$

(4.9.45) dan $\mu_A(u)<\mu_C(w)$ tengsizlik kelib chiqadi, bu degani $\exists v\le V$ va $\mu_A(u)<\mu_B(v)<\mu_C(w)$ tengsizlik bajariladi.

Bundan

$$\vee_{u\in V}S(v)=\begin{cases}1, \quad \mu_A(u)<\mu_C(w) \\ (1-\mu_A(u))\wedge\mu_C(w), \quad \mu_A(u)>\mu_C(w)\end{cases}$$

$$\begin{aligned} &R_A^2(A_1(x),A_2(y))oR_A^2(A_2(y),A_3(z))=\int_{U\times V}\mu_A(u)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_B(v)/(u,v)o\int_{V\times W}\mu_B(v)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_C(w))]/(v,w)= \\ &=\int_{U\times W}\vee_{u\in V}[(\mu_A(u)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_B(v))\wedge(\mu_B(v)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_C(w))]/(u,w)=\int_{V\times W}\vee_{v\in V}S(v)/(u,v)= \\ &=\int_{V\times W}\mu_A(u)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_C(w)/(u,w)/(u,w)=R_2(A_1(x),A_3(z)) \end{aligned}$$

lar (4.9.46) tenglikning o'rinli ekanligini ko'rsatadi. Huddi shunday yo'l bilan ALI1 va ALI3 mantiqiy tizimlar uchun 1 munosabatning o'rinli ekanligi isbotlanadi.

2-munosabat. F-shartli ifodalar uchun:

P_{11}=AGAR x A bo'lsa U HOLDA y B dir

Va unga zid ifoda

P_{12}=AGAR y B bo'lmasa U HOLDA x A emas isbotlanadi.

$R_2(A_1(x),A_2(y))$ va $\tilde{R}_2(A_2(y),A_1(x))$ - mos ravishda P_{11} va P_{12} larni (4.9.30) dan foydalangan holda almashtiruvchi F-munosabatlar. U holda quyidagi tenglik bajariladi:

$$\tilde{R}_2(A_2(y),A_1(x))=R_2(A_1(x),A_2(y)), \qquad (4.9.48)$$

bu yerda $\tilde{R}_2(A_2(y),A_1(x))$ - $R_2(A_1(x),A_2(y))$ ga teskari ifoda.

(4.9.48) tenglik belgili ko'rinishda tasvirlanishi mumkin:
AGAR x A bo'lsa U HOLDA y B dir $\rightarrow$ $R_2(A_1(x), A_2(y))$

$\updownarrow$ zid ifoda $\updownarrow$ teskari munosabat

AGAR y B bo'lmasa U HOLDA x A emas $\rightarrow$ $\tilde{R}_2(A_2(y), A_1(x))$

Shuni qayd etish kerakki, ALI1-ALI3 mantiqlarida 2 Munosabat o'rinli bo'lmaydi.

Isbot:

$$R_2(A_1(x), A_2(y)) = A\times V \underset{ALI2}{\rightarrow} U\times B = \int_{U\times V} \mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v)/(u,v).$$

Ayni vaqtda

$$\tilde{R}_2(A_1(x), A_2(y)) = \int_{V\times U} \mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v)/(v,u) =$$

$$\int_{V\times U} (1-\mu_B(v)) \underset{ALI2}{\rightarrow} (1-\mu_A(u))/(v,u) = \neg B\times U \underset{ALI2}{\rightarrow} V\times\neg A = R_2(A_2(y), A_1(x)),$$

bu esa (4.9.48) tenglikning o'rinli ekanligini isbotlaydi.

Kelgusida P_2 ko'rinishdagi shartli mulohaza uchun F-shartli mantiqiy chiqarishning qoidasini shakllantirish bilan bog'liq ayrim masalalarni ko'rib chiqish maqsadga muvofiqdir.

P_2 **ko'rinishidagi shartli mulohaza uchun noravshan shartli chiqarish qoidalarini shakllantirish**. Yuqorida ko'rsatilganidek, shartli ifodaning keng tarqalgan shakllaridan biri quyidagichadir:

AGAR x A bo'lsa U HOLDA y B dir, AKS HOLDA y C dir.

Shartli mulohazaning bunday shakliga nisbatan quyidagi ko'rinishdagi chiqarishning mantiqiy qoidasi o'rinli bo'lishi mumkin

$$R(A_1(x), A_2(y)) = [(A\times V)\rightarrow(U\times B)]\cap[(\neg A\times V)\rightarrow(U\times C)].$$

$R(A_1(x)) = A$ bo'lsin, u holda

$$R(A_2(y)) = AoR(A_1(x), A_2(y)) = \int_U \mu_A(u)/uo\int_{U\times V} \mu_A(u)\rightarrow$$
$$\rightarrow \mu_B(v)\wedge(1-\mu_A(u))\rightarrow\mu_C(v)/(u,v) = \int_V \bigvee_{u\in U}\mu_A(u)\wedge \qquad (4.9.49)$$
$$\wedge[(\mu_A(u)\rightarrow\mu_B(v))\wedge((1-\mu_A(u))\rightarrow\mu_C(v))]/v.$$

I mezonni qanoatlantirish uchun $R(A_2(y)) = B$ bo'lishi zarur, yoki quyidagi tenglik o'rinli bo'lishi kerak:

$$\bigvee_{u\in U}\{\mu_A(u)\wedge[(\mu_A(u)\rightarrow\mu_B(v))\wedge((1-\mu_A(u))\rightarrow\mu_C(v))] = \mu_B(v)\}. \qquad (4.9.50)$$

Boshqa so'z bilan aytganda, $\forall v\in V$ ga nisbatan quyidagi tengsizlik bajarilishi kerak

$$\mu_A(u)\wedge[(\mu_A(u)\rightarrow\mu_B(v))\wedge((1-\mu_A(u))\rightarrow\mu_C(v))]\le\mu_B(v). \qquad (4.9.51)$$

Ko’rinib turibdiki

$AGAR \quad A \subset U \quad U\, HOLDA \quad B \subset V \quad va \quad C \subset V$.

Umumiy holatda no’malum yoki $\neg B$ ga teng bo’lishi, ya’ni IV mezonni qanoatlantirishi kerak bo’lgan mantiqiy C yo’llanma alohida ahamiyat kasb etadi. C=¬B= B emas bo’lgan holatni, ya’ni F-shartli mantiqiy xulosaning quyidagi shaklini ko’rib chiqamiz:

1-yo’llanma: Agar x A bo’lsa, u holda y B bo’ladi AKS HOLDA y B emas,

2-yo’llanma: x A’ dir,

Natija: y B' dir

F-shartli mantiqiy xulosaning ushbu shaklidan kelib chiqib, P_2 turdagi mulohazalarga nisbatan ayrim chiqarish qoidalarini shakllantirish yo’llarini ko’rsatib o’tamiz.

ALI4 noravshan shartli chiqarish qoidasi.

5-teorema. Agar U dagi A va V dagi B F-to’plam (4.9.20) dagi kabi aniqlanib, S-mantiqli ko’p qiymatli tizimga nisbatan $R_1(A_1(x), A_2(y))$ binar munosabatning ko’rinishi

$$R_{S_1}(A_1(x), A_2(y)) = (A \times V \underset{S}{\rightarrow} U \times B) \bigcap (\neg A \times V \underset{S}{\rightarrow} U \times \neg B) =$$
$$= \int_{U \times V} [\mu_A(u) \underset{S}{\rightarrow} \mu_B(v)] \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{S}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/(u,v), \tag{4.9.52}$$

bu yerda

$$[\mu_A(u) \underset{S}{\rightarrow} \mu_B(v)] \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{S}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))] = \begin{cases} 1, & \mu_A(u) = \mu_B(v); \\ 0, & \mu_A(u) \neq \mu_B(v), \end{cases}$$

kabi bo’lsa, u holda I-IV mezonlar qanoatlantiriladi.

Isbot: $R(A_1(x)) = A^\alpha \quad (\alpha > 0)$ bo’lsin, u holda

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) o R_{S_1}(A_1(x), A_2(y)) = A^\alpha o (A \times V \underset{S}{\rightarrow} U \times B) \bigcap (\neg A \times V \underset{S}{\rightarrow} U \times \neg B) =$$
$$= \int_U \mu_A^\alpha(u)/u o \int_{U \times V} (\mu_A(u) \underset{S}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{S}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/(u,v) = \tag{4.9.53}$$
$$= \int_V \underset{u \in U}{\vee} \mu_A^\alpha(u) \wedge [(\mu_A(u) \underset{S}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge (1-\mu_A(u)) \underset{S}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/v.$$

Ikkita U_1 va U_2 to’plamni ko’rib chiqamiz, bunda $U_1 < U$, $U_2 \leq U$, shuningdek $U_1 \bigcup U_2 = U$, $U_1 \bigcap U_2 \neq \varnothing$. U holda $\forall u \in U_1 \quad \mu_A(u) = \mu_B(v) da; \quad \forall u \in U_2$ $\mu_A(u) \neq \mu_B(v)$ da. Quyidagilarga ega bo’lamiz:

$$\underset{u \in U}{\vee} \mu_A^\alpha(u) \wedge [\mu_A(u) \underset{S}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge (1-\mu_A(u)) \underset{S}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))] =$$
$$= \underset{u \in U_1}{\vee} (\mu_A^\alpha(u) \wedge 1) = \underset{u \in U_1}{\vee} \mu_A^\alpha(u);$$

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) o R_{S_1}(A_1(x), A_2(y)) = A^\alpha o (A\times V \underset{S}{\rightarrow} U\times B)\bigcap(\neg A\times V \underset{S}{\rightarrow} U\times \neg B) =$$
$$= \int_U \mu_A^\alpha(u)/u o \int_{U\times V} (\mu_A(u) \underset{S}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{S}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/(u,v) =$$
$$= \int_V \bigvee_{u\in U} \mu_A^\alpha(u) \wedge [(\mu_A(u) \underset{S}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge (1-\mu_A(u)) \underset{S}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/v =$$
$$= \int_V \bigvee_{u\in U} \mu_A^\alpha(u)/v = \int_V \mu_B^\alpha(v)/v = B^\alpha$$

ya’ni I,II-1 va III mezonlar qanoatlantiriladi.

$R(A_1(x)) = \neg A$ bo’lsin, u holda

$$R(A_2(y)) = \int_V \bigvee_{u\in U} (1-\mu_A(u)) \wedge [(\mu_A(u) \underset{S}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge (1-\mu_A(u)) \underset{S}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))] =$$
$$= \int_V \bigvee_{u\in U_1} [1-\mu_A(u)] \wedge 1/v = \int_V \bigvee_{u\in U_1} [1-\mu_A(u)]/v = \int_V (1-\mu_B(v))/v = \neg B.$$

Shunday qilib, IV-2 mezonlar ham qanoatlantiriladi.

ALI5 noravshan shartli xulosa qoidasi.

6-teorema. Agar U dagi A va V dagi B f-to’plamlar (4.9.20) dagi kabi aniqlanib, ALI1 ko’p qiymatli mantiqiy tizimda $R_{11}(A_1(x), A_2(y))$ binar munosabatning ko’rinishi

$$R_{11}(A_1(x), A_2(y)) = (A\times V \underset{ALI1}{\rightarrow} U\times B)\bigcap(\neg A\times V \underset{ALI1}{\rightarrow} U\times\neg B) =$$
$$= \int_{U\times V} (\mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI1}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/(u,v), \qquad (4.9.54)$$

bu yerda

$$(\mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI1}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))] =$$
$$= \begin{cases} 1-\mu_B(v), & \mu_A(u) < \mu_B(v); \\ 1, & \mu_A(u) = \mu_B(v); \\ \mu_B(v), & \mu_A(u) > \mu_B(v), \end{cases}$$

kabi bo’lsa, I-IV mezonlar qanoatlantiriladi.

Isbot. $R(A_1(x)) = A^\alpha \ (\alpha > 0)$ bo’lsin, u holda

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) o R_{11}(A_1(x), A_2(y)) =$$
$$= \int_U (\mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI1}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/(u,v) = \qquad (4.9.55)$$
$$= \int_V \bigvee_{u\in U} [\mu_A^\alpha(u) \wedge (\mu_A(u) \underset{ALI1}{\rightarrow} \mu_B(v))] \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI1}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/v.$$

$\forall v \in V$ ga nisbatan shunday U_1, U_2 va U_3 lar topiladiki, bunda

$U_1 \bigcup U_2 \bigcup U_3 = U, \quad U_i \bigcap U_j \neq \varnothing,$

$i, j \in \{1,2,3), \quad i \neq j,$

$$\left.\begin{array}{ll} \forall u \in U_1, & \mu_A(u) < \mu_B(v) \\ \forall u \in U_2, & \mu_A(u) = \mu_B(v) \\ \forall u \in U_3, & \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{array}\right\} \qquad (4.9.56)$$

U holda

$$R(A_2(y))=\int_V \{\bigvee_{u\in U_1}\mu_A^\alpha(u)\wedge[(1-\mu_A(u))\wedge(\mu_B(v))]\}\vee\{\bigvee_{u\in U_2}\mu_A^\alpha(u)\wedge 1\}\vee$$
$$\vee\{\bigvee_{u\in U_3}\mu_A^\alpha(u)\wedge[\mu_A(u)\wedge[\mu_A(u)\wedge\mu_B(v)]\}/v, \tag{4.9.57}$$

lekin $\exists u\in U_1/\mu_A(u)=0$ и $\exists u'\in U_3/\mu_A(u')=1$ bo'lgani uchun,

$$R(A_2(y))=\int_V \{[\bigvee_{u\in U_1}\mu_A^\alpha(u)]\wedge(1-\mu_B(v))\}\vee\{\bigvee_{u\in U_2}\mu_A^\alpha(u)\}\vee\{\bigvee_{u\in U_3}\mu_B(v)\}/v=$$
$$=\int_V \bigvee_{u\in U_2}\mu_A^\alpha(u)\vee\mu_B(v)/v=\int_V \mu_B^\alpha(v)\vee\mu_B(v)/v=\begin{cases}B^\alpha, & \alpha\le 1;\\ B, & \alpha>1.\end{cases}$$

Bu esa $\alpha=0{,}1$, $\alpha=0{,}2$ va $\alpha=0{,}5$ da I,II-2 va III mezonlarning qanoatlantirilishini isbotlaydi.

$R(A_1(x))=\neg A$ bo'lsin, u holda

$$R(A_2(y))=\int_U (1-\mu_A(u))/u\circ\int_{U\times V}\mu_A(u)\underset{ALI1}{\rightarrow}\mu_B(v))\wedge$$
$$\wedge[(1-\mu_A(u))\underset{ALI1}{\rightarrow}(1-\mu_B(v))]/(u,v)=$$
$$=\int_V [\bigvee_{u\in U}[(1-\mu_A(u)]\wedge[\mu_A(u)\underset{ALI1}{\rightarrow}\mu_B(v)]\wedge[(1-\mu_A(u))\underset{ALI1}{\rightarrow}(1-\mu_B(v))]/v.$$

(4.9.58)

(4.9.56) shartlarni hisobga olib, (4.9.58) ni quyidagi ko'rinishga keltirib olamiz:

$$R(A_2(y))=\int_V [\bigvee_{u\in U_1}(1-\mu_A(u))\wedge(1-\mu_A(u))\wedge(1-\mu_B(v))]\vee$$
$$\vee[\bigvee_{u\in U_2}(1-\mu_A(u))\wedge 1]\vee[\bigvee_{u\in U_3}(1-\mu_A(u))\wedge\mu_A(u)\wedge\mu_B(v)]/v, \tag{4.9.59}$$

Lekin $\exists u\in U_1/\mu_A(u)=0$ va $\exists u^1\in U_3/\mu_A(u^1)=1$ bo'lgani uchun

$$R(A_2(y))=\int_V \bigvee_{u\in U_1}(1-\mu_B(v))/v=\int_V (1-\mu_B(v))/v=\neg B.$$

Shunday qilib, IV-2 mezonlarning qanoatlantirilishi isbotlandi.
ALI6 noravshan shartli chiqarish qoidasi.

7-teorema. Agar U dagi A va V dagi B F-to'plamlar (4.9.20) dagidek aniqlanib, ALI2 mantiqiy ko'p qiymatli tizimda $R_{22}(A_1(x),A_2(y))$ binar munosabatning ko'rinishi

$$R_{22}(A_1(x),A_2(y))=(A\times V\underset{ALI2}{\rightarrow}U\times B)\wedge(\neg A\times V\underset{ALI2}{\rightarrow}U\times\neg B)=$$
$$=\int_{U\times V}(\mu_A(u)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_B(v))\wedge[(1-\mu_A(u))\underset{ALI2}{\rightarrow}(1-\mu_B(v))]\underset{ALI2}{\rightarrow}(1-\mu_B(v))/(u,v), \tag{4.9.60}$$

bu yerda

$$(\mu_A(u)\underset{ALI2}{\rightarrow}\mu_B(v))\wedge[(1-\mu_A(u))\underset{ALI2}{\rightarrow}(1-\mu_B(v))]=$$
$$=\begin{cases}\mu_A(u)\wedge(1-\mu_B(v)), & \mu_A(u)<\mu_B(v);\\ 1, & \mu_A(u)=\mu_B(v);\\ (1-\mu_A(u))\wedge\mu_B(v), & \mu_A(u)>\mu_B(v),\end{cases} \tag{4.9.61}$$

kabi bo'lsa, I-IV mezonlar qanoatlantiriladi.

Isbot: $R(A_1(x)) = A^\alpha \quad (\alpha > 0)$ bo'lsin, u holda

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) o R_{22}(A_1(x), A_2(y)) =$$

$$= \int_U (\mu_A^\alpha(u))/u0 \int_{U\times V} (\mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI2}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/(u,v) = \quad (4.9.62)$$

$$= \int_V \underset{u\in U}{\vee} \mu_A^\alpha(u) \wedge [\mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v)] \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI2}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/v.$$

(4.9.56) shartga asosan

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) o R_{22}(A_1(x), A_2(y)) =$$

$$= \int_V \{\underset{u\in U_1}{\vee} \mu_A^\alpha(u) \wedge \mu_A(u) \wedge (1-\mu_B(v))\} \vee \{\underset{u\in U_2}{\vee} \mu_A^\alpha(u) \wedge 1\} \vee \quad (4.9.63)$$

$$\vee \{\underset{u\in U_3}{\vee} \mu_A^\alpha(u) \wedge (1-\mu_A(u)) \wedge \mu_B(v)\}/v,$$

ga ega bo'lamiz, lekin $\exists u \in U_1 / \mu_A(u) = 0$ va $\exists u' \in U_3 / \mu_A(u') = 1$, bundan

$$R(A_2(y)) = \int_V \underset{u\in U_2}{\vee} \mu_A^\alpha(u) \wedge 1/v = \int_V \underset{u\in U_2}{\vee} \mu_B^\alpha(v)/v = B^\alpha,$$

bu esa I,II va III mezonni qanoatlantiradi.

$R(A_1(x)) = \neg A$ bo'lsin, u holda

$$R(A_2(y)) = \int_U (1-\mu_A(u))/uo \int_{U\times V} \mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge$$

$$\wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI2}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/(u,v) = \quad (4.9.64)$$

$$= \int_V [\underset{u\in U}{\vee} [(1-\mu_A(u)] \wedge [\mu_A(u) \underset{ALI2}{\rightarrow} \mu_B(v)] \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI2}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/v.$$

(4.9.56) ni hisobga olgan holda, quyidagilarga ega bo'lamiz

$$R(A_2(y)) = \int_V [\underset{u\in U_1}{\vee} (1-\mu_A(u)) \wedge \mu_A(u) \wedge (1-\mu_B(v))] \vee$$

$$\vee [\underset{u\in U_2}{\vee} (1-\mu_A(u)) \wedge 1] \vee [\underset{u\in U_3}{\vee} (1-\mu_A(u)) \wedge (1-\mu_A(u)) \wedge \mu_B(v)]/v, \quad (4.9.65)$$

lekin $\exists u \in U_1 / \mu_A(u) = 0$ va $\exists u^1 \in U_3 / \mu_A(u^1) = 1$, bundan,

$$R(A_2(y)) = \int_V \underset{u\in U_2}{\vee} (1-\mu_A(u)) \wedge 1/v = \int_V \underset{u\in U_2}{\vee} (1-\mu_A(u))/v = \int_V (1-\mu_B(v))/v = \neg B.$$

Shunday qilib, IV-2 mezonlarning qanoatlantirilishi isbotlandi.

8-teorema. Agar U dagi A va V dagi B F-to'plamlar (4.9.20) dagi kabi aniqlanib, ALI3 dagi mantiqiy ko'p qiymatli tizimdagi $R_{33}(A_1(x), A_2(y))$ binar munosabatning ko'rinishi

$$R_{33}(A_1(x), A_2(y)) = (A\times V \underset{ALI3}{\rightarrow} U\times B) \wedge (\neg A\times V \underset{ALI3}{\rightarrow} U\times \neg B) =$$

$$= \int_{U\times V} (\mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI3}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/(u,v), \quad (4.9.66)$$

Bu yerda

$$(\mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI3}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))] =$$

$$= \begin{cases} \dfrac{(1-\mu_B(v))}{(1-\mu_A(u))+\mu_B(v)}, & \mu_A(u) < \mu_B(v); \\ 1, & \mu_A(u) = \mu_B(v); \\ \dfrac{\mu_B(v)}{\mu_A(u)+(1-\mu_B(v))}, & \mu_A(u) > \mu_B(v), \end{cases} \tag{4.9.67}$$

kabi bo'lsa, I-IV mezonlar qanoatlantiriladi.

Isbot: $R(A_1(x)) = A^{\alpha} \quad (\alpha > 0)$ bo'lsin, u holda

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) o R_{33}(A_1(x), A_2(y)) =$$

$$= \int_U (\mu_A^{\alpha}(u))/u 0 \int_{U\times V} (\mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI3}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/(u,v) = \tag{4.9.68}$$

$$= \int_V \vee_{u\in U} [\mu_A^{\alpha}(u) \wedge \mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v)] \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI3}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/v.$$

(4.9.56) ni hisobga olgan holda oxirgi ifodani quyidagi ko'rinishda yozib olamiz

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) o R_{33}(A_1(x), A_2(y)) =$$

$$= \int_V \{\vee_{u\in U_1} \mu_A^{\alpha}(u) \wedge \frac{(1-\mu_B(v))}{(1-\mu_A(u))+\mu_B(v)}\} \vee \{\vee_{u\in U_2} \mu_A^{\alpha}(u) \wedge 1\} \vee \tag{4.9.69}$$

$$\vee \{\vee_{u\in U_3} \mu_A^{\alpha}(u) \wedge \frac{\mu_B(v)}{\mu_A(u)+(1-\mu_B(v))}\}/v,$$

lekin $\exists u \in U_1 / \mu_A(u) = 0$ va $\exists u' \in U_3 / \mu_B(v) = 1$, bundan

$$R(A_2(y)) = \int_V \vee_{u\in U_2} \mu_A^{\alpha}(u) \wedge 1/v = \int_V \vee_{u\in U_2} \mu_B^{\alpha}(v)/v = B^{\alpha},$$

bu I,II va III mezonlarning qanoatlantirilishini isbotlaydi.

$R(A_1(x)) = \neg A$ bo'slin, u holda

$$R(A_2(y)) = \int_U (1-\mu_A(u))/u o \int_{U\times V} \mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v)) \wedge$$

$$\wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI3}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/(u,v) =$$

$$= \int_V [\vee_{u\in U} [(1-\mu_A(u)] \wedge [\mu_A(u) \underset{ALI3}{\rightarrow} \mu_B(v)] \wedge [(1-\mu_A(u)) \underset{ALI3}{\rightarrow} (1-\mu_B(v))]/v = \tag{4.9.70}$$

$$\int_V \{\vee_{u\in U_1} (1-\mu_A^{\alpha}(u)) \wedge \frac{(1-\mu_B(v))}{(1-\mu_A(u))+\mu_B(v)}\} \vee \{\vee_{u\in U_2} (1-\mu_A^{\alpha}(u)) \wedge 1\} \vee$$

$$\vee \{\vee_{u\in U_3} (1-\mu_A^{\alpha}(u)) \wedge \frac{\mu_B(v)}{\mu_A(u)+(1-\mu_B(v))}\}/v,$$

lekin $\exists u \in U_1 / \mu_B(v) = 1$ va $\exists u^1 \in U_3 / \mu_B(v) = 0$, bundan

$$R(A_2(y)) = \int_V \vee_{u\in U_2} (1-\mu_A(u)) \wedge 1/v = \int_V \vee_{u\in U_2} (1-\mu_A(u))/v = \int_V (1-\mu_B(v))/v = \neg B.$$

Shunday qilib, IV-2 mezonlarning qanoatlantirilishi isbotlandi.

Shuni qayd etish joizki, P_2 ko'rinishdagi mulohazaga nisbatan F-shartli mantiqiy xulosa qoidalarini shakllantirishda mantiqiy tizimlarni kombinatsiyalash varianti mavjuddir, ya'ni bunday qoidalarga nisbatan binar munosabatalarning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$R_{SALI1}, R_{SALI2}, R_{SALI3}, R_{ALI1S}, R_{ALI2S}, R_{ALI3S}, R_{ALI1ALI2}, R_{ALI1ALI3}.$$

Endilikda ikkita mantiqiy B va C yo'llanma o'rtasidagi aloqani yoki munosabatni aniqlashtirib olish maqsadga muvofiqdir.

1-lemma. Quyidagi mulohaza o'rinli bo'lsa:

AGAR x A bo'lsa U HOLDA y B AKS holda y C dir, u holda B va C natijalarga nisbatan quyidagi munosabat o'rinlidir: $C \subseteq B$.

Isbot: Yuqorida taklif etilgan binar munosabatlardan biri o'rinli bo'lsin. Kuchli F-to'plamlar (power sets theory) nazariyasidan ma'lumki $C \subseteq B$ $C \to B$ sifatida talqin etiladi, lekin ko'rilayotgan noravshan mantiqlarga nisbatan chiqarish qoidalari kompotrazitivlik xossalariga ega bo'lgani uchun, ya'ni 1 (4.9.44) munosabat bajarilganligi uchun ikkita $\neg A \to C$ va $C \to B$ yo'llanmadan

AGAR x $\neg A$ bo'lsa U HOLDA y C dir

AGAR y C bo'lsa U HOLDA z B dir

AGAR x есг $\neg A$ bo'lsa U HOLDA z B dir

Ekanligi kelib chiqadi.

Binar munosabatlar tilida bu munosabatning ko'rinishi $R(A_1(x), A_2(y)) = (A \to B) \cap (\neg A \to C) = (A \to B) \cap (\neg A \to B)$.

U holda

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) o R(A_1(x), A_2(y)) = A^{\alpha} o[(A \cup \neg A) \to B] =$$
$$= \int_U \mu_A^{\alpha}(u)/u o \int_{U \times V} [\mu_A(u) \vee (1 - \mu_A(u))] \to \mu_B(v)/(u,v),$$

bu yerda

$$[\mu_A(u) \vee (1 - \mu_A(u)) = k\mu_A(u)] \to \mu_B(v) = \begin{cases} 1, & k\mu_A(u) \le \mu_B(v); \\ 0, & k\mu_A(u) > \mu_B(v); \end{cases}$$

$$k\mu_A(u) = \max[\mu_A(u), 1 - \mu_A(u)].$$

Shunday qilib, F-shartli mantiqiy xulosa qoidasining ko'rinishi

$$R(A_2(y)) = \int_U \mu_A(u) o \int_{U \times V} (k\mu_A(u) \to \mu_B(v))/(u,v)$$

kabidir, ya'ni u standart ko'rinishga keltirilib, I-IV mezonlar qanoatlanadi.

Natija. $B \subseteq C$, ya'ni $B \to C$ ifoda quyidagi ko'rinishdagi munosabatga keltiriladi:

$$R(A_1(x), A_2(y)) = (A \to B) \cap (\neg A \to C) = (A \to C) \cap (\neg A \to C).$$

Boshqa so'z bilan aytganda quyidagi shartli mulohaza o'rinlidir:

AGAR x A bo'lsa U HOLDA y C dir AKS HOLDA y C dir

Ya'ni VA mantiqiy natija tushib qolib, xulosa qoidasining mazmuni yo'qoladi.

P_3 **turdagi noravshan shartli ifoda qoidalarini shakllantirish**. Shartli mulohazaning keng tarqalgan shaklini ko'rib chiqamiz.

AGAR x_1 A_1 va x_2 $A_2, \ldots,$ x_n A_n bo'lsa Y HOLDA y B dir, berilgan holatda quyidagi ko'rinishdagi binar munosabat

$$R(A_1(x), A_2(y))$$

$\left[\bigcap_i A_i\right] \times V \to U \times B$ shaklda ifodalanadi.

$R(A_1(x)) = \bigcap_i A_i = A^*$ deb olamiz, u holda

$$R(A_2(y)) = A^{*\alpha} o R(A_1(x), A_2(y)) =$$
$$= \int_U \mu_{A^*}^{\alpha}(u)/u o \int_{U \times V} \mu_{A^*}(u) \to \mu_B(v)/(u,v) =$$
$$= \int_V \vee_{u \in U} [\mu_{A^*}^{\alpha}(u) \wedge (\mu_{A^*}(u) \to \mu_B(v))]/v.$$

1 mezonni qanoatlantirilishi uchun quyidagi tenglikning bajarilishi zarur:

$$\vee_{u \in U} [\mu_{A^*}^{\alpha}(u) \wedge (\mu_{A^*}(u) \to \mu_B(v)) = \mu_B(v), \tag{4.9.71}$$

U ixtiyoriy $u \in V$ da qanoatlantirilishi shart. O'z navbatida bunday tenglik quyidagi tengsizlikning qanoatlanishiga olib keladi:

$$\mu_{A^*}^{\alpha}(u) \wedge (\mu_{A^*}(u) \to \mu_B(v)) \le \mu_B(v), \tag{4.9.72}$$

$$[\overset{n}{\underset{i}{\wedge}} \mu_{A_i}^{\alpha}(u)] \wedge [\overset{n}{\underset{i}{\wedge}} \mu_{A_i}(u)] \to \mu_B(v)) \le \mu_B(v). \tag{4.9.73}$$

Shartli mulohazaning bunday shakliga nisbatan F-shartli mantiqiy xulosaning quyidagi ko'rinishi o'rinli bo'ladi:

1-yollanma:

AGAR x_1 A_1 va x_2 $A_2, \ldots,$ x_n A_n bo'lsa U HOLDA y B dir

2-yollanma:

AGAR x_1 $A_1^{'}$ va x_2 $A_2^{'}, \ldots,$ x_n $A_n^{'}$ bo'lsa u holda

---

Natija: y B' dir

P_3 ko'rinishdagi shartli mulohazalar uchun F-shartli mantiqiy xulosa qoidalarining hossalarini o'rganish. P_3 turdagi shartli mulohazalarning turdagi mantiqiy yuborishi bunday mulohaza uchun F-shartli mantiqiy hulosa o'rinli bo'lgan shartlar nuqtai nazaridan qiziqdir. Bu borada quyidagilarni keltiramiz.

9-teorema. Agar - mantiqiy qism yo'llanmaning mazmuni va quyidagi mantiqiy mulohaza:

АГАР $x_1\ \ A_1$ va $x_2\ \ A_2, \ldots,\ x_n\ \ A_n$ bo'lsa U HOLDA y B dir.

Va bunda , $\bigcap\limits_i A_i = \varnothing\ (bo'sh).\quad \forall i = \overline{1,n}$ o'rinli bo'lsa, u holda B' mantiqiy natija noma'lumdir.

Isbot: $D = \bigcap\limits_i A_i = \varnothing$ shartdan $\mu_D(u) = \mathop{\wedge}\limits_i \mu_{A_i}(u) = 0$ ekanligi kelib chiqadi. Endilikda $R(A_1(x), A_2(y))$ binar munosabatning matrisasini ko'rib chiqamiz, bunda ta'rifga ko'ra

$$A_1(x) = \int\limits_U \mu_D(u)/u = D; \qquad A_2(y) = \int\limits_V \mu_B(v)/v = B.$$

$R(A_1(x), A_2(y))$ matrisa $\|m \times k\|$ o'lchovga ega, bu yerda m – U universumning quvvati, k – V universumning quvvati, lekin $\mu_D(u) = 0$ bo'lgani uchun $\forall u = \overline{1,m}$ da $\mu_D(u) \le \mu_B(v)$ tengsizlik o'rinli bo'ladi, bunda ply-operatorning qiymati $\mu_D(u) \to \mu_B(v)$ ixtiyoriy mantiqiy tizimda $\forall u = \overline{1,m}$ va $\forall v = \overline{1,k}$ ga nisbatan o'zgarmas va birga teng, ya'ni $(\mu_D(u) \to \mu_B(v)) = const = 1$. Boshqa so'z bilan aytganda $R(A_1(x), A_2(y))$ binar munosabat matrisasining barcha elementlari o'zaro teng va birlikdir. U holda ikkinchi mantiqiy qism yo'llanma noldan farqli bo'lsa, ya'ni $D^{'} = \bigcap\limits_i A_i^{'} \neq \varnothing$ yoki $\mu_D(u) \mathop{\wedge}\limits_i \mu_A(u) \neq 0$, u holda $\forall u \subseteq U$ da quyidagilar o'rinli

$$\mu_D(u) \wedge (\mu_D(u) \to \mu_B(v)) = \mu_D(u), \text{ u holda}$$

$$\mu_B(v) = \max_U [\mu_D(u) \wedge (\mu_D(u) \to \mu_B(v))] = \max_U \mu_D(u)$$
$$= \mu^*_{\max} = \mathop{const}\limits_V (\forall v = \overline{1,k}).$$

Boshqa so'z bilan aytganda B' mantiqiy natija noma'lum.

Natija. P_3

$x_1\ \ A_1$ va $x_2\ \ A_2, \ldots,\ x_n\ \ A_n$ bo'lsa U HOLDA y B dir

mantiqiy mulohaza uchun B' mantiqiy natija o'rinli bo'lishi uchun $A_i / A_i \subseteq U$ qism to'plamlarning o'zaro bog'liqli, ya'ni $\bigcap\limits_i A_i \neq \varnothing$ bo'lishi talab etiladi.

P_3 turdagi shartli mulohazaga nisbatan F-shartli xulosa qoidalarini qo'llash amaliyotining ko'rsatishicha,

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x))oR(A_1(x), A_2(y)) = R(A_1(x))o$$

$$o\left\{\left[(\bigcap_i A_i) \times V \to U \times B\right] \cap \left[\neg(\bigcap_i A_i) \times V \to U \times \neg B\right]\right\}. \quad (4.9.74)$$

ko'rinishdagi kombinatsiyalangan qoidani qo'llash katta samara beradi.

Lekin bunda binar munosabat matrisalarini qurishning ayrim xususiyatlarini hisobga olish zarur, chunki mantiqiy qism yo'llanmalarning tegishlilik funksiyasi (TF) uzluksiz bo'lsa ham, ayrim sharoitlarda B' mantiqiy natijaning TF uzluksizligi buzilishi mumkin. Bu borada quyidagilarni keltirib o'tamiz.

6-faraz. AGAR x_1 A_1 va x_2 A_2,..., x_n va A_n U HOLDA y B dir AKS HOLDA B emas ko'rinishdagi mantiqiy mulohazada $A_i \subseteq U$ to'plamlar o'zaro teng bo'lmasa, ya'ni agar $A_i \neq A_j$ $(i \neq j)$ bo'lsa, mantiqiy natijaning (noravshan B to'plamning) tegishlilik funksiyasii uzilish nuqtasiga ega.

Isbot: $\mu_{A_i}(u) = \wedge_i \mu_{A_j}(u) \neg \forall A_i$ uchun $\mu_{A_i}(u) = \mu_{A_j}(u)$ $(i \neq j)$ o'rinli bo'lgani uchun, $\neg \exists u' \in U| \ \mu_{A_i}(u') = 1$, binary munosabat holida ham

$$R(A_1(x), A_2(y)) = \left\{\left[(\bigcap_i A_i) \times V \to U \times B\right] \cap \left[\neg(\bigcap_i A_i) \times V \to U \times B\right]\right\},$$

$$\exists v' \in V| \ \mu_{A_i}(v') = 1$$

(normallik ta'rifiga ko'ra) bo'lgani uchun

$\wedge_i \mu_A(u) < \mu_B(v) \leftrightarrow \forall u \in U, \exists v^* \in V| \ \mu_B(u, v^*) = 0$ - matrisaning vektor ustuni $R(A_1(x), A_2(y))$, bundan TF orqali ifodalangan $R(A_2(y)) = B' = R(A_1(x))oR(A_1(x), A_2(y))$ da $\mu_B(v), \exists v \in V | \mu_B(v') = 0$, ya'ni uzulush nuqtasi o'rinli, chunki $\forall v \in V$ da

$$d(v, v') = (v - v') \leq \eta \to d_1(\mu_B(v), \mu_B(v')) = |\mu_B(v) - \mu_B(v^1)| > \varepsilon .$$

1-eslatma. Binar munosabatning matrisasi quyidagi ko'rinishda tasvirlangan:

$$R(A_1(x), A_2(y)) = \{\mu_A(u, v_1), \mu_A(u, v_2), ..., \mu_A(u, v_m)\} .$$

Bu yerda $\mu_B(v), \mu_B(v')$ - $v, v' \in V$ diskret nuqtalardagi TF ning bahosi; m – V universumning quvvati; η - V universal to'plamning diskretlashuv birligi. Yuqorida keltirilgan tadqiqotlarning ko'rsatishicha

P_3 turdagi shartli mulohazada binar munosabatlarni aniq texnologik jarayonni oldindan tahlil qilish nuqtai nazaridan x_i mantiqiy yo'llanmalar (atributlar) har xil "qimmatga" yoki "og'irlikka" ega ekanligini, ya'ni shartli mulohazaga har xil darajada ulanishi to'g'risidagi mulohazalardan kelib chiqqan holda qurish darkor. Boshqa so'z bilan aytganda, binary munosabat matrisasini qurishdan avval, u yoki bu mantiqiy yo'llanma (atributning) afzalligini hisobga olgan holda guruhli tanlov masalasini "yechish" maqsadga muvofiqdir. Noravshan mantiqiy xulosaning taklif etilgan usullarini hisoblashdagi qiyinchiliklar noravshan ta'riflangan aniq obyektning murakkabligiga bog'liqdir xolos.

Quyida amaliyotda qo'llaniladigan implikasiya operatorlari jadvali keltiriladi (4.9.1-jadval).

4.9.1-jadval

Zadeh implikasiyalar operatori	$x \underset{ZAD}{\rightarrow} y = \max(\min(x, y), 1 - x)$
Mamdani implikasiyalar operatori	$x \underset{MAM}{\rightarrow} y = \min(x, y)$
Lukasiewich implikasiyalar operatori	$x \underset{LUK}{\rightarrow} y = \min(1, 1 - x + y)$
Gedel implikasiyalar operatori	$x \underset{GED}{\rightarrow} y = \begin{cases} 1, \text{для} & x \le y \\ y, qo\lg an\, hollarda \end{cases}$
Aliev-Tserkovniy implikasiyalar operatori	$x \underset{ALI1}{\rightarrow} y = \begin{cases} 1 - x, & x < y \\ 1, & x = y \\ y, & x > y \end{cases}$
Aliev-Tserkovniy implikasiyalar operatori	$x \underset{ALI2}{\rightarrow} y = \begin{cases} 1, & x \le y \\ \min(1 - x, y), & x > y \end{cases}$
Aliev-Tserkovniy implikasiyalar operatori	$x \underset{ALI3}{\rightarrow} y = \begin{cases} 1, & x \le y \\ \dfrac{y}{x + (1 - y)}, & x > y \end{cases}$
Kleen-Dienes implikasiyalar operatori	$x \underset{KLE}{\rightarrow} y = \max(1 - x, y)$
Goguen implikasiya operatori	$x \underset{GOG}{\rightarrow} y = \begin{cases} 1, \text{для} & x = 0 \\ \min(1, y / x), qo\lg an\, hollarda \end{cases}$
Gaines-Rescher implikasiyalar operatori	$x \underset{GAI}{\rightarrow} y = \begin{cases} 1, \text{для} & x \le y \\ 0, qo\lg an\, hollarda \end{cases}$
Reichenbach implikasiyalar operatori	$x \underset{REI}{\rightarrow} y = 1 - x + xy$
Larsen implikasiyalar operatori	$x \underset{LAR}{\rightarrow} y = x \times y$

4.10. Noravshan lingvistik modellashtirish

Noravshan to’plamlar murakkab nochiziqli, noaniq obyektlarni modellashtirish va funksiyalarni approksimatsiyalashda keng qo’llaniladi [1-8]. Noravshan modellashtirish g’oyasi shundan iboratki, obyekt parametrlari o’rtasidagi matematik bog’lanish odatda lingvistik qoidalarning atamalari bilan ifodalanuvchi sifatli munosabatlar bilan almashtiriladi.

Noravshan modellashtirish. Noravshan modellashtirish- tizim tavsiflarini noravshan qoidalardan foydalangan holda ta’riflash usulidir.

Noravshan modellar asosan uchta sinfga ajratiladi:

- lingvistik noravshan modellar;
- noravshan relyasion modellar;
- Sugeno-Takagi-Kang (TSK) modellari.

Noravshan modellarni qurish 1)tuzilmani; 2) parametrlarni obyektning kiruvchi va chiquvchi ma’lumotlaridan foydalangan holda aniqlashtirishga olib kelinadi.

4.10.1. Lingvistik noravshan modellar

Ko’p kirishli (n) va ko’p chiqishli obyektlar yoki tizimlarga nisbatan lingvistik noravshan modellarning(MIMO-model) tuzilmasi:

AGAR X_1 A_{11} VA X_2 A_{12} VA … X_n A_{1n} BO’LSA U HOLDA
Y_1 B_{11} VA Y_2 B_{12} VA … Y_m B_{1m} DIR
HAMDA
AGAR X_1 A_{21} VA X_2 A_{22} VA… X_n A_{2n} U HOLDA
Y_1 B_{21} VA Y_2 B_{22} VA … Y_m B_{2m} DIR (4.10.1)
……………………………………………………………….
SHUNINGDEK
AGAR X_1 A_{r1} VA X_2 A_{r2} VA… X_n A_{rn} BO’LSA U HOLDA
Y_1 B_{r1} VA Y_2 B_{r2} VA … Y_m B_{rm} DIR.

Bitta kirishli (x) va bitta chiqishli (y) obyektlar uchun (SISO-model) model quyidagi shakldа redusiyalanadi:

AGAR X A_i BO’LSA U HOLDA B_i, $i = \overline{1,n}$. (4.10.2)

(4.10.1) va (4.10.2) noravshan modellarni noravshan graf, lingvistik qoidalar jadvali (look-up-table with interpolation) va kirish va chiqishlarning ixtiyoriy aklantirilishi (structure-free) ko'rinishida tuzilmaviy ta'riflash mumkin. (4.10.1) va (4.10.2) modellarni qurish quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:

1. Qoidalar sonini aniqlash. Kirishlar fazosi uchun ham, chiqishlar fazosi uchun ham noravshan klasteringni qo'llash kirish va chiqishlar fazolari bo'linuvchi noravshan tarmoqlar hosil bo'ladi. Bo'linishdan so'ng hosil bo'lgan noravshan tarmoqlar soni (4.10.1) yoki (4.10.2) modellardagi qoidalar sonini aniqlaydi.

2. Tegishlilik funksiyasini tanlash. Noravshan modellarni konstruksiyalashnda qidiruvning asosiy parametrlari tegishlilik funksiyasining markazi va shakli (shape) dir. Bu parametrlar ko'pincha noravshan modellarni adaptasiyalash uchun ishlatiladi. Modellashtirilayotgan obyektning kirishlari va chiqishlari to'g'risidagi tajribaviy ma'lumotlarini qo'llab, (4.10.1) yoki (4.10.2) modellar lingvistik qoidalarining ham antesedent, ham konsekvent qismlarida qo'llab, nazariy jihatdan approksimatsiyaning ixtiyoriy aniqligiga erishish mumkin. Shuni qayd etish joizki, bu masalani yechishning to'g'ridan-to'g'ri usuli, ya'ni muqobil tegishlilik funksiyalar tanlovi yo'q. Oxirgi paytda bu muammo ko'pincha sonly muqobillashtirish, ta'lim muammosi sifatida qo'yiladi. Neyron texnika, genetik algoritmlardan foydalangan holda tegishlilik funksiyasining shunday parametrlari tanlanadiki, ular asosida modellarning aniqligi va to'g'riligi ta'minlanadi. (4.10.1) turdagi modellarni geometrik ko'rinishi 4.10.1-rasmda ko'rsatilgan.

Noravshan modellarning ko'rib chiqilgan turi yaxshi semantic impretatsiyalashuvga, modelning aniqligi va ishonchliligida muhim omil hisoblangan boshqariluvchi interpolyatsiyaga, evristikani umumlashuvga qo'shish imkoniyatiga ega bo'lishi kerak.

4.10.2. Munosabatning noravshan modeli

Noravshan relyatsion modelni qurish noma'lum noravshan R munosabatli relyatsion tenglamalar sistemasini yechish muammosi sifatida qaraladi:

$$B = A \circ R, \tag{4.10.3}$$

Bu yerda $A \in F(x)$ va $B \in F(y)$ - universumlar fazosida aniqlanuvchi noravshan to'plamlar va $R \in F(X * Y)$ - modellashtiriluvchi obyekt yoki sistemaning kirishlari va chiqishlari orasidagi munosabatni ifodalovchi kartezian ko'paytma orqali aniqlanuvchi noravshan munosabat, $\circ$ - kompozitsiyaning sup-min operatori.

(4.10.3) bilan berilgan noravshan tizimni identifikasiyalash masalasi A_i va B_i, $i=\overline{1,n}$ noravshan tarmoqlar ko'rinishida tasvirlanuvchi kiruvchi va chiquvchi ma'lumotlar asosida R baholashga olib kelinadi.

$$R_i = A_i \circ R, \quad i=\overline{1,n} \quad . \qquad (4.10.4)$$

$i=\overline{1,n}$ ga nisbatan ushbu muammoning yechimi [9] da Sanches orqali quyidagi teorema ko'rinishida berilgan:

10-teorema. Agar noravshan A va B to'plamlar (4.10.3) tenglamani qanoatlantirsa, eng katta noravshan R munosabat

$$B = A \circ R \ \text{ da } \ R = A\alpha B \qquad (4.10.5)$$

Ga teng bo'ladi, bu yerda α A va B ning α-kompozitsiyasini anglatadi.

R tegishlilik funksiyasi quyidagi munosabatlardan aniqlanadi:

$$\text{R(x,y)=1}, \quad \text{agar } A(x) \le B(y)$$

$$\text{R(x,y)=Y(y)}, \ \text{agar } A(x) > B(y) \qquad (4.10.6)$$

$n \ge 2$ da indentifikasiya muammosi [10-12] da ko'rib chiqilgan. Istalgan R^* noravshan munosabat quyidagi formulaga asosan kelib chiqadi:

$$R^* = \bigcap_{i=1}^{n} R_i, \quad R_i = A_i \alpha B_i, \quad i = \overline{1,n}. \qquad (4.10.7)$$

Quyidagi ikkita teorema (4.10.4) yechimlarning mavjudligini, ya'ni R[12] munosabatlarning olinishini kafolatlovchi yetarli va zaruriy shartlarini beradi.

11-teorema. Agar (4.10.4) sistema yechimga ega bo'lsa, u holda (4.10.7) munosabat (4.10.4) ning eng katta yechimi bo'ladi.

12-teorema. (4.10.4) sistema yechimga ega bo'lishining zaruriy va yetarli sharti

$$\forall i \forall y \exists x \ ((A_i(x) \ge B_i(y)) \wedge \forall j \ne i \ (B_j(y) < B_i(y) \to A_j(x) \le B_j(y))) \ \text{dir} \qquad (4.10.8)$$

4.10.3. TSK-model

N ta kirishli va bitta chiqishli noravshan modellashtiriluvchi sistemani ko'rib chiqamiz. U holda bunday turdagi sistemalarga nisbatan TSK-model

$$R^i: \text{AGAR } X_1 \ A_1^i \text{ VA } X_2 \ A_2^i \ \dots \text{ VA } X_n \ A_n^i \text{ BO'LSA}$$

$$\text{U HOLDA } Y^i = f^i(X_1, X_2, \dots, X_n), \qquad (4.10.9)$$

ko'rinishda bo'ladi, bu yerda R^i, $i=\overline{1,m}$ - i –implikasiya, m-noravshan modelning qoidalar soni, $x_1, x_2, ..., x_n$ - modelning kiruvchi o'zgarishlari, A_j^i, $i=\overline{1,n}$ - kiruvchi o'zgaruvchilarning noravshan qism to'plamlari, y^i - kirishlarning nochiziqli (yoki chiziqli) funksiyasi sifatida aniqlanuvchi i-chiqishi.

$(x_1^0, x_2^0, ..., x_n^0)$ kiruvchi o'zgaruvchilarning qiymatlari ma'lum bo'lsa, noravshan modelning yakuniy chiqishi

$$Y = \sum_{i=1}^{n} W_i y^i \Big/ \sum_{i=1}^{n} W_i \,, \qquad (4.10.10)$$

sifatida aniqlanishi mumkin, bu yerda W_i - i-implikasiya shartli qismining chinlik qiymati bo'lib, u

$$W^i = \mathop{\wedge}_{j=1}^{n} \mu_{A_j^i}(x_i^0) \text{ kabi hisoblanadi.} \qquad (4.10.11)$$

Bu yerda $\mu_{A_j^i}(x_i)$ - A_j^i noravshan qism to'plamlarning tegishlilik funksiyasi.

TSK-model, umuman olganda bir nechta qoidalardan foydalangan holda murakkab nochiziqli funksional bog'lanishni ta'riflashi mumkin. Bunday modelni qurish qoidalari shartli qismining muqobil tuzilmasini (ya'ni kiruvchi o'zgaruvchilarning tegishlilik funksiyasini), tuzilmaning konsenkventini (ya'ni qanday termlar nochiziqli yoki chiziqli tenglamaga qo'shilishini aniqlash va ularning parametrlari bahosi) aniqlashni nazarda tutadi.

Shuni qayd etish joizki, amaliyotda TSK-modelni qurish oson masala emas. Bunday modellarni qurishning qat'iy tizimli prosedurasi mavjud emas. Bundan tashqari industrial jarayonlarni modellashtirishda tuzilmaviy va parametric off-line indentifikasiya uchun kiruvchi va chiquvchi ma'lumotlarni to'plash qiyindir.

TSK-modellarni qurish prosedurasini yaxshilash uchun bir qator g'oyalar va usullar [13-15] taklif etilgan. R.Langary va L.Wang da TSK-modellarni aniqlashga yangi yondashuv taklif etilgan, unda noravshan to'plamlarni yaratish uchun noravshan diskretlashtirish vositalaridan foydalangan holda avvalo modellarning shartli qismi aniqlanadi. Noravshan to'plamlar soni modelning konsenkvent qismidagi qoidalar sonini va chiziqli tenglamalar sonini aniqlaydi. Ushbu chiziqli tenglamalarning parametrlari orthogonal estimatordan foydalangan holda baholanadi. Quyida bunday modellarni qurishning turli xil uslublarini solishtirish maqsadida jadval keltiriladi (4.10.1-jadval).

4.10.1-jadval.

Modelning nomi	Kirishlar soni	Qoidalar soni	O'rta kvadratik xatolik
Tong modeli (Tong, 1979)	2	19	0,469
Pedruks modeli (Pedruks(1984)	2	81	0,320
Xu modeli (Xu va Lu, 1987)	2	25	0,328
Boks modeli (Boks va Djekins, 1976)	6	-	0,202
Sugeno modeli (Sugeno, Yasukava, 1993)	3	6	0,190
Vang modeli (Vang va Langari, 1994)	2	5	0,158
Sugno modeli (Sugeno va Tanaka, 1991)	6	2	0,068
Langari va Vang modeli (Langari va Vang, 1994)	6	2	0,066

TSK-modellarning aniqlash va tasvirlashning samarali bo'lishi uchun zarur bo'lgan qoidalarning kam soni va ma'lumotlarning kichik hajmi kabi ustuvorliklariga qaramay, ular lingvistik va relyatsion modellarga qaraganda, evristikalarni qo'shishning semantic qiyinchiligidan aziyat chekadilar. [8] da TSK va lingvistik modellar xossalarining nisbiy baholanishi keltirilgan (4.10.2-jadval).

4.10.2-jadval

Xossa	TSK-model	Lingvistik model
1. Tasvirlash	Samarali	Samarali emas
2. Umumlashtirish	Past	Yuqori
3. Qoidalar soni	Past	Yuqori
4. Semantik qiymat	Chegaralangan	Yaxshi
5. Evristikani qo'shish	Qiyin	Oson
6. Interpolyatsiya	Boshqarilmaydi	Boshqariluvchi
7. Aniqlashtirish uchun ma'lumotlar	Kam	Ko'p

U yoki bu modellarning ustuvorliklari va kamchiliklarini hisobga olgan holda [8] da noravshan chiziqli modelni bo'lishga asoslangan to'ldiruvchi noravshan bo'linish qonuniyatini hisobga oluvchi yangi yondashuv taklif etiladi. U quyidagi misolda tasvirlanib o'tiladi.

[8] misol. Fermenterda bosim dinamikasining noravshan modeli aniqlahtiriladi. Noravshan TSK-model quyidagi ko'rinishda qabul qilinadi:

R_1: AGAR x(k) kichik va y(k) o'rta bo'lsa

U HOLDA $y(k+1) = a_1 y(k) + b_1 x(k) + c_1$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (4.10.12)$$

R_m: AGAR x(k) taxminan nol va y(k) katta bo'lsa

U HOLDA $y(k+1) = a_m y(k) + b_m x(k) + c_m$,

bu yerda x(k), y(k) –* shartli qismning o'zgaruvchilari , a_i, b_i, c_i - konsekvent parametrlar, k – diskret vaqt. Yuqorida ko'rsatilib o'tilganidek, (4.10.12) noravshan modelni qurish modeli 1) (4.10.12) modeldagi qoidalarning shartli qismida tegishlilik funksiyasini aniqlash va 2) o'ng qism tuzilmasini va a_i, b_i, c_i parametrlarning qiymatini baholashga asoslanadi. Birinchi bosqichning mos vositasi giperplanar noravshan sinflashtirish, ikkinchi bosqichda esa aniqlashtirish nazariyasining mashhur usullari qo'llanilishi mumkin.

Giperplamar noravshan sinflashtirishdan foydalangan holda quyidagi uchta qoida aniqlangan:

AGAR y(k) past va x(k) ochiq bo'lsa

U HOLDA $y(k+1) = 0{,}67 y(k) + 0{,}0007 x(k) + 0{,}35$

AGAR y(k) o'rta va x(k) yarim yopiq bo'lsa

U HOLDA $y(k+1) = 0{,}80 y(k) + 0{,}0028 x(k) + 0{,}07$

AGAR y(k) yuqori va x(k) yopiq bo'lsa

U HOLDA $y(k+1) = 0{,}90 y(k) + 0{,}0071 x(k) - 0{,}39$

Ko'rinib turganidek, formenterdagi bosimning dinamik modeli birinchi tartibli nochiziqli regression model orqali tasvirlanadi.

Asl noravshan chiziqli bo'linishdan klapan va bosim holati uchun to'ldiruvhi bo'linishning tegishlilik funksiyalari keltirib chiqarildi.

4.10.4. Noravshan modellarning adekvatligi

Ushbu paragrfda lingvistik qoidalar ko'rinishida tasvirlangan bilimlar noravshan modellarining adekvatlik masalasi o'rganiladi [16].

Chekli universal to'plamlar $X=\{X_1, X_2, ..., X_n\}$ va $Y=\{Y_1, Y_2, ..., Y_n\}$ berilgan bo'lsin. Noravshan A va B to'plamlar $\mu_A: X \Rightarrow [0,1]$ va $\mu_B: Y \Rightarrow [0,1]$ tegishlilik funksiyalari bilan aniqlangan. X va Y da aniqlangan noravshan to'plamlar o'rtasidagi bog'lanish

Agar (x=A_1) bo'lsa U HOLDA (y=B_1), AKS HOLDA:

Agar (x=A_2) bo'lsa U HOLDA (y=B_2), AKS HOLDA:

……………………………….. (4.10.13)

………………………………..

Agar (x=A_s) bo'lsa U HOLDA (y=B_s)

Qoidalar bilan beriladi.

Berilgan qoidalar tegishlilik funksiyasi $\mu_R: X \times Y \Rightarrow [0,1]$ bo'lgan va quyidagi formula bo'yicha hisoblanuvchi R=R(x,y) noravshan munosabatni akslantiradi

$$\mu_R(x_i, y_j) = \max_i \min(\mu_{A_i}(x_i), \mu_{B_i}(y_j)), \quad i=\overline{1,s}. \qquad (4.10.14)$$

Ixtiyoriy noravshan A kirishda mos B noravshan to'plam

$$B = A \otimes R,$$

Formula bo'yicha hisoblanadi, bu yerda $\otimes$ - kompositsion (maksmin) ko'paytmaning ishorasi. B noravshan to'plamning tegishlilik funksiyasi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\mu_B(y_j) = \max \min_i(\mu_A(x_i), \mu_R(x_i, y_j)\}.$$

Ma'lumki, umumiy holda $\forall A_l (l=\overline{1,s}) \quad A_l \otimes R \supset B_l$.

(4.10.13) qoidalar ko'rinishida tasvirlangan noravshan bilimlar modeli

$$\forall A_l (l=\overline{1,s}) \quad A_l \otimes R = B_l$$

bo'lganda adekvat deyiladi. Noravshan AGAR-U HOLda qoidalar ko'rinishida tasvirlangan bilimlarning quyidagi adekvatlik shartlari olindi.

13-teorema. Agar (4.10.13) qoidalarda A_k noravshan to'plamlar normal bo'lsa, hamda ularning tashuvchilari juft-juftlab kesishmasa, u holda ixtiyoriy $r,k=\overline{1,s}$ $(s \le n)$ larda

1) $A_k \otimes R = B_k$

2) $(A_k \cup A_r) \otimes R = B_k \cup B_r$

3) $\forall A \subset (A_k \cup A_r)\ A \otimes R \subset (B_k \cup B_r)$

Isbot. Isbotlash paytida ixtiyoriy haqiqiy sonlarga nisbatan yaqqol tenglikdan foydalanamiz

$$\min(a, \max_j b_j) = \max_j \min(a, b_j)\,. \qquad (4.10.15)$$

Kompozitsion ko'paytmaning qoidasiga ko'ra $A_k \otimes R$ noravshan to'plamning tegishlilik funksiyasi quyidagi tarzda hisoblanadi:

$$\mu_{A_k \otimes R}(y_j) = \max_i \min\{\mu_A(x_i), \mu_R(x_i, y_j)\}\,.$$

(4.10.14) formulaga $\mu_R(x_i, y_j)$ ifodani joylashtirgan holda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\mu_{A_k \otimes R}(y_j) = \max_i \min\{\mu_{A_k}(x_i), \max_l \min(\mu_{A_l}(x_i), \mu_{B_l}(y_j))\}\,.$$

(4.10.15) tenglikdan foydalangan holda birinchi qismni quyidagi ko'rinishda yozib olamiz

$$\mu_{A_k \otimes R}(y_j) = \max_i \min_l\{\mu_{A_k}(x_i), \mu_{A_l}(x_i), \mu_{B_l}(y_j)\}\,.$$

Teoremaning shartiga ko'ra,

$$k \neq 1\ \forall i\ \min(\mu_{A_k}(x_i), \mu_{A_l}(x_i)) = 0\,.$$

Demak, l bo'yicha o'ng qismning maksimumiga l=k bo'lgan holdagina erishish mumkin va shuning uchun

$$\mu_{A_k \otimes R}(y_j) = \max_i \min\{\mu_{A_k}(x_i), \mu_{B_k}(y_j)\} = \min(\max_i \mu_{A_k}(x_i), \mu_{B_k}(y_j))\,.$$

Lekin A_k to'plamlarning normalligi hisobiga $\max_i(\mu_{A_k}(x_i)) = 1$, shuning uchun $\mu_{A_k \otimes R}(y_j) = \mu_{B_k}(y_j)$.

Ikkinchi tasdiqni isbotlashda teoremaning birinchi tasdig'idan va tor'lar nazariyasidan bizga ma'lum bo'lgan quyidagi yaqqol tengliklardan foydalanamiz

$$\max(\min(a,c),\min(b,c)) = \min(\max(a,b,c))$$

$$\max(\max_i a_i, \max_i b_i) = \max_i \max(a_i, b_i)$$

$$\mu_{(A_k \cup A_r \otimes R}(y_j) = \max_i \min(\max(\mu_{A_k}(x_i), \mu_{A_r}(x_i)), \mu_R(x_i, y_j))) =$$

$$= \max_i \max(\min(\mu_{A_k}(x_i), \mu_R(x_i, y_j)), \min(\mu_{A_r}(x_i), \mu_R(x_i, y_j))) =$$

$$= \max(\max_i(\min(\mu_{A_k}(x_i), \mu_R(x_i, y_j)),$$

$$\max_i \min(\mu_{A_r}(x_i), \mu_R(x_i, y_j))) = \max(\mu_{B_k}(y_j), \mu_{B_r}(y_j)).$$

Teoremaning ikkinchi tasdig'I isbotlandi. Teoremaning uchinchi tasdig'I ikkinchidan kelib chiqadi.

$$\max_i \min(\mu_A(x_i), \mu_R(x_i, y_j)) \le \max_i \min(\max(\mu_{A_k}(x_i), \mu_{A_r}(x_i)), \mu_R(x_i, y_j)) =$$

$$= \max(\mu_{B_k}(y_j), \mu_{B_r}(y_j)).$$

Masalani ko'p o'lchovli hol uchun shakllantiramiz. Lingvistik o'zgaruvchilar ko'rinishidagi n ta kirishli va bitta chiqishli sistema ko'rib chiqiladi. Har bir kirish termi universal V to'plamning noravshan qism to'plami bo'lgan $T(x_i)$ term-to'plam bilan xarakterlanuvchi x_i lingvistik o'zgaruvchini ifodalaydi.

Sistemaning kirishlari va chiqishi o'rtasidagi bog'lanish quyidagi lingvistik qoidalarning majmui ko'rinishida tasvirlanadi:

$L_1 \equiv$ AGAR $(x_1 = T_1^1 \,\&\, x_2 = T_1^2 \& ... \& \, x_n = T_1^n)$, U HOLDA $y = P_1$, AKS HOLDA:

$L_2 \equiv$ AGAR $(x_1 = T_2^1 \,\&\, x_2 = T_1^2 \& ... \& \, x_n = T_2^n)$, U HOLDA $y = P_2$, AKS HOLDA:

....

(4.10.6)

....

$L_s \equiv$ AGAR $(x_1 = T_s^1 \,\&\, x_2 = T_s^2 \& ... \& \, x_n = T_s^n)$, U HOLDA $y = P_s$.

Bu yerda $T_i^j \ (j = \overline{1,n})$ va P_i -i-lingvistik qoidada qo'llaniluvchi x_i va y lingvistik o'zgaruvchilar term-to'plamidan olingan termlar.

(4.10.16) qoidalar orqali ifodalanuvchi (n+1)-o'lchovli $R(x_1, x_2, ..., x_n, y)$ munosabat matrisasining elementlari quyidagi qoida bo'yicha aniqlanadi:

$$r_{K_1K_2...K_n} i = \max\min\left\{\mu_{T_i^1}\left(u_{R_1}^1\right), ..., \mu_{T_i^n}\left(u_{R_n}^n\right), \mu_{P_i}(v_1)\right\}, \qquad (4.10.7)$$

Bu yerda $\mu_{T_i^j}\left(u_{R_j}^j\right)$ va $\mu(v_1)$ -qoidalarda qo'llaniluvchi termlarning tegishlilik funksiyalari. $\mu_{T_0^j}\left(u_{R_j}^j\right)$ tegishlilik funksiyalari bilan xarakterlanuvchi ixtiyoriy $T = \left(T_0^1, T_0^2, ..., T_0^n\right)$ kirishda olingan munosabatdan foydalangan holda chiqish uchun bahoga ega bo'lamiz:

$$P_0 = T_0^1 \otimes T_0^2 \otimes ... \otimes T_0^n \otimes R(x_1, x_2, ..., x_n, y) \qquad (4.10.18)$$

Noravshan chiqish tegishlilik funksiyasining qiymati quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$\mu_{P_0}(v_1) = \max_k \min\left\{\mu_{T^1}\left(u_{R_1}^1\right), ..., \mu_{T^n}\left(u_{R_n}^n\right), r_{R_1R_2...R_{n1}}\right\}, \qquad (4.10.19)$$

Bu yerda $K = (K_1 K_2 ... K_n)$.

Chiquvchi parametrni aniqlashda berilgan ifodadan foydalanish juda qiyin, chunki (n+1)-o'lchovli $R = (x_1, x_2, ..., x_n, y)$ matrisaning elementlar soni $N = m \times \prod_{i=1}^{n} K_i$ gat eng, bu yerda K_i - bazali o'zgaruvchi (i-lingvistik parametrning) ning diskret qiymatlari soni, m esa chiqishning bazali o'zgaruvchisining diskret qiymatlari soni. Ko'p sondagi qiymatlarni kompyuter xotirasida saqlash va ular ustida maksmin amallarni olib borish zarurati ko'pgina hisoblash qiyinchiliklarini keltirab chiqaradi.

Ma'lumki, (4.10.18) formulani ekvivalent formula bilan almashtirish mumkin:

$$P_0 = \bigcup_{i=1}^{s} \left\{ \left[\bigcap_{j=1}^{n} \left(T_1^j \otimes T_0^j \right) \right] \cap P_i \right\}, \tag{4.10.20}$$

U tegishlulik funksiyasi tilida quyidagi ko'rinishni qabul qiladi:

$$\begin{gathered}\mu_{P_0}(v_i) = \max_i \min\{\min[\max_{k_1} \min(\mu_{T_0^1}(u_{k_1}^1), \mu_{T_1^1}(u_{k_1}^1)),...,\\ \max_{k_n} \min(\mu_{T_0^n}(u_{k_n}^n), \mu_{T_1^n}(u_{k_n}^n))], \mu_{P_i}(v_i)\}.\end{gathered} \tag{4.10.21}$$

1-tasdiq. Chiqishni (4.10.19) va (4.10.21) formulalar bo'yicha (4.10.16) lingvistik qoidalar asosida ixtiyoriy $\left(T_0^1, T_0^2, ..., T_0^n\right)$ kirishlardagi baholashlar ekvivalentdir. Isbotlash paytida (4.10.15) tenglikdan foydalanamiz.

$$\begin{gathered}\mu_{P_0}(v_i) = \max_i \min\{\min[\max_{k_1} \min(\mu_{T_0^1}(u_{k_1}^1), \mu_{T_1^1}(u_{k_1}^1)),...,\\ \max_{k_n} \min(\mu_{T_0^n}(u_{k_n}^n), \mu_{T_1^n}(u_{k_n}^n))], \mu_{P_i}(v_i)\}.\end{gathered}$$

(4.10.15) tenglikni n marta qo'llab, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\begin{gathered}\mu_{P_0}(v_i) = \max_{k_1} ... \max_{k_n} \max_i \min(\mu_{T_0^1}(u_{k_1}^1),..., \mu_{T_0^n}(u_{k_n}^n),\\ \mu_{T_1^1}(u_{k_1}^1)),..., \mu_{T_1^n}(u_{k_n}^n), \mu_{P_i}(v_i)).\end{gathered}$$

(4.10.16) formula ham ushbu ko'rinishga keltirilishini ko'rsatamiz, (4.10.4) ni (4.10.16) ga qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\begin{gathered}\mu_{P_0}(v_i) = \max_{k_1} ... \max_{k_n} \min(\mu_{T_0^1}(u_{k_1}^1),..., \mu_{T_0^n}(u_{k_n}^n)),\\ \max_i \min(\mu_{T_1^1}(u_{k_1}^1)),..., \mu_{T_1^n}(u_{k_n}^n)), \mu_{P_i}(v_i)).\end{gathered}$$

Bu galda (4.10.21) tenglikni I parameter bo'yicha qo'llab, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\begin{gathered}\mu_{P_0}(v_i) = \max_{k_1} ... \max_{k_n} \max \min(\mu_{T_0^1}(u_{k_1}^1),..., \mu_{T_0^n}(u_{k_n}^n),\\ \mu_{T_1^1}(u_{k_1}^1)),..., \mu_{T_1^n}(u_{k_n}^n), \mu_{P_i}(v_i)).\end{gathered}$$

Ko'rib turganimizdek, ikkita formula yagona ifodaga keltiriladi, ya'ni

$$\mu_{P_0}(v_i) = \mu_{P_0^*}(v_i)$$

va tasdiq isbotlandi.

Bir o'lchovli hol kabi ko'p o'lchovli hol uchun adekvatlik tushunchasini kiritamiz. (4.10.16) qoidalar sistemasi bilan ta'riflanuvchi bilimlar modeli $\forall m \in [1, s]$ larda

$$T_m^1 \otimes T_m^2 \otimes ... \otimes T_m^n \otimes R(x_1, x_2, ..., x_n, y) = P_m \qquad (4.10.22)$$

shart bajarilsa, adekvat deb ataladi. (4.10.20) ekvivalent formuladan foydalanganda modelning adekvatligi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi. $\forall m \in [1, s]$ da

$$\bigcup_{i=1}^{s} \left\{ \left[\bigcap_{j=1}^{n} \left(T_1^j \otimes T_m^j \right) \right] \cap P_i \right\} = P_m. \qquad (4.10.23)$$

$\bar{T}(x_j)\ (j = \overline{1, n})$ orqali tashuvchilari kesishmaydigan $T(x_j)$ term-to'plamning ma'lum bir qism to'plamini belgilaymiz, ya'ni

$$T(x_j) = \{ T \in T(x_j) / \forall T_1, T_2 \in T(x_j) \sup pT_1 \cap \sup pT_2 = \varnothing \}.$$

14-teorema. Agar (4.10.13) formulada $\forall i, j$ larda T_i^j to'plamlar normal bo'lsa va $T_i^j = T(x_j)$ bo'lsa, u holda (4.10.22) adekvatlik shartlari bajariladi. Isbotlash chog'ida (4.10.22) adekvatlikning ekvivalent sharxidan foydalanamiz. Har bir parametrni ta'riflovchi termlar normal bo'lganligi va ularning tashuvchilari kesishmaganligi bois

$$T_i^j \otimes T_m^j = \begin{cases} 1, & agar\ m = i, \\ 0, & agar\ m \neq i. \end{cases}$$

Shuning uchun

$$\bigcap_{i=1}^{n} T_i^j \otimes T_m^j = \begin{cases} 1, & agar\ m = i, \\ 0, & agar\ m \neq i. \end{cases}$$

Bu yerdan (4.10.21) tenglik va teoremaning isboti kelib chiqadi.

Natija. Agar i-parametr n_i kesishmaydigan termlar bilan baholansa, u holda modelning adekvatligini ta'minlovchi qoidalarning maksimal soni $M = \prod_{i=1}^{n} n_i$ ga teng.

Chiqishni (4.10.18) formula bo'yicha hisoblaganda $R(x_1, x_2, ..., x_n, y)$ munosabatning o'rniga uning $U_j \times V$ dagi $R_j = projR$ proyeksiyalardan foydalanish mumkin edi. Ikki o'lchovli proyeksiya $R_j(x_j, y)$ ning elementlari

$$r_{R_j^i} = \max r_{R_1 R_2 ... R_n^i}$$

dir, bu yerda $r_{R_1 R_2 \dots R_n^i}$ - (4.10.16) qoidalar sistemasi bilan induksiyalanovchi (n+1) o'lchovli $R(x_1, x_2, ..., x_n, y)$ munosabatning elementlari, $\hat{R} = (R_1, R_2, ..., R_{j-1}, R_{j+1}, ..., R_n)$.

2-tasdiq. Agar munosabat (4.10.16) qoidalar bilan induksiyalangan bo'lsa, $R_j(x, y)$ binary proyeksiyalarning elementlari quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$r_{R_j^i} = \max_i \min\left(\mu_{T_i^j}(u_{R_j}^j), \mu_{P_i}(v_i)\right). \tag{4.10.24}$$

Isbot.

$$r_{R_j^1} = \max_{\hat{R}_j} r_{R_1, R_2, ..., R_n^1} = \max_{\hat{R}} \max \min\{\mu_{T_i^1}(u_{R_j}^1), \mu_{T_i^2}(u_{R_j}^2), ..., \mu_{T_i^n}(u_{R_j}^n), \mu_{P_i}(v_1)) =$$

$$= \max_{\hat{R}} \max_i \min\{(\mu_{T_i^j}(u_{R_j}^j), \mu_{P_i}(v_1)), \mu_{T_i^1}(u_{R_j}^1), \mu_{T_i^2}(u_{R_j}^2), ...,$$

$$\mu_{T_i^{j-1}}(u_{R_{j-1}}^{j-1}), \mu_{T_i^{j+1}}(u_{R_{j+1}}^{j+1}), ..., \mu_{T_i^n}(u_{R_j}^n)\}.$$

(4.10.21) tenglikdan foydalangan holda oxirgi ifodani quyidagi ko'rinishda yozib olamiz:

$$r_{R_j^1} = \max_i \min\{(\mu_{T_i^j}(u_{R_j}^j), \mu_{P_i}(v_1)) \max_{\hat{R}}(\mu_{T_i^1}(u_{R_j}^1), \mu_{T_i^2}(u_{R_j}^2), ...,$$

$$\mu_{T_i^{j-1}}(u_{R_{j-1}}^{j-1}), \mu_{T_i^{j+1}}(u_{R_{j+1}}^{j+1}), ..., \mu_{T_i^n}(u_{R_j}^n))\}.$$

T_i^j noravshan to'plamlarning normalligini hisobga olgan holda (4.10.24) formulaga ega bo'lamiz. Tasdiq isbotlandi.

Ixtiyoriy kirish $T = \left(T_0^1, T_0^2, ..., T_0^n\right)$ da chiqishni baholash uchun (4.10.16) formulaning o'rniga quyidagi formuladan foydalanish mumkin

$$P_0 = \coprod_{j=1}^{n} (T_0^j \varnothing R_j).$$

(4.10.16) bilimlar modeliga nisbatan adekvatlik sharti proyeksiyalardan foydalanganda quyidagi ko'rinishni qabul qiladi

$$\forall m \in [1, s] \quad \coprod_{j=1}^{n} (T_m^j \varnothing R_j) = P_m. \tag{4.10.25}$$

Chiqishni baholashdagi quyidagi soddaroq sharxdan foydalanganda modelning adekvatligini ta'minlash maqsadida qat'iyroq shartlar kerak bo'ladi. Quyidagi teoremani isbotlaymiz.

15-teorema. Agar (4.10.16) qoidalarda

1) T_i^j noravshan to'plamlar normal,

2) $\forall j, j \quad T_i^j \in \overline{T}(x_j)$,

3) barcha $k = \overline{1, s}$ larda $\forall i \; \exists j \quad T_i^j \neq T_R^j$

Bo’lsa, u holda (4.10.25) bajariladi.

Uchinchi shart ixtiyoriy qoidada term mavjudligini, boshqa hech bir qoidada ushbu parametrni ta’riflash uchun berilgan term qo’llanilmasligini anglatadi.

Teoremaning isboti. Isbotlash paytida (4.10.21) tenglikdan va binar proyeksiyaga nisbatan (4.10.24) formuladan foydalanamiz.

$$\min_j \left\{ \max_{R_j} \min(\mu_{T_m^j}(u_{R_j}^j), r_{R_j^1}) \right\} =$$

$$= \min_j \left\{ \max_{R_j} \min(\mu_{T_m^j}(u_{R_j}^j), \max_i \min(\mu_{T_i^j}(u_{R_j}^j), \mu_{P_i}(v_i)) \right\} =$$

$$= \min_j \left\{ \max_{R_j} \max_i \min(\mu_{T_m^j}(u_{R_j}^j), \mu_{T_i^j}(u_{R_j}^j), \mu_{P_i}(v_i)) \right\} =$$

$$= \min_j \left\{ \max_{R_j} \max_i \min(\min(\mu_{T_m^j}(u_{R_j}^j), \mu_{T_i^j}(u_{R_j}^j), \mu_{P_i}(v_i)) \right\} =$$

$$= \min_j \left\{ \max_i \min(\max_{R_j} \min(\mu_{T_m^j}(u_{R_j}^j), \mu_{T_i^j}(u_{R_j}^j), \mu_{P_i}(v_i)) \right\}.$$

Lekin $\max_{R_j} \min(\mu_{T_m^j}(u_{R_j}^j), \mu_{T_i^j}(u_{R_j}^j))$ ifoda $\sup p(T_m^j) \cap \sup p(T_i^j) = \varnothing$ da nolga va $T_i^j = T_m^j$ bo’lgan hollarda hamda j-parametrni baholashda T_i^j term qo’llaniluvchi qoidalarga nisbatan birga teng bo’ladi. Lekin teoremaning uchinchi sharti bo’yicha har bir qoidaga nisbatan boshqa hech bir qoidada uchramagan term mavjud bo’ladi. Shuning uchun

$\forall i, i \equiv m \ \exists z \in [1, n]$

$\max_{R_z} \min(\mu_{T_m^z}(u_{R_z}^z), \mu_{T_i^z}(u_{R_z}^z)) = 0$, i=m larda esa

$\max_{R_z} \min(\mu_{T_m^z}(u_{R_z}^z), \mu_{T_i^z}(u_{R_z}^z)) = 1$.

Demak,

$$\min_j \left\{ \max_{R_z} \min(\mu_{T_m^z}(u_{R_j}^j), r_{R_j^1}) \right\} = \mu_{P_m}(v_1)$$

va tasdiq isbotlandi.

Natija. Agar i-parametr n_i ta kesishmaydigan termlar orqali baholansa, u holda chiqishi proyeksiyalar asosida (4.10.24) formula bo’yicha hisoblanuvchi modelning adekvatligini ta’minlovchi qoidalarning maksimal soni $M = \sum_{i=1}^{n} (n_i - 1)$ ga teng.

Adekvatlik nazariyalarining mantiqiy interpretasiyasini ko’rib chiqamiz. Adekvatlik tushunchasini kiritish noravshan mantiqiy tizimga nisbatan deduksiya qonuning bajarilishini ta’minlash bilan teng kuchli. Bir o’lchovli holda bu quyidagini anglatadi:

$A \to B$
A
______

B

Ko’p o’lchovli holda:

$A_1, A_2, ..., A_n \to B$

A_1

A_2

(4.10.26)

.
.
.

A_n

______

B

Va nihoyat, proyeksiyalardan foydalanish (4.10.26) chiqarish mantiqiy sistemaning quyidagi sistema bilan almashtirila olish imkonini anglatadi:

$A_1 \to B_1$

$A_2 \to B_2$

.
.
.

$A_n \to B_n$

A_1

(4.10.27)

A_2

.
.
.

A_n

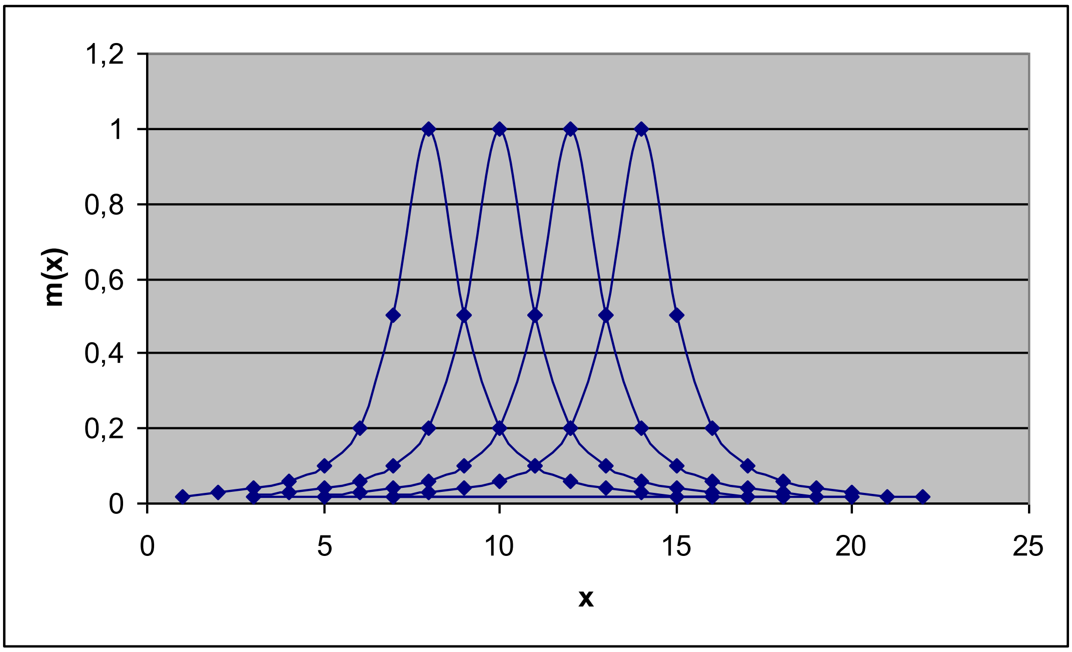
______

$$B = B_1 \cap B_2 \cap ... \cap B_n$$

Teskari masala: (4.10.27) mantiqiy chiqarish sistemasini (4.10.26) mantiqiy chiqarish sistemasi bilan almashtirish masalasi ham katta qiziqish uyg'otadi. Bu deyarli chiqarishning induktiv sistemasini yaratilishiga olib keladi.

Adekvatlik nazariyasidan amaliyotda foydalanishga oid ayrim izohlar.

Aytaylik, ma'lum bir parameter tegishlilik funksiyasi 4.10.1-rasmda keltirilgan to'rtta term orqali baholansin.



4.10.5-rasm. Termlarning tegishlilik funksiyasi

Rasmdan ko'rinib turganidek, faqatgina ikkita termdan iborat kesishmaydigan termlarning term-to'plamini yaratish mumkin. Lekin ikkita termdan foydalangan holda parametrni to'liq ta'riflab bo'lmaydi. Lekin ushbu parametrlarning α -kesimlaridan foydalansak, $(\alpha = 0{,}2)$ biz uchta kesihmaydigan termlarning term to'plamiga ega bo'lamiz. Agarda kesim darajasining qiymatini katta qilib, masalan 0,5 ga teng deb olsak, u holda to'rttala term kesihmaydigan bo'ladi. Shuning uchun noravshan modelning α-adekvatlik tushunchasini kiritish, ya'ni teoremalarning sharxida termlarning kesishmaslik shartlarini mos α-kesimlarning kesishmaslik sharti bilan almashtirish kerak.

4.11.Boshqaruvning noravshan tizimlari

4.11.1. Noravshan boshqaruv tizimlarini qurishning umumiy uslubiyati

Noravshan avtomat [1-3]. Noravshan chekli avtomat tartiblangan oltilik bilan xarakterlanadi, bu yerda $U = \{a_1,...,a_m\}$, $X = \{x_1,...,x_n)$, $Y = \{y_1,...,y_p\}$ - mos ravishda kirish, holat va chiqishlarning chekli to'plamlari, $\delta : X \times U \times X \to L$, $\sigma : X \times Y \to L$ - mos ravishda o'tish va chiqish funksiyalari, s_0 - noravshan boshlang'ich holat ($s_0 : X \to L$). δ - o'tishlarning noravshan matrisalar to'palmini keltirib chiqaradi; σ - chiqishning noravshan matrisasini keltirib chiqaradi. Determinasiyalangan chekli avtomat noravshan chekli avtomatning xususiy holidir ($\delta_{x_i x_j}$ 0 yoki 1 ga teng bo'lganda).

Noravshan algoritm. Noravshan to'plamlar orqali shakllantiriluvchi tushunchalarni o'z ichiga olgan noravshan yo'riqlar (mulohazalar) ning tartiblangan to'plami noravshan algoritm [3,4] deyiladi.

Ayrim amaliy hollarda chekli noravshan avtomatlar orqali ta'riflanuvchi noravshan algoritmlar qo'llaniladi.

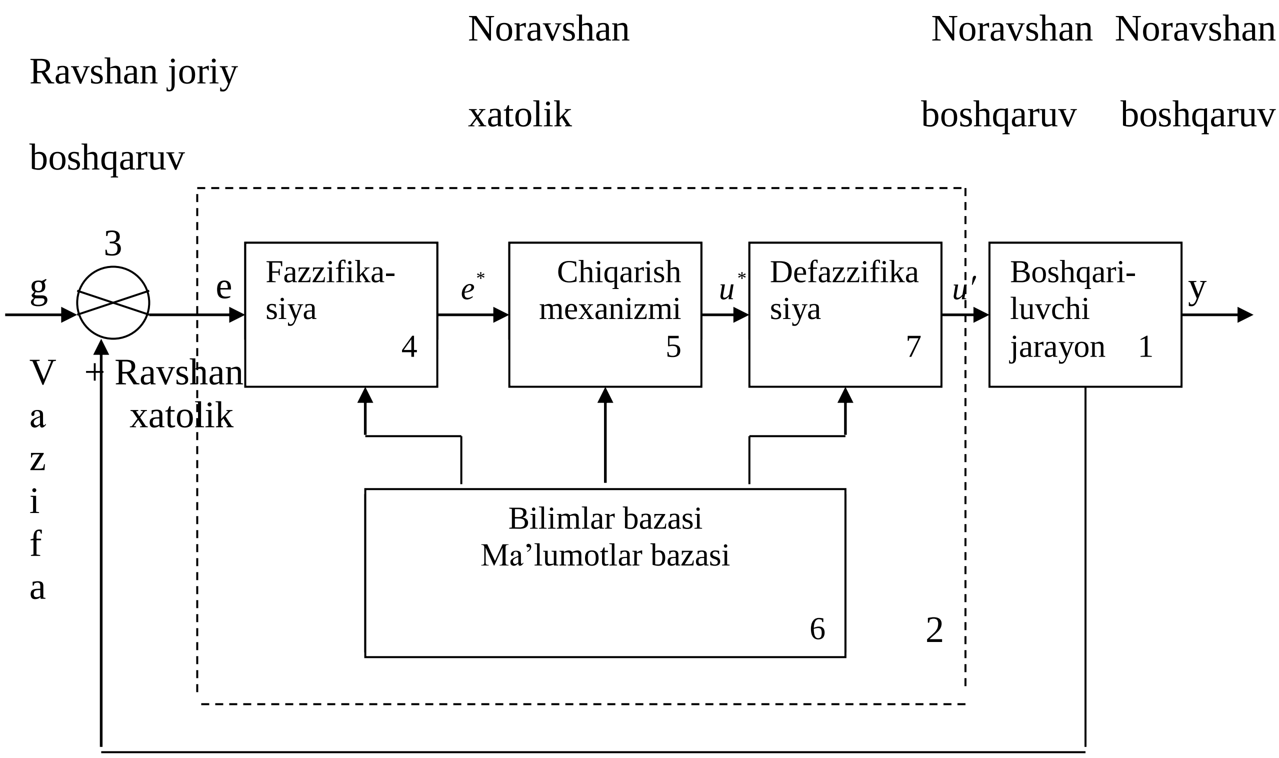
Noravshan nazoratchi. Noravshan nazoratchi noravshan mantiqdan bilimlar va noravshan xulosani tasvirlashda foydalanuvchi bilimlarga asoslangan nazoratchidir.

Noravshan tizimning asos tuzilmasi 4.11.1-rasmda keltirilgan. Boshqariluvchi 1 jarayonning joriy Y(t) chiqishi ravshan signal ko'rinishida tizimning kirishiga qaytariluvchi aloqa sifatida yetib keladi, bu yerda elementda 3 g(t) vazifa bilan tekshiriladi. E(t) xatolik, zaruratga qarab ($e', e'' \ldots$) hosilalar, , ($\sum e(t)$) xatolikdan olingan integral ravshan signallar ko'rinishida 2 noravshan nazoratchi kirishiga yetkaziladi. Oxirgisi $e, e', \sum e$ ravshan signallarni $e^*, e^{*'}, (\sum e)^*$ noravshan to'plamlarga transformasiyalovchi 4 fazzifikatorni yoqadi.

5 chiqarish mexanizmi shu signallarni moslashtirishning noravshan qoidalari saqlanuvchi signallar va bilimlar bazasini ta'riflovchi noravshan to'plamlarning noravshan to'plamlari saqlanuvchi 6 bilimlar bazasidan foydalangan holda qabul qilib nazoratchining $u^*(t)$ chiquvchi noravshan signalini qabul qilish uchun mantiqiy xulosani chiqaradi. Boshqariluvchi jarayon (bajariluvchi organga) chiqishiga u ravshan boshqaruv signali yetib kelganligi uchun, 7 element (defazzifikator) u^*

noravshan boshqaruvni boshqaruvning ravshan signali u(t) ga transformasiyalaydi.

Quyida 4.11.1-rasmda tasvirlangan alohida bloklar va butun noravshan tizimning ishlash tamoyili keltiriladi.



4.11.1-rasm. Noravshan boshqaruv tizimining bazali tuzilmasi

1. Fazzifikator

Fazzifikator. Fazzifikasiya o’lchangan ravshan kirishlarni aniqlangan universumning ravshan to’plamlariga akslantirishdir.

Boshqariluvchi obyektning kirish va chiqishlari, demak boshqaruv tizimidagi xatolik ravshan signallar bo’lgani, noravshan nazoratchi ma’lumotlar noravshan to’plamlar asosida qayta ishlagani uchun ravshan signallarni noravshanga aylantirish kerak. Buning uchun quyidagi fazzifikasiya operatoridan foydalaniladi:

$$F = fuzzifier(e_0) . \qquad (4.11.1)$$

Bu yerda e_0 - sistemadan yetib keluvchi ravshan signal, F- noravshan to’plam, fuzzifier- fazzifikasiya operatori.

Fazzifikasiyaning quyidagi asosiy yo’llari mavjud.

- fazzifikator ravshan qiymatni noravshan singltonga aylantiradi. Kiruvchi signal e_0 nolga teng $\mu_A(e)$ tegishlilik funksiyali noravshan to’plamga o’tadi, e_0 nuqtada tegishlilik funksiyasi 1 ga teng;

- Agar ma’lumotlar tasodifiy shovqin bilan yetib kelsa, u holda fazzifikator ehtimolli ma’lumotlarni noravshanlarga aylantiradi;

- agar o’lchov natijalari ikkala ehtimolli va imkoniyatli noravshanliklar bilan xarakterlansa, fuzzifier operatori “gibrid son” qonunidan foydalanadi.

Ma’lumotlar bazasini noravshan boshqaruv tizimlarida loyihalashtirish universumni diskretlashtirish, normallashtirishni, kirish va chiqishlar fazosini noravshan bo’lish, noravshan to’plamlarning tegishlilik funksiyasini aniqlashni o’z ichiga oladi.

Universumni diskretlashtirish uchun signallarning o’lchangan qiymatlarini diskretlashtirilgan universumning qiymatiga almashtiruvchi shkalashtirish amalga oshirilishi kerak. Kvantlashtirish darajasini tanlash bilimning apriori bilan bog’liq. Noravshan nazoratchi quyidagi turdagi sozlash qoidalariga ega bo’lsin

R_i: AGAR e_i A_i VA e_i' B_i BO’LSA U HOLDA u C_i DIR

Noravshan nazoratchiga soda misol quyidagicha tasvirlanishi mumkin

$$K_3[U(K)] = F[K_1 e(K), K_2 e'(K)]$$

Bu yerda F – bilimlar bazasi bilan aniqlanuvchi noravshan munosabat: $K_i, i=\overline{1,3}$ masshtablashtirish koeffitsiyentlari.

4.11.1 jadvalda yettita termli 13 bosqichli universumni diskretlashtirishga misol keltirilgan [5].

Universumning normallashuvi oxirgisini har biri normallangan universumning mos oralig’iga akslanuvchi chekli sondagi segmentlarga diskretlashtirish bilan bog’liq. 4.11.2-jadvalda [-1,1] normallangan oraliqqa transformasiyalanuvchi [-6.0,+4,5) universumning normallashuvi keltirilgan [5].

4.11.1-jadval

Daraja	Oraliq	ОБ	ОС	ОМ	Nol	ПМ	ПС	ПБ
-6	$x_0 \le -3{,}2$	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-5	$-3.2 < x_0 \le -1.6$	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-4	$-1.6 < x_0 \le -0.8$	0.3	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
-3	$-0.8 < x_0 \le -0.4$	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
-2	$-0.4 < x_0 \le -0.2$	0.0	0.3	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0
-1	$-0.2 < x_0 \le -0.1$	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0
0	$-0.1 < x_0 \le +0.1$	0.0	0.0	0.3	1.0	0.3	0.0	0.0
1	$+0.1 < x_0 \le +0.2$	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0
2	$+0.2 < x_0 \le +0.4$	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.3	0.0
3	$+0.4 < x_0 \le +0.8$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0
4	$+0.8 < x_0 \le +1.6$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.3
5	$+1.6 < x_0 \le +3.2$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7
6	$3.2 \le x_0$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0

Noravshan bo’linish term-to’plamda ishtirok etadigan termlar sonini aniqlaydi. Kirishlar fazosining term-to’plami quvvati bilimlar bazasida sozlashning noravshan qoidalarining maksimal sonini aniqlaydi. Odatda muqobil noravshan bo’linishni tanlash uchun sinov va xatoliklarning evristik prosedurasidan foydalniladi.

Birlamchi noravshan to’plamning tegishlilik funksiyasini universumning turiga qarab aniqlashning ikkita usuli mavjud: sonly va funksional.

Birinchi holda, noravshan to’plam tegishlilik funksiyasining darajasi o’lchami diskretlashtirish darajasiga bog’liq sonli vektor ko’rinishida tasvirlanadi. Bunda tegishlilik funksiyasining ko’rinishi quyidagicha

$$\mu_A(u) = \sum_{i=1}^{n} a_i / u_i .$$

4.11.2-jadval

Normallashuv va funksional ta'rifdan foydalanuvchi birlamchi noravshan to'plamlar

Normallashtirilgan universum	Normallashtirilgan oraliqlar	Oraliq	u_j	σ_j	Birlamchi noravshan to'plamlar
[-1.0,+1.0]	[-1.0,-0,5] [-0.5,-0,3] [-0.3,-0.0] [-0.0,+0.2] [+0.2,+0.6] [+0.6,+1.0]	[-6.9,-4.1] [-4.1,-2.2] [-2.2,-0.0] [-0.0,+1.0] [+1.0,+2.5] [+2.5,+4.5]	-1.0 -0.5 -0.2 0.0 0.2 0.5 1.0	0.4 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.4	ОБ ОС ОМ НОЛЬ ПМ ПС ПБ

Ikkinchi holda noravshan to'plamlarning tegishlilik funksiyalari qo'ng'iroqsimon, uchburchaksimon, trapetsiyasimon kabi ma'lum bir funksional shaklga ega. Bunday funksiyalardan noravshan mantiqiy nazoratchi (NMN) da foydalaniladi, chunki ular o'z-o'zini noravshan arifmetika orqali boshqara oladilar.

3. Bilimlar bazasi.

Noravshan shartli mulohazalar ko'rinishida ifodalanuvchi noravshan boshqaruv qoidalarining majmui qoidalar bazasi yoki NMN qoidalar majmuini hosil qiladi.

MB ni loyihalashtirish uchun holat o'zgaruvchilari (kiruvchi parametrlari) va boshqaruv o'zgaruvchilari (chiquvchi o'zgaruvchilar), noravshan qoidalar turlarining manbaini aniqlash kerak. Noravshan qoidalarni olishning 4 ta rejimi mavjud [5,6].

а) Boshqaruvning noravshan qoidalari holat o'zgaruvchilarini antesendetda va boshqaruv o'zgaruvchilarini konsekventlarda o'lchovchi noravshan shartli mulohazalar shakliga ega.

Boshqaruvning noravshan qoidalarini shakllantirish ikkita evristik yondashuv orqali olib borilishi mumkin. Eng umumiyrog'I insoniyat ekspertizasining shakllangan ko'rinishidan foydalanadi. Bunday shakllantirishning an'anaviy misoli texnologik jarayonni boshqarishning yo'riqnomalaridir. Boshqa yondashuv tajribali ekspertlarning so'rovi yoki sinchkovlik bilan tayyorlangan so'rovlarga asoslangan operatorlarni o'z ichiga oladi.

б) Operatorning boshqaruv amallari.

Berilgan holda noravshan qoidalar insonning boshqaruv faoliyati va kirish-chiqish aloqasini aniqlashdagi kuzatuvlardan keltirib chiqarilishi mumkin.

в) Jarayonning noravshan modeli.

Lingvistik yondashuvda boshqariluvchi jarayon dinamik tavsiflarining lingvistik ta'rifi jarayonning noravshan modeli sifatida qabul qilinishi mumkin. Noravshan modelga asoslangan holda biz dinamik tizimning muqobil funksionallashuvini qo'llab-quvvatlovchi noravshan boshqaruv qoidalar tarmog'ini generasiyalashimiz mumkin.

г) Ta'limot.

O'z-o'zidan tashkil etiluvchi nazoratchilar [5,7] yordamida NLK ning MB ni shakllantirish mumkin. Bunday nazoratchilar ikkita qoidalar bazasidan iborat ierarxik tuzilmaga ega. Birinchi baza- NLK qoidalarining umumiy qoidalar bazasi. Ikkinchisi butun tizimning funksionallashuvi asosida umumiy qoidalar bazasini yaratish va o'zgartirishga ko'niktirishning odamsimon qobiliyatini namoyon qiladi.

Zamonaviy ta'limot yondashuvlari, xususan neuro-fuzzy, genetic yondashuvlar bilim olishga va NLK MB ni muqobillashtirishga imkon beradi.

Tizimlarning NLK sini qurishda boshqarishning ikkita turdagi noravshan qoidalaridan foydalaniladi. Ko'pgina NLK larga nisbatan ko'pgina kirishli va bitta chiqishli tizimga nisbatan qo'llaniluvchi noravshan qoidalarning ko'rinishi quyidagicha

AGAR x_1 A_{11} VA x_2 AGAR $A_{12} \ldots$ VA x_n A_{1n} BO'LSA U HOLDA y B_1 dir

HAMDA

AGAR x_1 A_{21} VA x_2 $A_{22}\dots$ VA x_n A_{2n} BO'LSA U HOLDA y B_2 BO'LADI

……………………………………………………………………

HAMDA

AGAR x_1 A_{m1} VA x_2 $A_{m2}\dots$ VA x_n A_{mn} BO'LSA, U HOLDA y B_m BO'LADI

Bu yerda $x_1, x_2,..., x_n$ jarayonning holat va boshqaruv o'zgaruvchilarini aks etuvchi lingvistik o'zgaruvchilar; $A_{i1},..., A_{in}$ va B_i - $x_1, x_2,..., x_n$ o'zgaruvchilarning mos ravishda U,V va W universumlardagi lingvistik qiymatlari.

Ko'pincha boshqaruv noravshan qoidalarning quyidagi shaklidan foydalaniladi (TSK-modeldan foydalangan holda)

R_i : AGAR x_{i1} A_{i1} VA x_{in} A_{in} BO'LSA U HOLDA $y = f_i(x_1,..., x_n)$.
(4.11.3)

Bunday turdagi noravshan boshqaruv qoidalari ko'pincha " holatni baholash asosida noravshan boshqaruv qoidalari" deb atalib, t vaqt momentidagi jarayon holati (masalan, holat, holat xatoligi, holatning integrali) ni $(x_1, x_2,..., x_n, y)$ funksiya va boshqaruv qoidalari sifatida baholaydi.

"Obyektni baholash asosida noravshan boshqaruv" yoki "predikativ noravshan boshqaruv" larda qo'llaniluvchi boshqa turdagi qoidalar quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

R_i : AGAR (u C_i $\rightarrow$ (x A_i VA y B_i BO'LSA U HOLDA u C_i dir)).
(4.11.4)

Boshqaruv buyrug'I zaruriy holat va maqsadlarni qanoatlantiruvchi noravshan boshqaruv natijalarini obyektiv baholashdan keltirib chiqariladi. U boshqaruv buyrug'I o'zining qiymati sifatida ravshan to'plamni qabul qiladi va x,y i-qoidani "yaxshi" yoki "yomon" qiymat yordamida baholashning sifat mezonlari hisoblanadi. Eng mos boshqaruv qoidasi har bir boshqaruv qoidasi C_i ga mos (x,y) natijalarni bashoratlash asosida tanlanadi.

4. Chiqarish mexanizmi.

Noravshan nazoratchilarning yadrosi chiqarish mexanizmidir. Noravshan regulyatorlarning chiqarish mexanizmi 10 bobda ko'rib chiqilgan noravshan implikasiyaga asoslanadi. Quyidagi ta'riflarga to'xtalib o'tamiz [5].

Uchburchaksimon norma. Uchburchaksimon norma* -[0,1] dagi $[0,1]\times[0,1]$ dan tarkib topgan ikki o'lchovli funksiya, ya'ni $*:[0,1]\times[0,1]\to[0,1]$, keishma, algebraic ko'paytma, chegaralangan ko'paytma va qat'iy (drastic) ko'paytma (3.3 ga qarang) ni o'z ichiga oladi. Eng katta uchburchaksimon norma- kesishma, eng kichigi esa- qat'iy (drastic) ko'paytma. Uchburchaksimon normalar bilan bog'liq amallar barcha $x, y\in[0,1]$ lar uchun aniqlangan:

Kesishma $x\wedge y=\min(x,y)$

Algebraik ko'paytma $x\cdot y=xy$

Chegaralangan ko'paytma $x\otimes y=\max\{0,x,y-1\}$

Qat'iy (drastic) ko'paytma $x\cap y=\begin{cases}x, & y=1\\ y, & x=1\\ 0, & x,y<1\end{cases}$

Uchburchaksimon konorma. Uchburchaksimon konorma +- bu [0,1] dan olingan $[0,1]\times[0,1]$ iborat uchburchaksimon konorma, ya'ni $+:[0,1]\times[0,1]\to[0,1]$ kesishma, algebraic yig'indi, chegaralangan yig'indi, qat'iy (drastic) va dizyunktiv yig'indini (3.3 ga qarang) o'z ichiga oladi. Uchburchaksimon konormalar bilan bog'liq barcha amallar barcha $x, y\in[0,1]$ lar uchun aniqlangan:

Birlashma $x\vee y=\max(x,y)$

Algebraik yig'indi $x\hat{+}y=x+y-xy$

Chegaralangan yig'indi $x\oplus y=\min(1,x+y)$

Qat'iy (drastic) yig'indi $x\cup y=\begin{cases}x, & y=0\\ y, & x=0\\ 0, & x,y>0\end{cases}$

Dizyunktiv yig'indi $x\cap y=\max\{\min(x,1-y),\min(1-x,y)\}$

Uchburchak normalar taxminiy mulohazalarda konyunksiyalarni aniqlash uchun qo'llaniladi, ayni vaqtda uchburchaksimon konormalar dizyunksiyani aniqlash uchun xizmat qiladi.

Noravshan konyunksiya. Norvashan konyunksiya barcha $u\in U$ va $v\in V$ larga nisbatan

$$A\to B=A\times B=\int_{U\times V}\mu_A(u)*\mu_B(v)/(u,v),$$

Yordamida aniqlanadi, bu yerda * - uchburchaksimon normani aks etuvchi amaldir.

Noravshan dizyunksiya. Noravshan dizyunksiya barcha $u\in U$ va $v\in V$ larga nisbatan

$$A \to B = A \times B = \int_{U \times V} \mu_A(u) + \mu_B(v) /(u,v),$$

Yordamida aniqlanadi, bu yerda + - uchburchaksimon konormani akslantiruvchi operator.

Ifodalarni birlashtirish operatorlari “va”, “hamda”.

Ko’pgina NLK larda “va” bog’lovchisi qayd etilgan o’zgaruvchilar har xil universumlarda qiymat qabul qiluvchi kartezian ko’paytma fazosida noravshan konyunksiya sifatida qo’llaniladi. Agar noravshan tizim boshqaruvning noravshan qoidalari to’plami bilan xarakterlansa, qoidalarning tartibi ahamiyatga ega emas. Shu tufayli, “hamda” bog’lovchisi kommutativlik va assotsiativlik xossalariga ega bo’lishi kerak.

Bu borada uchburchaksimon norma va konormalardagi operatorlar shu xossalarga ega bo’lib, “hamda” bog’lovchisini qayd etishda nomzod sifatida baholanadi. Umuman olganda, uchburchaksimon konormalarni noravshan konyunksiyalar va dizyunksiyalar bilan, uchburchaksimon normalarni esa noravshan implikasiya bilan birgalikda qo’llash maqsadga muvofiqdir.

Kompozitsiya operatori.

Umumiy holda kompozitsiya operatori “sup-star” sifatida ifodalanishi mumkin, bu yerda “star” ma’lum bir qo’llanishga to’g’ri keluvchi min, ko’paytirish va h.k kabi operatorni ifodalaydi. Adabiyotda xulosaning kompozitsion qoidasiga nisbatan 4 turdagi kompozitsiya operatorlaridan foydalaniladi:

sup-min amali[8];

sup-ko’paytma amali [9];

sup-chegaralangan ko’paytma amali [10];

sup-qat’iy ko’paytma amali [10].

Yuqorida bayon etilganlarni umumlashtirib, chiqarish mexanizmining amallar bosqichlari ketma-ketligini ifodalash mumkin [5].

1) Har bir kiruvchi o’zgaruvchining joriy ravshan qiymatini qoidalarning shartli qismlarida shu o’zgaruvchining tegishlilik funksiyasi bilan solishtirish asosida o’zgaruvchining har bir lingvistik termga tegishlilik darajasini aniqlash. (Ushbu bosqich ko’pincha fazzifikasiya deb ataladi).

2) Faollashtirish kuchi (firing strength) ni aniqlash maqsadida har bir qoida shartli qismining tegishlilik darajasini kombinatsiyalash (maxsus T-norm operator, odatda ko’paytma yoki min yordamida).

3) Har bir qoidaning natijasi (noravshan yoki ravshan) ni faollashtirish kuchiga qarab generatsiyalash. Chiqarish mexanizmlarning quyidagi uchta turi misolida noravshan chiqarish prosedurasini ko'rib chiqamiz [11].

1-tur. Har bir faollashtirilgan qoidaning chiqishi faollashtirish kuchi (tegishlilik darajasining ko'paytmasi yoki minimum) va mos qoida o'ng qismining tegishlilik funksiyasi asosida aniqlanadi. Bu sxemada qo'llanilgan chiqishlarning chiquvchi tegishlilik funksiyalari monoton bo'lishi kerak [12].

2-tur. Umumiy noravshan chiqarish har bir qoidaning noravshan chiqishlariga nisbatan max amalini qo'llash asosida keltirib chiqariladi. Har bir chiqarish faollashtirish kuchining minimum va har bir qoida o'ng qismining tegishlilik funksiyasi bilan aniqlanadi. Bir qator sxemalar noravshan chiqarish asosida natijaviy ravshan chiqarishni aniqlash maqsadida taklif etilgan. Ular qatoriga, yuzaning markazi, yuzaning bisektori, maksimumning markazi, maksimum mezoni kiradi [5,13].

3-tur Takagi va Sugenoning AGAR-U HOLDA noravshan qoidalaridan foydalaniladi. Har bir qoidaning xulosasi- chiquvchi o'zgaruvchilarning chiziqli yoki nochiziqli kombinatsiyasi plyus o'zgarmas, yakuniy chiqish esa- har bir qoida chiqishlarining "o'lchangan o'rtachasidir".

Bunda bilimlar bazasi quyidagi ko'rinishda deb olinadi

AGAR x A_1 VA y B_1 BO'LSA, U HOLDA z C_1 DIR

AGAR x A_2 VA y B_2 BO'LSA, U HOLDA z C_2 DIR

(4.11.5)

(birinchi ikkitasiga nisbatan)

AGAR x A_1 VA y B_1 BO'LSA, U HOLDA $z_1 = ax + by + c$

AGAR x A_2 VA y B_2 BO'LSA, U HOLDA $z_2 = px + qy + r$

(4.11.6)

(uchinchisiga nisbatan)

5. Defazzifikasiya.

Defazzifikasiya. Defazzifikasiya- mavjud noravshan boshqaruvchi ta’sirlar fazosidan ravshan boshqaruvchi ta’sirlar fazosiga akslantirishdir.

Ayni vaqtda eng ko’p qo’llaniluvchi strategiyalar maksimum mezoni, maksimum o’rtasi (MO’) va sohaning markazi (SM) dir.

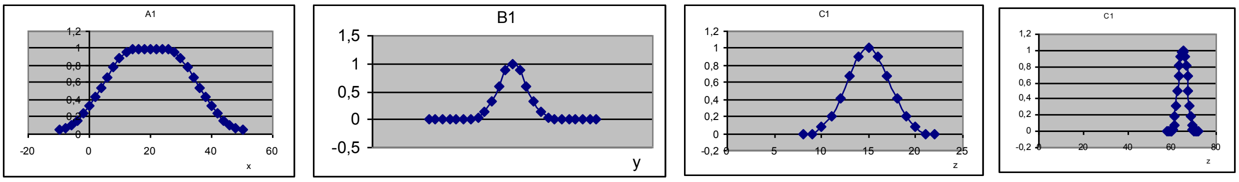
Maksimum mezoni boshqaruvchi ta’sirning imkoniyatlar taqsimoti maksimal qiymatga erishadigan nuqtani aniqlaydi.

4.11.2-rasmda chiqarish mexanizmining yuqorida qayd etilgan turlarning uchta turiga nisbatan noravshan mantiqiy chiqarish natijalari keltirilgan.

Shartli qism   Konsekvent qism

1-tur

2-tur



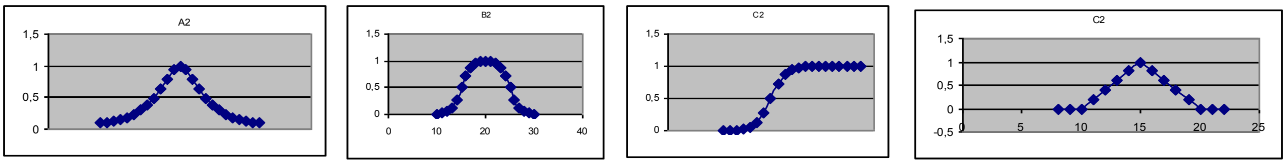
3-tur

$z_1 = ax + by + c$

Shartli qism   Konsekvent qism

1-tur

2-tur



3-tur

$z_2 = px + qy + r$

O’lchangan o’rta $z = \dfrac{w1 \cdot z1 + w2 \cdot z2}{w1 + w2}$

4.11.2-rasm. Norvshan chiqarish mexanizmining geometrik tasviri

CM – strategiya har bir noravshan boshqaruvchi ta'sir tegishlilik funksiyasining maksimal qiymati bo'yicha hisoblanuvchi barcha local boshqaruvchi ta'sirlarning o'rtacha qiymatini ifodalovchi boshqaruv amallarini generatsiyalaydi. Xususan, diskret holda boshqaruvchi ta'sir quyidagicha ifodalanishi mumkin

$$z_0 = \sum_{j=1}^{l} \frac{W_j}{l}, \tag{4.11.7}$$

Bu yerda w_j - $\mu_z(W_j)$ tegishlilik funksiyasi maksimal qiymatga erishadigan qiymat tashuvchisi va l- bunday qiymat tashuvchilarining soni.

Keng qamrovli MO strategiyasi natijaviy boshqaruvchi ta'sir imkoniyatlar taqsimotining og'irlik markazini generatsiyalaydi. Diskret universum holida bu usul ko'pincha quyidagiga olib keladi:

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^{n} \mu_z(W_j)W_j}{\sum_{j=1}^{n} \mu_z(W_j)}, \tag{4.11.8}$$

Bu yerda n – chiqishlarni kvantorlash bosqichlari soni.

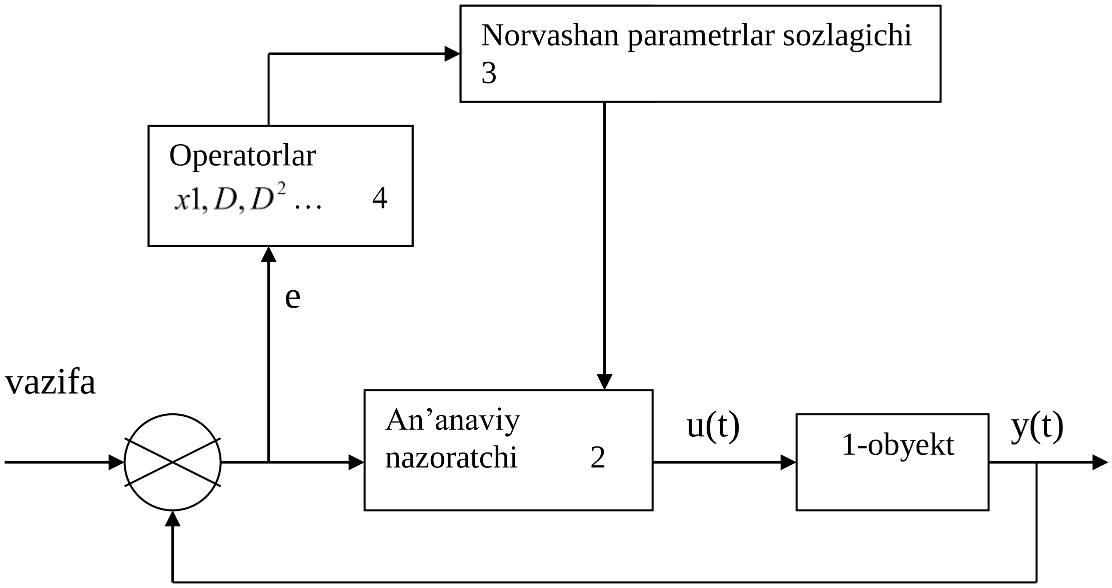
[5] da defazzifikasiyalash usullarining solishtirma bahosi keltiriladi. MO-usuli afzalroq natijalarni beradi.

Lekin, SM-strategiya eng yaxshi o'tish jarayonini beradi, ayni vaqtda SO-strategiya eng yaxshi strategic aniqliklikka olib keladi.

MO ga asoslangan NLK SM ga asoslangan NLK ga nisbatam kichikroq o'rtakvadratik xatolikni ko'rsatadi [15]. O'z navbatida SM-strategiya umumiy holda maksimum mezoni strategiyasiga qaraganda yaxshiroq natijalarni beradi.

4.11.2. Noravshan gibrid nazoratchi

4.11.4-rasmda an'anaviy nazoratchilar parametrlarini noravshan sozlash sxemasiga asoslangan gibrid boshqaruv tizimining tuzilmasi keltirilgan.



4.11.4-rasm. Nazoratchi parametrlarini noravshan sozlash sxemasi

1-obyekt 2-an'anaviy nazoratchi (xususan-PID-nazoratchi) tomonidan boshqariladi, uning parametrlari 3 noravshan sozlagich tomonidan 4 blokdan olinadigan xatolik to'g'risidagi axborot asosida generatsiyalanadi.

Noravshan sozlagich ishining mazmuni nazoratchining parametrlarini haqiqiy rejimda noravshan qoidalar va noravshan xulosa bazasidan foydalangan holda sozlashga asoslanadi. Umumiylikni buzmagan holda, PID-nazoratchini o'z ichiga olgan tizimni sintezlash prosedurasi ko'rib chiqiladi. PID-nazoratchining diskret algoritmi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$u(k) = K_P e(k) + K_1 T_S \sum_{i=1}^{n} e(i) + \frac{K_d}{T_S} \Delta e(k), \tag{4.11.9}$$

bu yerda u(k) – boshqaruvchi ta'sir, e(k) – vazifa va obyektning joriy chiqishi o'rtasidagi xatolik, T_S -kvantorlash davri, $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$. K_p, K_I, K_d - parametrlae quyidagi turdagi noravshan qoidalar majmui orqali aniqlanadi

Agar e(k) A_i va $\Delta e(k)$ B_i bo'lsa, U HOLDA $K_p^{'}$ C_i, $K_d^{'}$ D_i

VA $K_i^{'}$ E_i dir.

Bu yerda $K_p^{'}, K_i^{'}, K_d^{'}$ - qidirilayotgan parametrlarning normallashtirilgan qiymatlari.

PID-nazoratchi parametrlarini sozlashning boshqa noravshan qoidalaridan foydalanish mumkin, masalan

Agar e(k) A_i va $\Delta e(k)$ B_i bo'lsa, U HOLDA

$$u(k) = K_{p0}^{i} e(k) + K_{I0}^{i} T_S \sum_j e(j) + \frac{K_{d0}^{i}}{T_S} \Delta e(k), \qquad (4.11.11)$$

bu yerda $K_{p0}^{i}, K_{i0}^{i}, K_{d0}^{i}$ -o'zgarmaslar.

[16] da sozlashning quyidagi noravshan qoidalaridan foydalaniladi

Agar e(k) A_i va $\Delta e(k)$ B_i bo'lsa, U HOLDA $K_p^{'}$ C_i, $K_d^{'}$ D_i dir.

VA $\alpha = \alpha_i, \quad i = \overline{1,m}$, (4.11.12)

bu yerda $\alpha = T_i / T_d$, A_i, B_i, C_i va D_i - noravshan to'plamlar, α_i - o'zgarmas.

(4.11.10)-(4.11.12) noravshan qoidalar tajribaviy bilimlar asosida olinishi mumkin.

Masalan, a_1 atrofidagi noravshan qoidani quyidagicha bayon etish mumkin

AGAR e(k) ПБ va $\Delta e(k)$ NOL bo'lsa, U HOLDA $K_p^{'}$ Б, $K_d^{'}$ M

VA $\alpha = 2$ bo'ladi.

α - ni noravshan singlton sifatida qabul qilish mumkin.

b_1 nuqta atrofida shu kabi mulohazalar orqali quyidagilarga ega bo'lish mumkin

AGAR e(k) NOL va $\Delta e(k)$ OБ bo'lsa, U HOLDA $K_p^{'}$ M, $K_d^{'}$ Б

VA α =5 bo'ladi.

Shu tarzda 4.11.3-4.11.5 jadvallar ko'rinishida tasvirlanuvchi noravshan sozlashlar qoidalari majmui hosil bo'ladi [16].

i-qoidani faollashtirish kuchi μ_i ning chinlik qiymati quyidagicha aniqlanadi

$$\mu_i = \mu_{A_i}[e_k] \wedge \mu_{B_i}[\Delta e_k]. \qquad (4.11.13)$$

μ_i ning hisoblangan qiymatlaridan foydalanib va implikasiya usulini tanlab, har bir qoidaga nisbatan K_p va K_d ni, keyinchalik T_I ni aniqlash mumkin.

Bu yerda MK-manfiy katta, MO’-manfiy o’rta, MKi-manfiy kichkina, MusKi-musbat kichik, MusO’-Musbat o’rta, MusK-musbat katta.

4.11.3-jadval

$K_p^{'}$ ga nisbatan noravshan ta’limot qoidalari

		$\Delta e(k)$						
e(k)		MK	MO’	MKI	NOL	MUSKI	MUSO’	MUSK
	MK	K	K	K	K	K	K	K
	MO’	Kich	K	K	K	K	K	Kich
	MKI	Kich	Kich	K	K	K	Kich	Kich
	НОЛЬ	Kich	Kich	Kich	K	Kich	Kich	Kich
	MUSKI	Kich	Kich	K	K	K	Kich	Kich
	MUSO’	Kich	K	K	K	K	K	Kich
	MUSK	K	K	K	K	K	K	K

4.11.4-jadval

$K_d^{'}$ ga nisbatan noravshan MK qoidalar

		$\Delta e(k)$						
e(k)		MK	MO’	MKI	NOL	MUSKI	MUSO’	MUSK
	MK	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich
	MO’	K	K	Kich	Kich	Kich	K	K
	MKI	K	K	K	K	K	K	K
	NOL	K	K	K	K	K	K	K
	MUSKI	K	K	K	Kich	K	K	K
	MUSO’	K	K	Kich	Kich	Kich	K	K
	MUSK	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich

4.11.5-jadval

α ga nisbatan noravshan MK ta’limot qoidalari

		$\Delta e(k)$						
e(k)		MK	MO’	MKI	NOL	MUSKI	MUSO’	MUSK
	MK	2	2	2	2	2	2	2
	MO’	3	3	2	2	2	3	3
	MKI	4	3	3	2	3	3	4
	NOL	5	4	3	3	3	4	5
	MUSKI	4	3	3	2	3	3	4
	MUSO’	3	3	2	2	2	3	3
	MUSK	2	2	2	2	2	2	2

$K_p^{'}$ quyidagi ko’rinishda aniqlanadi [16]:

$$K_p^{'} = \sum_{i=1}^{m} \mu_i K_{pi}^{'} \qquad (4.11.14)$$

Huddi shu usulda $K_d^{'}$ va α lar topiladi:

$$K_d^{'} = \sum_{i=1}^{n} \mu_i K_{di}^{'}; \qquad \sum_{i=1}^{m} \mu_i \alpha_i . \qquad (4.11.15)$$

Chin normallashtirilmagan $K_p^{'}$, $K_d^{'}$ va α qiymatlar quyidagicha aniqlanadi:

$$K_p = (K_{p\max} - K_{p\min})K_p^{'} + K_{p\min}$$
$$K_d = (K_{d\max} - K_{d\min})K_d^{'} + K_{d\min}$$
$$K_i = K_p^2(\alpha K_d) \qquad (4.11.16)$$

Misol [16]. Boshqaruv obyekti uzatiluvchi funksiya yordamida ta’riflansin

$$G(S) = \frac{4{,}228}{(S+0{,}5)(S^2+1{,}64S+8{,}456)} . \qquad (4.11.17)$$

Kompyuterli simulyatsiya quyidagi tarzda o’tkazilgan. Avvalo xatolik va uning birinchi tartibli hosilasining joriy qiymatlari keltiriladi. So’ngra noravshan chiqarish prosedurasini qo’llagan holda $K_p^{'}$, $K_d^{'}$ va α qiymatlar hisoblanadi. Va nihoyat, (4.11.6) dan foydalangan holda PID-nazoratchining qidiriluvchi parametrlari aniqlanadi.

4.11.3. Noravshan koordinataviy-parametrik moslashuvchi boshqaruv tizimlari

Noravshan to’plamlar nazariyasining paydo bo’lishi boshqaruv nazariyasidagi yangi yo’nalishni aniqlab berdi. Birinchi tadqiqotlar an’anaviy boshqaruv tizimlarda bayon etila olmaydigan noravshan axborotni hisobga olishning real ustuvorliklarini aniqladilar. Bundan tashqari, agar noravshan nazoratchi kiruvchi va chiquvchi interfeyslarga ega bo’lsa, u holda u deyarli ma’lum bir nochiziqli algoritmni amalga oshiruvchi nazoratchiga o’xshash bo’lib qoladi[17,18].

Ushbu paragrfda koordinataviy teskari bog’lanishli noravshan nazoratchi tizimdagi xatolik hisobiga zaruriy boshqaruvni ta’minlamaydigan, hamda jarayon modelining noto’g’ri bo’lishiga olib keluvchi ixtiyoriy usul bilan amaliyotda qo’llaniladi. Bu holda koordinataviy teskari bog’lanishli noravshan nazoratchi, shuningdek parametrli teskari bog’lanishli noravshan nazoratchini o’z ichiga olgan noravshan sistemadan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Ayni vaqtda o’z-o’zidan sozlanuvchi [19] binary [20] va lingvistik o’z-o’zi tashkil etiluvchi [21] boshqaruv tizimlarini loyihalash bo’yicha ko’pgina muhim bosmalar mavjuddir. Bunday tizimlarni loyihalashtirishning ilmiy va uslubiy tamoyillariga asoslangan holda noravshan koordinataviy- parametric boshqaruv tizimlarini sintezlash masalasi yechiladi.

Boshqaruv obyekti xatolik vektori (F) ta’siriga bo’ysungan deb faraz qilinadi, jumladan:

$$\left\|\vec{F}\right\| \le M\ . \tag{4.11.18}$$

Bundan kelib chiqqan holda, hamda obyektni analitik model yordamida ta’riflash qiyin ekanligini hisobga olgan holda, boshqaruv obyekti birinchi tartibli lingvistik (noravshan) model, yoki o’rnatilgan atamashunoslikka rioya etgan holda quyidagi ko’rinishdagi lingvistik qoidalar jadvali (LQJ) orqali ta’riflanadi:

$$\dot{\tilde{X}} = \varphi(\tilde{X},\tilde{U}), \qquad ; \tag{4.11.19}$$

bu yerda $\tilde{X}$ va $\dot{\tilde{X}}$ -mos ravishda obyektning chiqishi va chiqishning o’zgarish tezligining o’zgaruvchilari , $\tilde{U}$ - kirishning noravshan o’zgaruvchisi, φ - eslatib o’tilgan o’zgaruvchilar o’rtasidagi moslikni belgiluvchi nostasionar operator:

Masalan X $\tilde{X}_i$ dir va agar $\tilde{U}$ $\tilde{U}_j$ bo’lsa, u holda $\tilde{X}$ $\tilde{X}_k$ dir, $i=\overline{1,N_1}$,

$j=\overline{1,N_2}$, $k=\overline{1,N_3}$.

$\tilde{X}_i,\tilde{U}_j$ va $\tilde{X}_k$ noravshan o’zgaruvchilarning lingvistik termlariga eksponensial tegishlilik funksiyalari mos kelsin:

$$\mu_i(x(t)) = \exp(-g_{1i}\left|x(t)-\bar{x}_i\right|), \quad i=\overline{1,N_1},$$
$$\mu_j(u(t)) = \exp(-g_{2j}\left|u(t)-\bar{u}_j\right|), \quad j=\overline{1,N_2},$$
$$\mu_k(\dot{x}(t)) = \exp(-g_{3k}\left|\dot{x}(t)-\bar{\dot{x}}_k\right|), \quad k=\overline{1,N_3},$$

bu yerda $\dot{x}(t), u(t)$ va $x(t)$ - mos lingvistik o’zgaruvchilarning bazali o’zgaruvchilari; g_{1i}, g_{2j} va g_{3k} noravshan to’plamning ma’lum bir α-darajasi (berilgan holda α=0,5) ni berish orqali aniqlanadi; $\bar{x}_i,\bar{u}_j$ va $\bar{\dot{x}}_k$ - tegishlilik darajasi birga teng bo’lgan mos to’plamlarning elementlari.

Obyektni birinchidan yuqori tartibli model yordamida ta’riflash holida TLP ni jadvallar qatoriga dekompozitsiyalash mumkin. (4.11.19) dagi $\tilde{U}$ quyidagi tarzda ifodalanishi mumkin [51]:

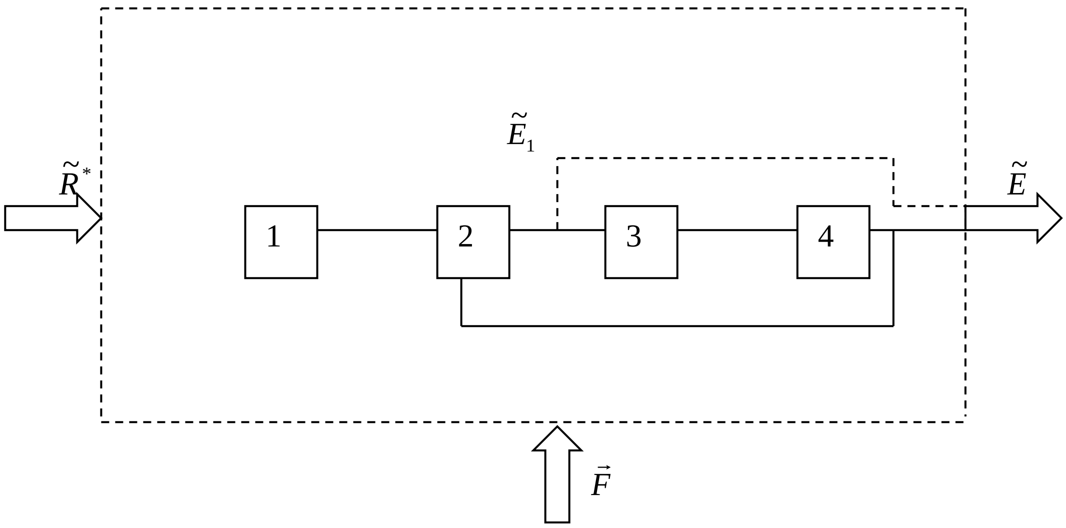
$$\tilde{U} = f(\tilde{U}_0,\tilde{R}),$$

bu yerda $\tilde{U}_0$ -koordinataviy boshqaruv konturida noravshan sozlagich chiqishining lingvistik o'zgaruvchisi, $\tilde{R}$ - moslashuvning, ya'ni parametric boshqaruv konturining lingvistik o'zgaruvchisi:

$$\tilde{R} = \psi(\tilde{X}, \tilde{\dot{X}}, \tilde{M}) .$$

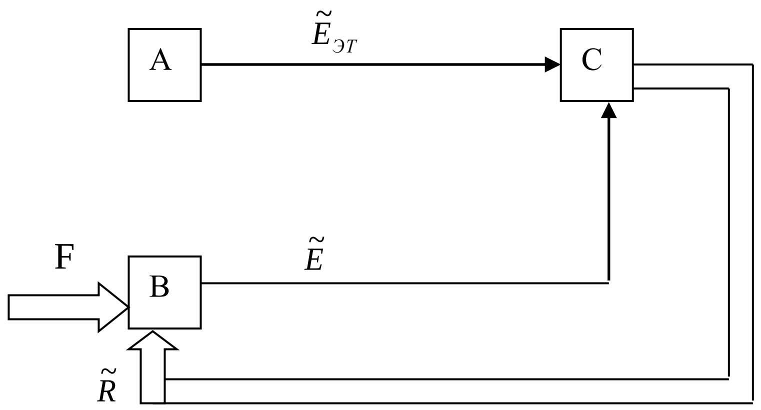
Masalaning mazmuni zaruriy sifatini ta'minlovchi $\tilde{U}$ ni aniqlashdan iboratdir, xususan $t \to \infty$ da $\tilde{E} \to 0$.

Umumlashgan noravshan sozlanuvchi obyekt tushunchasini kiritamiz, uning ostida koordinataviy boshqaruvning berk tizimini tushunamiz (4.11.8)-rasm. Tizimning tarkibiga quyidagilar kiradi: 1-belgilovchi; 2-solishtirish qurilmasi; 3- noravshan koordinataviy boshqaruv sozlagichi; 4-boshqaruv obyekti; $\tilde{R}$ va $\tilde{E}$ - mos ravishda parametrik boshqaruv va xatolik moslashuvlarining noravshan vektorlari.



4.11.8-rasm. Umumlashgan noravshan sozlanuvchi obyektning tuzilmasi

U holda noravshan SAU ning tuzilmaviy sxemasini (4.11.9-rasm) ko'rinishida tasvirlash mumkin. Bu yerda A- tizim etalon harakatining belgilagichi; B- umumlashgan noravshan sozlanuvchi obyekt; C – haqiqiy va etalon xatolik signallarini solishtirish qurilmasi va koordinataviy boshqaruv va obyekt parametrlarini sozlovchi "parametric boshqaruv regulyatori" ni o'z ichiga olgan parametrik boshqaruv qurilmasi [22,23].



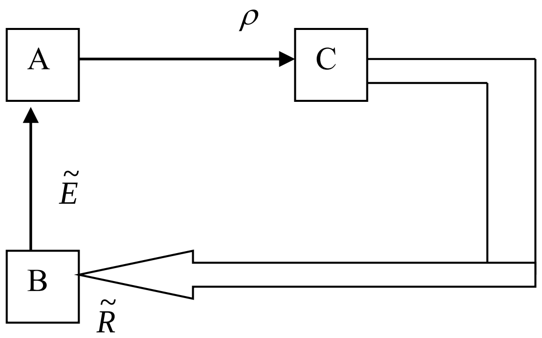
4.11.9-rasm. Noravshan SAU ning tuzilmaviy sxemasi

[20] dagi kabi koordinataviy va parametrik boshqaruv konturlarini ajratib, yoki boshqa so'z bilan aytganda koordinatviy va operativ teskari bog'lanishlarni aniqlab, 4.11.9-rasmda keltirilgan tizimni ikki turdagi bog'lanishni amalga oshiruvchi noravshan koordinataviy-parametrik SAU sifatida qabul qilish mumkin. Bunda A qurilma qabul qilingan atamashunoslikka binoan operatorli- koordinataviy qatorni, C esa- koordinataviy- operatorli turdagi qatorni qabul qiladi. Etalonli harakat (A blok) belgilachining mavjud amalga oshirilishlarini ko'rib chiqamiz. U xatolik vektorining o'zgarish dinamikasini yoki vaqt funksiyasi, yoki differensial kiritish ko'rinishida ifodalanishi, funksional bog'lanishlar esa lingvistik shkalalardagi mosliklar ko'rinishida, yoki noravshan munosabatlar ko'rinishida aniqlanishi mumkin. Boshqa yondashuv istalgan sohani fazali fazoda berish bilan bog'liqdir; bunda istalgan sohaning ko'rinishi amaliy mulohazalar asosida aniqlanadi. Bizning tadqiqotlarimizni fazali fazo lingvistik bo'lgan holni ko'rib chiqish bilan chegaralaymiz. Bunday holatda har bir o'q bo'ylab chekli termlar majmui ajartiladi va fazo chekli sondagi "nuqtalar" dan iborat diskret ko'rinishda bo'ladi, bu fazoning quvvati esa quyidagiga teng bo'ladi :

$$CardG = \prod_{i=1}^{n} CardG_i,$$

bu yerda G_i - i-o'q bo'ylab termlar to'plami. 4.11.9-rasmdagi sxema quyidagi ko'rinishga o'tadi (4.11.10-rasm), bu yerda $\vec{\varepsilon}^*$ - xatolikning lingvistik vektori (tasvirlanuvchi nuqtaning koordinatalari– $(\varepsilon, \varepsilon^*, ..., \varepsilon^{(n)})$); ρ - operatorli signal, ya'ni tasvirlanuvchi nuqtadan istalgan sohaning chegaralarigacha bo'lgan "masofa" ni baholovchi funksional; C –

moslashuv bloke, ya’ni parametrli boshqaruvning “noravshan sozlagichi”.



4.11.10-rasm. Noravshan koordinataviy- parametrik SAU ning tuzilmasi

Ikki o’lchovli hol uchun chegaraviy to’plamlar berilgan belgilagichning lingvistik fazali fazo TLP ko’rinishida tasvirlanishi mumkin (4.11.6-rasm). O belgi bilan jadvalda tez sodir bo’ladigan o’tish jarayoniga mos nuqtalar belgilangan, * belgi esa- istalgan o’tish jarayonlar ichida eng sekiniga mos keluvchi nuqtalar. Har bir o’qning lingvistik termlari tartiblanganlik xossasiga ega bo’lganligi uchun, ularga natural sonlar ketma-ketligini mos qo’yish mumkin(4.11.6-jadval). Birinchisi komponentasi qo’zg’almas deb olingan vektorlar uchun tartib munosabatini aniqlaymiz:

$$(S_i, T_1) < (S_i, T_2) < \ldots < (S_i, T_j) < \ldots < (S_i, T_k)\,,$$

agar

$$T_1 < T_2 < \ldots < T_j < \ldots < T_k; \quad i = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, K}\,,$$

bu yerda L va K – mos ravishda term-to’plamlarning quvvati, xatoligi va xatolik o’zgarishining tezligi.

4.11.6-jadval

E								
		MK	MO’r	MKich	NOL	MusK	MUSO’r	MusKich
E^*	MK		O	O				
	MO’r							
	MKich		*	*				
	NOL	*O			*O			*O
	MusK					*	*	
	MusO’r							
	MusKich					O	O	

Birinchisi qo'zg'almas deb olingan holda, eng katta ikkinchi komponentaga ega bo'lgan nuqtalar yuqori chegaraviy nuqtalar, eng kichik ikkinchi komponentali nuqtalar esa- quyi chegaraviy nuqtalar deb ataladi. Agar tasvirlanuvchi nuqta birinchi komponentaga o'xshash c vektorga ega bo'lsa va ikkinchi komponentaning qiymati yuqori chegaraviy nuqtadan katta bo'lsa, u holda o'tish jarayoning sifatini yaxshilash uchun boshqaruv siganlini kamaytirish kerak. Huddi shunday, agar tasvirlanuvchi nuqtaning ikkinchi komponentasi mos quyi chegaraviy nuqtadan kichik bo'lsa, boshqaruv siganilini oshirish kerak. Va nihoyat, vektorlari yuqori va quyi chegaraviy nuqtalarning vektorlari orasida yotgan, yoki ular bilan mos tushgan nuqtalar uchun boshqaruvni o'zgartirish kerak emas, chunki tizimning harakati qoniqarlidir.

Funksiyani aniqlaymiz:

$$SAT(\overline{P}_{ab}) = \begin{cases} -1, & \overline{P}_{ab} \in \Omega_2 \\ 0, & \overline{P}_{ab} \in \Omega_3 \\ 1, & \overline{P}_{ab} \in \Omega_1 \end{cases} \qquad (4.11.20)$$

Bu yerda $\overline{P}_{ab}$ - (a,b) vektorli nuqtani ifodalovchi belgilanish, Ω_1, Ω_2 va Ω_3 esa – boshqaruv, oshirish, kamaytirish va boshqaruvning barqarorlik rejimlarga mos vektorlar to'plamlari. Bu to'plamlarni musbat, manfiy va nol belgilarning to'plamlari deb nomlash mumkin. Oxirgisini shuningdek istalgan to'plam deb atash mumkin. Tasvirlanuvchi nuqtaning istalgan to'plamdan masofasini aniqlash uchun quyidagi ko'rinishdagi funksionalni kiritamiz:

$$\rho(\overline{P}_{ab}, \Omega) = \begin{bmatrix} \min(|a-c| + |b-d|) \\ (c,d) \in \Omega(\overline{P}) \end{bmatrix} SAT(\overline{P}_{ab}), \qquad (4.11.21)$$

Bu yerda

$$\Omega(\overline{P}) = \begin{cases} yuqori\ chegara, & agar \quad SAT(\overline{P}) = 1, \\ quyi\ chegara, & agar \quad SAT(\overline{P}) = -1. \end{cases}$$

Bundan

$\rho = 0$, agar $P_{ab} \in \Omega_3$; $\rho > 0$, agar $P_{ab} \in \Omega_1$; $\rho < 0$, agar $P_{ab} \in \Omega_2$.

Quyidagicha yozib olish mumkin

$$\rho(\overline{P}_{ab}, \Omega) = 0 .$$

Shunday qilib, (4.11.19), (4.11.20) va (4.11.21) ga asoslangan holda parametric boshqaruvning "noravshan boshqaruvchi" si tomonidan ishlab chiqariluvchi to’g’irlovchi-moslashuvchi signalning termlar to’plamini hosil qilish mumkin:

$$R_{ij} = \{r_{ij}, \mu_{ij}(r(t))\}$$

4.11.22)

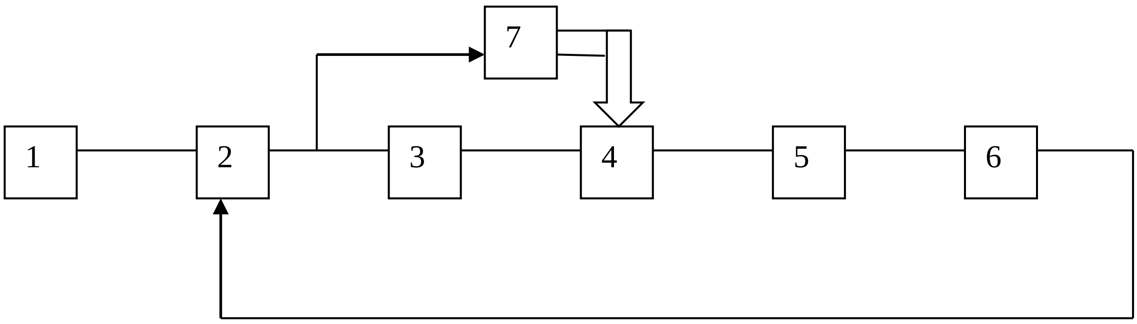
$$r_{ij} = \lambda M \rho(\overline{P}_{ij}, \Omega) \qquad i = \overline{1,k}, \quad j = \overline{1,L}\,.$$

Bu yerda λ -masshtabli koeffitsiyent, K va L – xatolik va xatolik o’zgarish tezliklari term-to’plamlarining quvvatlari. Natijada quyidagi ko’rinishdagi lingvistik qoidalar majmuiga ega bo’lamiz:

Agar E $\tilde{E}_i$ VA agar $\dot{E}$ $\tilde{E}_j$ bo’lsa, U HOLDA R $\tilde{R}_{ij}$ bo’ladi,

ular parametrik boshqaruvning “noravshan sozlagich” konturining TLP ini shakllantiradi.

Va nihoyat koordinataviy-parametrik “noravshan sozlagichli” SAU ning tuzilmasi 4.11.11-rasmdagi kabi ko’rinish qabul qiladi, bu yerda 1-tasdiqlarning belgilagichi; 2 – solishtiruvchi qurilma va mavzuning chiquvchi interfeysi; 3- koordinataviy boshqaruv asosiy konturining noravshan sozlagichi; 4 – lingvistik summator; 5 – tizimning chiquvchi interfeysi; 6 – boshqaruv obyekti; 7 – moslashuv konturi, ya’ni parametric boshqaruvning “noravshan sozlagich” i.



4.11.11-rasm. Koordinataviy- parametric noravshan sozlagichli SAU ning yakuniy tuzilmasi

Natijaviy boshqaruv o’zgaruvchisi u^* quyidagi munosabat orqali aniqlanadi:

$$\tilde{U} = \tilde{U}_0 \oplus \tilde{R}\,,$$

Bu yerda $\oplus$ - lingvistik summator orqali bajariladigan amal belgisi.

Koordinataviy- parametrli boshqaruvli noravshan moslashuvchi SAU neftni qayta ishlashda atmosferaviy blokning temperaturaviy rejimini saqlash uchun qo’llanilgan. Eslatib o’tilgan SAU ining sintezini belgilab bergan ushbu jarayonning ikkita afzalligini eslatib o’tamiz.

1.O’rnatishni normal ekspluatasiya qilish sharoitida jarayonga qayta ishlanadigan hom-ashyoning har xil turda bo’lishi hosdir. Bunda, hom-shyoni o’rnatishga uzatishdan avval, neft har xil konlarda tovarli parkning zahiralarida aralashtiriladi, ya’ni bir xil solishtirma og’irlikda hom-ashyo har xil sifatli tarkibga ega bo’lishi mumkin. Bu holda, o’rnatish operatorlarining boshqaruvchi strategiyasi ko’p jihatdan tarkibni, yetkaziladigan hom-shyo konini, uning xossalarini bilishga qarab aniqlanadi. Bu mulohazalar obyektni lingvistik modellar bilan ta’riflash harakatini aniqlab berdi. Masalan, 4.11.7-jadvalda “sug’orishdagi harajatlar- kolonna uchining temperaturasi” kanali bo’yicha obyekt dinamikasining lingvistik modeli keltirilgan. Bu jadval asosida ishlab chiqarilgan prosedura bo’yicha TLP si 4.11.8-jadvalda keltirilgan noravshan sozlagich sintezlangan.

4.11.7-jadval

<table>
<tr><td colspan="9" align="center">$\tilde{X}$</td></tr>
<tr><td rowspan="8">$\tilde{u}$</td><td></td><td>MK</td><td>MO’R</td><td>MKICH</td><td>NOL</td><td>MUSKI</td><td>MUSO’R</td><td>MUSK</td></tr>
<tr><td>MK</td><td>NOL</td><td>MKICH</td><td>MO’R</td><td>MK</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>MO’R</td><td>MUSKI</td><td>NOL</td><td>MKICH</td><td>MO’R</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>MKICH</td><td>MUSO’R</td><td>MUSKI</td><td>NOL</td><td>MKICH</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>NOL</td><td>MUSK</td><td>MUSO’R</td><td>MUSKI</td><td>NOL</td><td>MKICH</td><td>MO’R</td><td>MK</td></tr>
<tr><td>MUSKI</td><td></td><td></td><td></td><td>MUSKI</td><td>NOL</td><td>MKICH</td><td>MO’R</td></tr>
<tr><td>MUSO’R</td><td></td><td></td><td></td><td>MUSO’R</td><td>MUSKI</td><td>NOL</td><td>MKICH</td></tr>
<tr><td>MUSK</td><td></td><td></td><td></td><td>MUSK</td><td>MUSO’R</td><td>MUSKI</td><td>NOL</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="8" align="center">$\tilde{\dot{X}}$</td></tr>
</table>

4.11.8-jadval.

		$\tilde{E}$						
		MK	MO’R	MKICH	NOL	MUSKI	MUSO’R	MUSK
$\dot{\tilde{E}}$	MK	MK	MK		MUSK			NOL
	MO’R		MK	MUSK	MUSO’R		NOL	MKICH
	MKICH		MUSK	MUSO’R	MUSKI	NOL	MKICH	MO’R
	NOL	MUSK	MUSO’R	MUSKI	NOL	MKICH	MO’R	MK
	MUSKI	MUSO’R	MUSKI	NOL	MKICH	MO’R	MK	
	MUSO’R	MUSKI	NOL		MO’R	MK		
	MUSK	NOL			MK		MK	MK
	$\tilde{U}_0$							

(TLP da quyidagi termlardan foydalangan: MK-manfiy katta, MO’r-Manfiy o’rta, MKich-Manfiy kichik, NOL-nol. Huddi shunday musbat oraliq uchun ham).

2. Texnologik jarayonning sodir bo’lishiga aslida xatolik bo’lgan bir qator omillar o’z ta’sirini ko’rsatadi. Avvalo, o’rnatish mahsuldorligining ko’p marotaba o’zgarishini qayd etish joiz, bu obyekt dinamikasining sezilarli darajada o’zgarishiga olib keladi. Bu hom-ashyoning o’rnatishga nobarqaror yetkazilishi bilan ham, hamda hom-ashyoviy nasoslar ishining nobarqarorligiga va trubalarning gidravlik qarshiligi o’zgarishiga bog’liqdir.

Bayon etilganlardan kelib chiqqan holda, parametric boshqaruv konturi taklif etilgan usul bo’yicha sintezlandi. Sintezlangan TLP 4.11.9-jadvalda keltirilgan. Ko’rib turilganidek, TLP ni uchta zonaga bo’lish mumkin: SAT(P) funskiyasi orqali aniqlangan musbat to’g’irlovchi signal zonasi ($П_i$, $i=\overline{1,9}$), manfiy TLP ning elemntlari (to’g’rilovchi signalning termi) quyidagi tarzda qurilgan:

$$O_i : \mu(r(t)) = \exp(-g|r(t) + r_i|);\ SAT(\overline{P}) = -1;\ i = \overline{1,9};$$

$$П_i : \mu(r(t)) = \exp(-g|r(t) - \bar{r}_i|);\ SAT(\overline{P}) = 1;\ i = \overline{1,9};$$

$$НОЛЬ : \mu(r(t)) = \exp(-g|r(t)|);\ SAT(\overline{P}) = 0\,.$$

4.11.9-jadval

	ε1	ε2	ε3	ε4	ε5	ε6	ε7	ε8	ε9	ε10	ε11	ε12	ε13	ε14	ε15
$\dot{\varepsilon}$1	О4	О3	О2	О1	О2	О3	О4	О5	О6	О7	О8	О9	О8	О7	О8
$\dot{\varepsilon}$2	О3	О2	О1	НО	О1	О2	О3	О4	О5	О6	О7	О8	О7	О6	О5
$\dot{\varepsilon}$3	О2	О1	НО	НО	НО	О1	О2	О3	О4	О5	О6	О7	О6	О5	О4
$\dot{\varepsilon}$4	О1	НО	НО	НО	НО	НО	О1	О2	О3	О4	О5	О6	О5	О4	О3
$\dot{\varepsilon}$5	НО	НО	НО	П1	НО	НО	НО	О1	О2	О3	О4	О5	О4	О3	О2
$\dot{\varepsilon}$6	НО	НО	П1	П2	П1	НО	НО	НО	О1	О2	О3	О4	О3	О2	О1
$\dot{\varepsilon}$7	НО	П1	П2	П3	П2	П1	НО	НО	НО	О1	О2	О3	О2	О1	НО
$\dot{\varepsilon}$8	П1	П2	П3	П4	П3	П2	П1	НО	НО	НО	О1	О2	О1	НО	НО
$\dot{\varepsilon}$9	П2	П3	П4	П5	П4	П3	П2	П1	НО	НО	НО	О1	НО	НО	НО
$\dot{\varepsilon}$10	П3	П4	П5	П6	П5	П4	П3	П2	П1	НО	НО	НО	НО	НО	П1
$\dot{\varepsilon}$11	П4	П5	П6	П7	П6	П5	П4	П3	П2	П1	НО	НО	НО	П1	П2
$\dot{\varepsilon}$12	П5	П6	П7	П8	П7	П6	П5	П4	П3	П2	П1	НО	П1	П2	П3
$\dot{\varepsilon}$13	П6	П7	П8	П9	П8	П7	П6	П5	П4	П3	П2	П1	П2	П3	П4

Hisoblash natijalari $\bar{r}_i, \quad i = \overline{1,9}$ 4.11.10-jadvalda keltirilgan, g=107,3.

4.11.10-jadval

$\bar{r}$1	$\bar{r}$2	$\bar{r}$3	$\bar{r}$4	$\bar{r}$5	$\bar{r}$6	$\bar{r}$7	$\bar{r}$8	$\bar{r}$9
0,045	0,075	0,105	0,135	0,165	0,195	0,225	0,255	0,285

Parametrik boshqaruv konturini qo’llash SAU ning dinamik tavsiflarini yaxshiladi, bunga taklif etilgan tizimni tajribaviy-sanoatli qo’llash natijasida amin bo’lindi.

4.12. Optimal boshqaruv masalalarini yechish muammolari

Mazkur bobda optimal boshqaruv nazariyasida ko'riladigan masalalarning asosiy muammolari keltirib o'tiladi.

1.Boshqaruv obyekti (yoki boshqaruv tizimi)- "rullar" bilan ta'minlangan ma'lum bir model, qurilma, jajaryondir. Rullarni boshqargan holda biz obyektning harakatini aniqlaymiz, ya'ni uni boshqaramiz,

"Rul" so'zi qo'shtirnoqqa olingan, chunki "rul" deganda, albatta qurilma emas, balki ixtiyoriy obyektlar tushuniladi. Masalan, avtomobilning ikkita ruli: baranka va akseleratori bor, boshqaruv resurslari esa g'ildiraklarning maksimal burilish burchagi bilan xarakterlanadi. Boshqaruv obyekti sifatida kimyoviy reaksiyani amalga oshiruvchi texnologik jarayonni qarasak, u holda "rul" vazifasini katalizatorning miqdori, aralashmalarning konsentrasiyasi o'tashi mumkin.

Bizga boshqaruv obyekti berilgan bo'lsin, shuning uchun bizga ham boshqaruv resurslari, ham harakat qonuni ma'lumdir.

Ko'pincha, obyektni boshqarish imkoniyatlari, nafaqat, boshqaruv resurslari bilan chegaralanadi, balki, harakat jarayonida obyekt fizik jihatdan mumkin bo'lmagan vaziyatlarga tushib qolishi kerak emas. Masalan, elektr tizimining ishlashida motorning qizib ketishiga yo'l qo'yish mumkin emas. Bunday cheklanishlar obyektning o'ziga umuman bog'liq emas, ular aniq bir masalaning shartlariga qarab aniqlanadi.

Boshqaruv obyekti bilan ish ko'rganda biz "rul" ni shunday boshqarishga intilamizki, natijada boshlang'ich holatdan istalgan holatga o'tamiz - oldimizda turgan boshqaruv maqsadini amaliyotga tadbiq etamiz. Obyektning boshlang'ich holati ham, boshqaruv maqsadi ham ko'rilayotgan tadbiqiy masalaga bog'liq bo'ladi.

Odatda, obyektni boshqarishning cheksiz ko'p usullari mavjud. Bu borada, boshqaruv maqsadini qanday bo'lsada amalga oshirish masalasi emas, balki, u yoki bu ma'noda, eng yaxshi, ya'ni optimal hisoblangan boshqaruv usulini topish masalasi vujudga keladi. Bunda bizga sifat mezoni kerak bo'lib, u qaysi boshqaruv usuli yaxshiroq, qaysinisi esa yomonroq ekanligi to'g'risida xulosa chiqarishga imkon beradi.

Optimal boshqaruv masalasining mazmuni shulardan iboratdir.

2. Optimal boshqaruv masalasini matematik tilda ifodalaymiz. Buning uchun, muhim boshqaruv obyektlarining sinfiga matematik ta’rif beramiz.

Fiksirlangan vaqt momentidagi holati *n* ta $x^1,...,x^n$ nuqtalar - fazali koordinatalar orqali ta’riflansin. Bu sonlarni $x=(x^1,...,x^n)$ fazali vektorning komponentalari deb olish qulaydir. Shunday qilib, har bir vaqt momentidagi obyekt holatini *n*-o’lchovli R^n Evklid fazosining nuqtasi orqali ta’riflash mumkin.

Obyektning harakati uning fazali koordinatalari vaqt o’tishi bilan o’zgarib borishidan iboratdir, ya’ni fazali vektor *t* ekrli o’zgaruvchining vektor-funksiyasi bo’ladi. $x(t)=(x^1(t),...,x^n(t))$ fazali nuqta obyekt harakati davomida fazali fazoda ma’lum bir egri chiziqli trayektoriyani hosil qiladi. x(t) trayektoriya vaqt bo’yicha uzluksiz funksiya bo’ladi.

R^n fazali fazoda ma’lum bir Ω to’plam - boshqaruv obyekti tushib qolishi mumkin bo’lgan barcha fazali holatlarning majmui berilgan bo’lsin. U holda, obyektning harakati davomida uning $x=(x^1,...,x^n)$ holati har bir vaqt momentida fazali koordinatalarga qo’yilgan cheklanishlar (fazali cheklanishlar*)* deb nomlanuvchi

$$x \in \Omega \tag{4.12.1}$$

shartga bo’ysunishi kerak. Ω berk, fazali trayektoriya esa uning chegarasidan o’tgan hol alohida ahamiyatga sazovordir.

Boshqaruv obyekti *r* vaqt momentida $u^1,...,u^r$ sonlar - boshqaruv parametrlari, ya’ni $u=(u^1,...,u^r)$ boshqaruv vektori orqali xarakterlansin.

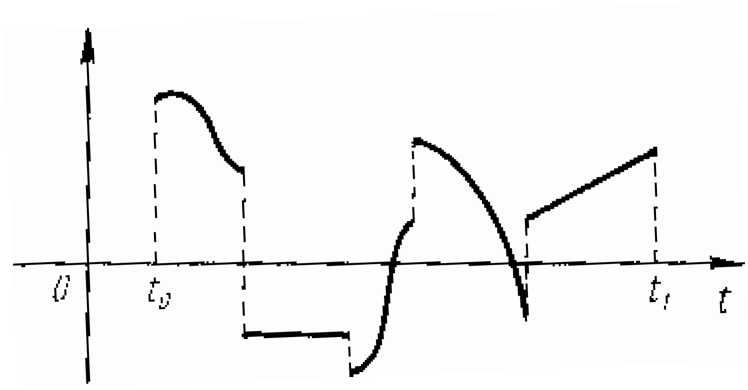
Bosharuv tizimini xarakterlovchi muhim moment mavjud boshqaruvlar to’plamining, ya’ni funksiyalar majmuining ta’rifidir.

U to’plam boshqaruv sohasi deyiladi va ixtiyoriy vaqt momentida $u=(u^1,...,u^r)$ nuqta shu to’plamga tegishli bo’lishi kerak:

$$u \in U\,. \tag{4.12.2}$$

Odatda, *U* soha chegaralangan va berk bo’lgan hol qaraladi.

Boshqaruv sifatida bo’lakli-uzluksiz $u(t)=(u^1(t),...,u^r(t))$ vektor funksiyalar, ya’ni kesmada har bir $u^i(t)$ komponentasi birinchi tur uzilish nuqtalariga ega bo’lgan funksiyalar o’rnatiladi (4.12.1-rasm).



4.12.1-rasm. Birinchi tur uzilish nuqtalariga ega bo'lgan funksiyalar

Agar boshqaruv qiymatlarining sohasiga qo'yilgan (4.12.2) cheklanishlar tabiiy bo'lsa, u holda bo'lakli-uzluksiz funksiyalarning tanlovi to'g'risida bir og'iz so'z aytib o'tish kerak.

Birinchi talab, *u(t)* funksiya uzluksiz bo'lishi kerak. Lekin bunday talab noqulaydir: uzluksiz funksiyalar sinfida ko'rilayotgan optimal boshqaruv yo'q.

Shunday qilib, *u* joiz boshqaruv sifatida vaqt bo'yicha bo'lakli-uzluksiz funksiyalar majmuini qabul qilamiz. Bunday *u(t)* funksiyani joiz boshqaruv deyish tabiiydir:

$$u(t) \in U\,. \tag{4.12.3}$$

Kelgusida, boshqaruv to'g'risida gapirganimizda, har doim joiz boshqaruvlarni tushunamiz:

$$x(t_0) = x_0 = (x_0^1,\dots,x_0^n)\,. \tag{4.12.4}$$

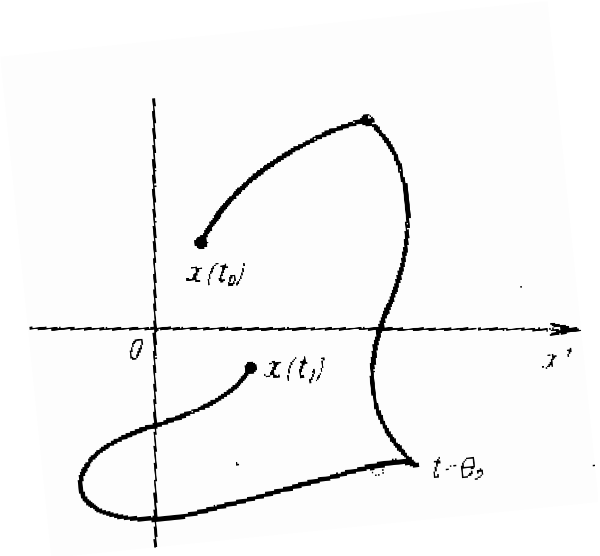
t_0 vaqt momentida (4.12.4) ni boshlang'ich deb hisoblaymiz. Bu yerda va qolgan barcha hollarda

$$\dot{x} = f(x,u) \tag{4.12.5}$$

bo'ladi, bu yerda *f(x,u)* - ma'lum *n*-o'lchovli vektor funksiyadir:

$$f(x,u) = f^1(x^1,..,x^n, u^1,...,u^r),..., f^n(x^1,..,x^n, u^1,...,u^r)),$$

uning ko'rinishi obyektning ma'lum bir xususiyatlari orqali ta'riflanadi.



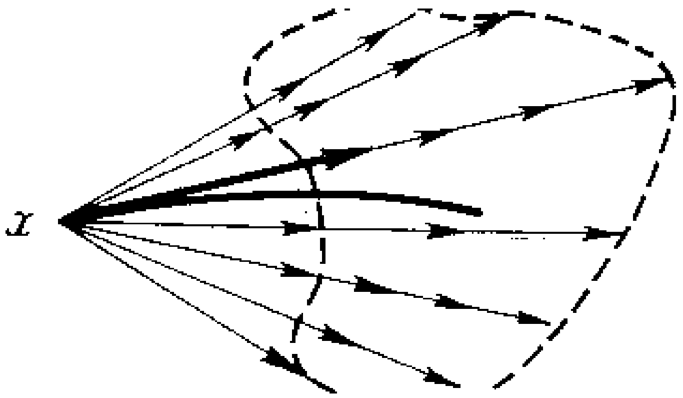
4.12.2-rasm. *n*-o’lchovli vektor funksiya

(4.12.5) munosabatni quyidagi tarzda tushunish kerak: agar $u(t),\, t \geq t_0$ joiz boshqaruv tanlangan bo’lsa, uni (4.12.5) tenglikning o’ng tomoniga qo’yib, sodda differensial tenglamalar tizimiga ega bo’lamiz:

$$\dot{x} = f(x, u(t)). \qquad (4.12.6)$$

Boshqaruv obyektining determinantlashuvi, $u(t),\, t \geq t_0$ boshqaruvning tanlovi $x(t),\, t \geq t_0$ trayektoriyani bir qiymatli aniqlashi kerak. Shunday bo’lishi uchun, *f(x,u)* vektor-funksiya va barcha $\partial f^i / \partial x^j$ xususiy hosilalar argumentlar majmui bo’yicha uzluksiz deb olish yetarlidir. 4.12.2-rasmdagi vektor funksiya *u(t),* $t_0 \leq t \leq t_1$ boshqaruvga mos keladi.

Shunday qilib, joiz boshqaruvga mos keluvchi *(t)* trayektoriya berilgan boshlang’ich shartda uzluksiz, uning hosilasi uzluksiz, uning hosilasi esa - bo’lakli-uzluksizdir. Agar ushbu trayektoriya har bir vaqt momentida (4.12.1) shartni qanoatlantirsa, u holda *(u(t), x(t))* vektor funksiyalar juftligi joiz boshqaruv deyiladi. Ma’lumki *x* qiymat fazali tezlikni anglatadi va *x* nuqtada trayektoriyaga urinib o’tuvchi vektor orqali ifodalanadi. (4.12.3-rasm. Uzuq chiziq bilan shu vektorlar uchlarining to’plami ko’rsatilgan).



4.12.3-rasm. Fazali tezlikvektori

3. Real boshqaruv obyektlarini ko'rib chiqishda, harakatni boshqarish masalasi vujudga keladi. Uni bayon qilish uchun, biz R^n fazoda ma'lum bir M to'plam berilgan deb olamiz.

$u(t), t_0 \le t \le t_1$ (4.12.5) boshqaruv obyektini x_0 holatdan x_1 holatga o'tkazsa, mazkur boshqaruv boshqaruvning maqsadini amalga oshiradi deymiz.

(4.12.5) obyekt harakatining boshqaruv masalasi maqsadni amaliyotga tadbiq etuvchi biror bir joiz boshqaruvni topishdan iboratdir. Boshqa so'z bilan aytganda, $u(t), t_0 \le t \le t_1$ kesmada shunday $u(t) \in u$ funksiyani topish kerakki, bunda (4.12.6) tenglama (4.12.1) shartni, (4.12.4) shartni va quyidagi shartni

$$x(t_1) \in M \qquad (4.12.7)$$

qanoatlantiruvchi *x(t)* yechimga ega bo'lsin.

Demak, boshqaruv masalasi (4.12.5), (4.12.4), (4.12.7)-chegaraviy masalani yechishga olib kelinadi.

Agar M to'plam yagona x_1 nuqtadan iborat bo'lsa, fiksirlangan o'ng uchli masala qaraladi. $M \subset R^n$ to'plam *n* dan kichik o'lchamli ko'p obrazlilikni ifodalaydi.

4. Boshqaruv masalasi cheksiz ko'p yechimlarga ega bo'lgan holni qaraylik- bunda maqsadni amaliyotga tadbiq etuvchi cheksiz ko'p boshqaruvlar berilgan bo'lib, ular shu nuqtai nazardan butunlay teng huquqlidir. Bunda muqobil boshqaruv masalasi qo'yilishi mumkin.

Boshqaruv obyekti va qo'yilgan maqsaddan tashqari, sifat ko'rsatkichi berilgan bo'lib, uni quyidagi ko'rinishda yozib olamiz:

$$J(u)=\int_{t_0}^{t_1} f^0(x,u)dt, \qquad (4.12.8)$$

bu yerda $f^0(x,u)$ - ma'lum skalyar funksiya bo'lib, u barcha $\partial f^0/\partial x^i$ xususiy hosilalar bilan birgalikda uzluksizdir. Har bir sifat ko'rsatkichi har bir $u(t), t_0 \le t \le t_1$ boshqaruvga aniq bir sonni mos qo'yishga imkon beradi: buning uchun (4.12.8) ning o'ng qismiga *u* ning o'rniga *u(t)* ni, *x* ning o'rniga *x(t)* trayektoriyani mos qo'yadi.

(4.12.5) obyektni muqobil boshqarish masalasi (4.12.8) funskional eng kichik qiymatlarni qabul qiluvchi maqsadni amalga oshiradi. Shu masalaning yechimi bo'lgan boshqaruv muqobil, unga mos kelgan trayektoriya esa - muqobil trayektoriya deyiladi.

(4.12.8) funksionalning eng muhim va odatiy holi $f^0(x,u)\equiv 1$ dir. U holda $J(u)=t_1-t_0$, shunday qilib sifat ko'rsatkichi boshqaruv maqsadini amaliyotga tadbiq etuvchi vaqtdir. Muqobil tezkorlik masalasi deb maqsadni minimal vaqt ichida amalga oshiruvchi boshqaruvni izlash masalasiga aytiladi.

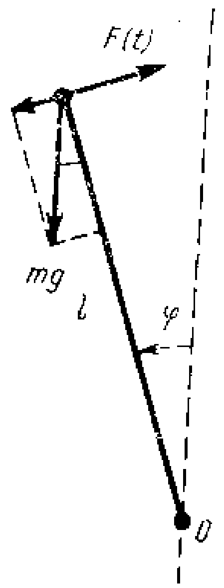
5. Optimal boshqaruv masalasining qo'yilishini tasvirlovchi misollarni keltiramiz.

4.12.1-misol. Matematik mayatnikni muvozanatning yuqori holatiga nisbatan hatti-harakatini ko'rib chiqaylik (4.12.4-rasm). Ishqalanishni hisobga olmaymiz. Agar mayatnikning og'ish burchagi φ yuqori muvozanat holiga nisbatan soat strelkasiga qarama-qarshi yo'nalishda hisoblasak, u holda mayatnik harakatining boshqaruvi quyidagi ko'rinishda yozib olinadi:

$$ml^2\ddot{\varphi}=mgl\sin\varphi.$$

Bu yerda *m* - mayatnikning massasi, *l* - uning uzunligi, *g* - og'irlik kuchining tezlanishi. $\varpi^2=g/l$ belgilashni kiritgan holda ikkinchi tartibli chiziqli tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\ddot{\varphi}-\varpi^2\varphi=0. \qquad (4.12.9)$$



4.12.4-rasm. Matematik mayatnikni muvozanatning yuqori holatiga nisbatan hatti-harakati

Ma’lumki, mayatnik muvozanatining yuqori holati nobarqaror. Bu degani, boshlang’ich holat qanday bo’lishidan qat’iy nazar, mayatnik (4.12.9) tenglama bo’yicha harakatlanganda, oxir oqibat muvozanat holatidan uzoqlashib, aperiodik harakatlarni amalga oshiradi.

Endilikda mayatnikka *F(t)* tashqi kuchni qo’yamiz, uning ta’sir chizig’i har bir *t* vaqt momentida *l* kesmaga perpendikulyardir (4.12.5-rasm). Majburiy harakat tenglamasi quyidagichadir:

$$\ddot{\varphi} - \varpi^2 \varphi = f(t), \qquad f(t) = F(t)/ml. \tag{4.12.10}$$

F(t) kuchni mayatnik $\varphi(0)$ boshlang’ich holatdan chekli vaqt davomida muvozanatning yuqori holatiga keladigan qilib tanlash mumkinmi? Agar buni amalga oshirish mumkin bo’lsa, mayatnikni muvozanatning yuqori holatida qisqa vaqt ichida stabillashtirish mumkinmi? Bu bilan biz muqobil boshqaruv masalasiga kelamiz.

Har bir *t* vaqt momentida obyekt ikkita fazali koordinatalar - og’ish burchagi $\varphi = x^1$ va tezlik $\varphi = x^2$ orqali xarakterlanadi. Demak, fazali fazo ikki o’lchovli bo’ladi. Fazali koordinatalarga qo’yilgan cheklanishlar

$$\left|x^1\right| \le \Phi \tag{4.12.11}$$

ko’rinishga egadir. Boshqaruv parametrining vazifasini *f* “kuch” o’taydi; uni *u* harfi bilan belgilaymiz. Masalaning shartiga ko’ra (4.12.2) boshqaruv sohasi

$$-f_0 \le u \le f_0 \quad yoki \quad |u| \le f_0 \qquad (4.12.12)$$

tengsizlik orqali tasvirlanadi.

Mazkur belgilashlarda, (4.12.10) tenglama ikkinchi tartibli tizim shaklida yozib olinadi:

$$\dot{x}^1 = x^2, \qquad \dot{x}^2 = \varpi^2 x^1 + u, \qquad (4.12.13)$$

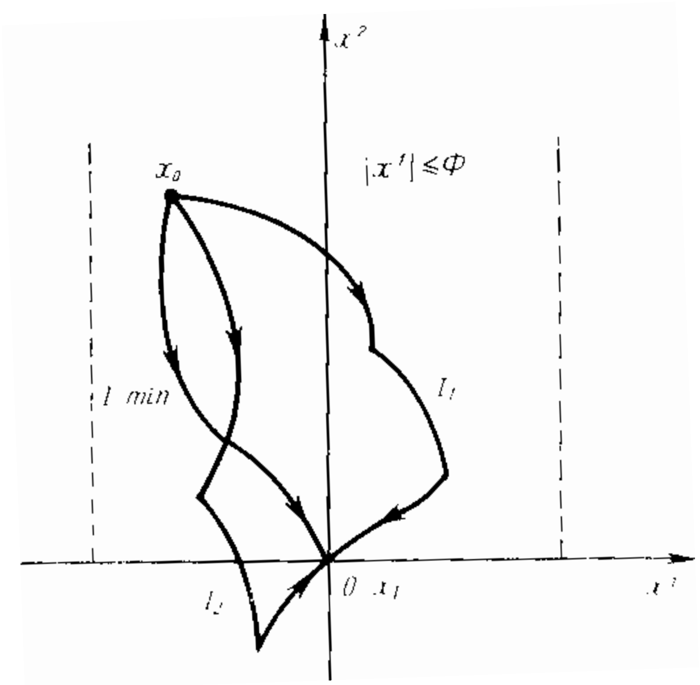
u mazkur holatda boshqaruv obyektining harakat qonuni ifodalaydi. Boshlang'ich fazali holat berilgan deb faraz qilinadi:

$$x_0 = \left(x_0^1, x_0^2\right) = \left(\varphi(0), \quad \dot{\varphi}(0)\right). \qquad (4.12.14)$$

Boshqaruv maqsadi yagona nuqta - fazali tekislikning koordinatalar boshidan iboratdir:

$$x_1 = \left(x_1^1, x_1^2\right) = (0,0). \qquad (4.12.15)$$

Sifat mezoni sifatida vaqtni olib, qaysi joiz boshqaruv (4.12.13) obyektni (4.12.14) holatga o'tkazishini aniqlash kerak. Biz (4.12.13) chiziqli model bilan shug'ullanamiz xolos, shuning uchun, ushbu modelning qo'llanilish doirasi to'g'risidagi masala chetga suriladi.



4.12.5-rasm. Matematik mayatnikni tashqi kuch holatiga nisbatan hatti-harakati

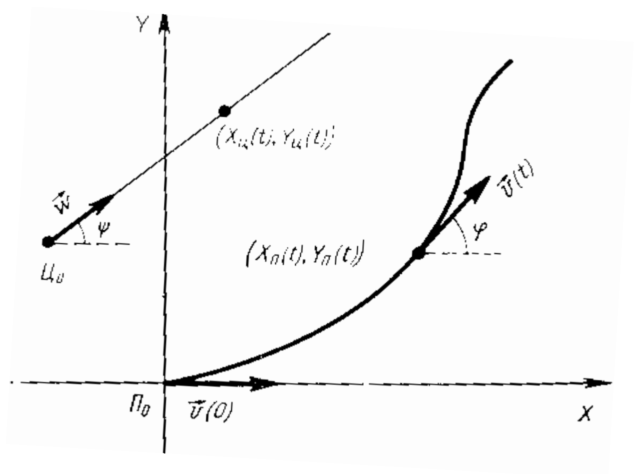
4.12.2-misol. Gorizontal tekislikda ishqalanishsiz ikkita birlik massaga ega bo’lgan moddiy nuqtalar harakatlansin - qochuvchi M va quvuvchi Q. Qochuvchining harakat tavsifini bilamiz: boshlang’ich vaqt momentida u ma’lum M_0 nuqtada bo’lishi va to’g’ri chiziq bo’ylab o’zgarmas tezlik bilan $\vec{\varpi}$ tezlanishda harakatlanishi kerak.

Boshlang’ich vaqt momentida M_0 nuqtada turgan quvuvchi v tezlik bilan ixtiyoriy silliq egri chiziq bo’ylab harakatlanishi kerak. Shunday qilib, quvuvchi boshqaruvga ega bo’ladi. Eng qisqa vaqt ichida qochuvchiga R masofaga yaqinlashishini ta’minlovchi quvuvchining harakat rejimini hisoblash kerak.

Harakat tekisligida boshi M_0 nuqtada bo’lgan XY koordinatalar sistemasini kiritamiz; X o’qini v(0) vector bo’yicha yo’naltiramiz, Y o’qini esa X o’qi bilan 90^0 hosil qiladigan qilib tanlaymiz; soat strelkasiga qarama-qarshi yo’nalishda qaraymiz (4.12.6-rasm). Agar ψ bilan $\vec{\varpi}$ vector va X o’q o’rtasidagi burchakni, $(X_m(t), Y_m(t))$- bilan esa maqsadning joriy boshqaruvlarini belgilasak, u holda harakat tenglamalari quyidagi ko’rinishda yozib olinadi:

$$\dot{X}_m = \varpi \cos\psi, \; \dot{Y}_m = \varpi \sin\psi, \qquad (4.12.16)$$

$$\dot{X}_m(0) = X_{m0}, \; \dot{Y}_m(0) = Y_{m0}. \qquad (4.12.17)$$



4.12.6-rasm. Ishqalanishsiz ikkita birlik massaga ega bo’lgan moddiy nuqtalar harakati

$\varphi(t)$ funksiyani uzluksiz deb olish qulay. Egri chiziqning trayektoriyasi t vaqt momentida quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$k = \frac{d\varphi}{ds} = \frac{1}{\frac{ds}{dt}}\frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{v}\varphi \ . \qquad (4.12.18)$$

Yuqorida aytib o'tilganlarga ko'ra, boshqaruv parametri sifatida φ ni tanlash noqulaydir. Boshqaruv parametri sifatida k egrilanishni olish o'rinlidir.

Endilikda quyidagi belgilashlar kiritamiz:

$$x^1 = X_Q - X_M \quad x^2 = Y_Q - Y_M \quad x^3 = \varphi, \qquad u = k.$$

(4.12.16)-(4.12.18) tengliklardan quyidagi munosabatga ega bo'lamiz:

$$\left.\begin{aligned} &\dot{x}^1 = v\cos x^3 - \omega\cos\psi, && x^1(0) = -X_{M0}, \\ &\dot{x}^2 = v\sin x^3 - \omega\sin\psi, && x^2(0) = -Y_{M0}, \\ &\dot{x}^3 = vu && x^3(0) = 0. \end{aligned}\right\} \qquad (4.12.19)$$

U x^1, x^2, x^3 o'zgaruvchilarning fazali fazosida boshqaruv obyektining harakat qonunini ta'riflaydi. Boshqaruv obyekti bo'lib

$$(x^1)^2 + (x^2)^2 = R^2 \qquad (4.12.20)$$

to'plam xizmat qiladi. Optimal quvish masalasi minimal vaqt ichida (4.12.19) obyektini boshlang'ich vaqt ichida silindrik sathga (4.12.20) o'tkazuvchi joiz boshqaruvni aniqlashdan iboratdir.

6. Ko'pgina real hollarda ko'rinishi bilan o'zaro farq qiluvchi optimal boshqaruv masalalari vujudga keladi. Ayrim hollarda bu farqlar unchalik bilinmaydi, boshqalarida esa yaqqol ko'zga tashlanadi.

Fazali fazodagi ma'lum bir M to'plam boshqaruv maqsadini o'taydi, hech qanday cheklanishlar oldindan berilmaydi.

Lekin ko'pincha harakat vaqti berilgan holni ko'rishga to'g'ri keldi. Bunday holda fiksirlangan vaqtli masala to'g'risida gapiriladi.

Buning uchun x^{n+1} fazali koordinatani kiritamiz, u quyidagi munosabat orqali tasvirlanadi:

$$\dot{x}^{n+1} = 1, \qquad x^{n+1}(t_0) = t_0 \qquad (4.12.21)$$

va

$$\vec{x} = (x, x^{n+1}) = (x^1, \ldots, x^n,\ x^{n+1})$$

vektorlar fazosida

$$\dot{\vec{x}} = \vec{f}(\vec{x},u), \qquad \vec{f}(\vec{x},u) = (f^1(x,u),..., f^n(x,u)), \qquad f^{n+1}(x,u) \equiv 1 \tag{4.12.22}$$

(4.12.5) obyektni (4.12.4) holatdan M to'plamga t_1 vaqt ichida ko'chirish masalasi (4.12.22) obyektni $\vec{x}_0 = (x_0, t_0)$ boshlang'ich holatdan R^{n+1} fazali M to'plamga ko'chirish masalasiga ekvivalentdir.

Sifat mezoni sifatida (4.12.8) integral funksional emas,

$$l(u) = F(x(t_1)) \tag{4.12.23}$$

ifoda tushuniladi, bu yerda F(x) - berilgan skalyar funksiya, t_1 esa boshqaruv maqsadini tadbiq etish momenti. Haqiqatdan ham, agar, F(x) funksiya differensiallanuvchi bo'lsa, u holda:

$$F(x(t_1)) = F(x(t_1) - F(x(t_0)) + F(x(t)) = \int_{t_0}^{t_1} \frac{d}{dt}[F(x(t))]dt + F(x(t_0)) =$$

$$= \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial F(x(t))}{\partial x_i} \frac{dx^i(t)}{dt} dt + F(x(t_0)) = \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial F(x(t))}{\partial x_i} f^i(x(t), u(t))dt + F(x(t_0)).$$

Mazkur zanjirdagi oxirgi o'tishni amalga oshirdik. Bu yerda (4.12.23) funksionalni minimallashtirish (4.12.8) funksionalni minimallashtirishga teng kuchlidir, bu yerda $f^0(x,u)$ maxsus yo'l bilan tanlangan:

$$f^0(x,u) = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial F}{\partial x^i} f^i(x,u).$$

(4.12.5) munosabat avtonom boshqaruv obyektining harakat qonunini ifodalaydi. Avtonom bo'lmagan tizimlarni ham qarash mumkin, ularning harakat tenglamasi:

$$\dot{x} = f(x,u,t) \tag{4.12.24}$$

ko'rinishga egadir.

Lekin, qo'shimcha fazaviy koordinata (4.12.21) yordamida (4.12.24) optimal boshqaruv masalasi oshkor ravishda (n+1)-o'lchovli fazali fazoda avtonom obyekt uchun ekvivalent masalaga olib kelinadi.

Huddi shu amallarni M(t) to'plam vaqt o'tishi bilan ko'chib turadigan hol uchun ham amalga oshirish mumkin.

Joiz boshqaruvning boshqaruv sohasi har xil vaqt momentlarida turli xil bo'ladi. Ikkinchidan boshqaruv qiymatlariga qo'yilgan cheklanishlar (4.12.2) dan farqli ko'rinishga ega bo'ladi. Shunday qilib, boshqaruv "resurslari" quyidagi integral shaklda yozib olinadi:

$$\int_{t_0}^{t_1} \|u(t)\|^2 dt \le \mu .$$

Bu yerda $\|\cdot\|$- vektorning evklid normasi, $\mu > 0$ esa berilgan son. Uchinchidan, boshqaruv sifatida boshqa tabiatga mansub funksiyalarni - masalan, bo'lakli-o'zgarmas, chegaralanganlarni tanlashga to'g'ri keladi.

Huddi shunday fazali cheklanishlar (4.12.1)-dan farqli ko'rinishga ega bo'lishi, masalan $\Phi(u(t), x(t)) \ge 0$ turdagi tengsizliklar ko'rinishida berilishi mumkin.

Jumladan, harakat qonuni umuman boshqa ko'rinishga ega bo'lgan obyektlar uchraydi. Masalan, kechikkan ta'sirli obyektlar uchun harakat tenglamasi sodda differensial tenglama ko'rinishida bo'ladi. Agarda o'zgarib turuvchi aralash muhitli obyektlar to'g'risida gap borsa, uning holatini xarakterlovchi x qiymat nafaqat vaqtga bog'liq funksiya bo'ladi. Bunday obyektlar taqsimlangan parametrli obyektlar deyiladi.

Obyektning holati vaqtning har bir momentida aniqlangan deb olinadi, ya'ni obyekt uzluksizdir. Lekin, holati faqatgina ayrim $t = t_0, t_1, ...$ vaqt momentlarida aniqlangan diskret boshqaruvlarini ko'rib chiqish mumkin.

7. Optimal boshqaruv nazariyasi yuqorida bayon qilingan masalalarni o'rganish maqsadini oldinga suradi. Mazkur nazariyaning markaziy natijasi Pontryaginning maksimum prinsipi bo'lib, u boshqaruvning optimalligini ta'minlovchi shartni beradi. Bu natijalar va ular bilan bog'liq tadqiqotlar Pontryagin va uning xodimlari V.G.Boltanskiy va F.Mishenkolar tomonidan olib borilgan bo'lib, ular boshqaruv nazariyasining joriy bo'limiga aylandi.

Pontryaginning maksimum prinsipi universalligi va samaradorligi, boshqaruv nazariyasining nazariy va amaliy ahamiyati ko'p sonli ishlarning vujudga kelishiga turtki bo'ldi.

V-bob. SUST SHAKLLANGAN TIZIMLARDA MODELLASHTIRISH JARAYONINING ALGORITMI VA DASTURIY TA'MINOTINI ISHLAB CHIQISH

5.1. Dasturiy tizimlarda vuzial modellar munosabatining o'ziga hosligi

Hisoblash va analitik jarayonlarning katta mehnat talab qilishi tajribaviy ma'lumotlarni qayta ishlashda tadqiqot ishlarini matematik apparat yordamida kengaytirish muammosini keltirib chiqaradi. Lekin, shaxsiy kompyuterlarning paydo bo'lishi bilanoq, mazkur muammo deyarli hal bo'ldi. Masala hodisa va jarayonlarning o'rganilayotgan elementlarini matematik jihatdan to'g'ri modellashtirish, so'ngra uni kompyuter dasturlari yoki ilovalar shaklida mavjud kompyuter tizimlariga tadbiq etishdan iboratdir [77].

Tizimli modellashtirishning bir xil shaklga keltirilgan jarayoni yordamida holatlar variantlari ixtisoslashtiriladi. Tizimli modellashtirish jarayonida ishtirok etayotgan modellarning barchasi erksiz va biri ikkinchisi bilan bog'langandir. Bitta modelning elementlari boshqa modellarning elementlariga bog'liq bo'ladi; modellar semantic kesishadilar va birgalikda yaxlit bir tizimni namoyon qiladilar. Keyinchalik modellar o'rtasidagi uch turdagi munosabatlar farqlanib, ularning shakllangan ta'rifi keltiriladi. Taklif etilgan tizimlashtirish modellarni ongli ravishda tahlil qiladi, buning natigasida, dasturiy tizimlarni ishlab chiqish jarayoni davomida, dasturiy ta'minotni ishlab chiqaruvchilarga yordam beradi.

Dasturiy tizimlar to'g'risidagi bilimlarni modellashtirishning asosiy vositasi sifatida matematik mantiqning usul va tushunchalari: shartli nazariyalarni qurishda qo'llaniluvchi aksiomatik usul va shartli mantiqiy tillar hamda hisoblashlardan foydalaniladi. Asosiy tushunchalar - obyektga mo'ljallangan tahlil va loyihalashtirishning zaminida yotuvchi modellarni shakllantirish ushbu modellarning xossalarini ko'rsatishning ravshan matematik apparatidan foydalanishga imkon beradi. Vizual obyektga mo'ljallangan unifisirlashgan (bir xil shaklga keltirilgan) jarayon (UJ) dan foydalanish natijasida kelib chiquvchi dasturiy ta'minotning asosiy modellarini shakllantirish dolzarb masaladir.

Yuqorida eslatib o'tilgan tizimli modellashtirish jarayonida ishtirok qiluvchi modellar erksizdir. Ular o'zaro bog'langan, sementik ravishda kesishadi hamda birgalikda tizimni yaxlit birlik sifatida ifodalaydi. Bitta modelning elementlari boshqa modellarning elementlari bilan bog’langan. 5.1.1-rasmda UJ modellar o’rtasidagi mazkur munosabatlar tasvirlangan.

Lekin yuqorida qayd etilgan munosabat nafaqat UJ dagi modellar o’rtasida mavjud bo’ladi, jarayonning inkremintal tarkibi hisobiga keyingi har bir iterasiya oldin yaratilgan modellarning inkremental oshishiga olib keladi. Bunday oshish additiv bo’lishi shart emas. Tizimli modellashtirish jarayoni hayot siklining erta bosqichlarida taqribiy model aniqlashtiriladi yoki murakkab model bilan almashtiriladi, lekin keyingi bosqichlarda inkremental oshish, odatda, additiv bo’ladi, ya’ni model yangi elementlar bilan to’ldiriladi, bunda oldingi elementlar saqlanib qoladi. Natijada, har bir iterasiyada aniqlangan modellar keyingi iterasiyalarda modellarning aniqlashgan ko’rinishi bo’ladi.

Modellar o’rtasidagi munosabatlar rasmiy jihatdan aniqlangan bo’lishi kerak, chunki ularning ta’rifidagi noaniqliklar ayrim muammolarni keltirib chiqarishi mumkin, masalan:

- Modelning noto’g’ri talqin etilishi. Modeldan foydalanuvchining talqini modelni yaratgan shaxsning talqini bilan ustma-ust tushmasligi mumkin.
- Har xil modellar o’rtasidagi nomuvofiqlik. Agar har xil qism modellar o’rtasida mavjud bo’lgan munosabatlar tartibsiz ravishda ixtisoslashtirilgan bo’lsa, integrasiyalashuv jarayonida ularning bir-biriga zid ekanligini tahlil qilib bo’lmaydi.
- Modelning mazmuni to’g’risidagi mulohazalar. Ko’pincha loyihaga jalb qilingan shaxslar modellarga biriktirilishi mumkin bo’lgan talqinlar to’g’risida mulohazalar bildirishga o’zlarining ko’p vaqtlarini sarf qiladilar.
- Evolyutsiyadagi to’qnashuvlar. Modelni o’zgartirish paytida unga bog’liq bo’lmagan boshqa modellarning kutilmagan xatti-harakatlari kuzatilishi mumkin.

UJ dan foydalangan holda dasturiy tizimning modellar to’plami tahlil qilinadi va tartiblanadi. Bitta modelning elementlari boshqa modellarga nisbatan qaramlik munosabatiga egadir. Modellar semntik ravishda kesishadi va birgalikda tizimni yaxlit birlik sifatida tasvirlaydi.

Demak, modellar ta’rifidagi noaniqlik modellarning noto’g’ri talqin etilishiga, alohida modellarning evolyutsiyasidagi ziddiyatlarga va h.k larga olib kelishi mumkin.

Modellar o’rtasidagi bog’lanish munosabatlarning uchta turi: model vazifalari oqimi, iterasiyalar va arteomillar bo’yicha ko’rib chiqilgan.

Taklif etilgan shakllantirishning maqsadi visual modellar ustida amallarni ta'minlovchi vositalarni qurishning matematik asoslarini ta'minlab berishdir:

- turli xil ish oqimlariga tegishli bo'lgan modellar (tizimga qo'yilgan talab modeli hamda tahlil modeli) o'rtasidagi muvofiqlikni tekshirish;
- modellashtirish evolyutsiyasi davrida modellar o'rtasidagi muvofiqlikni tekshirish;
- modellarning ichki butunligini tekshirish;
- jarayonning yaxlit birlik sifatida butunligini tekshirish.

Nazariya bilan shug'ullanuvchiga va injener-dasturchiga tadqiqot jarayoni davomida yordam beruvchi modellardagi evolyutsiyaning avtomatik qoidalarini aniqlash ta'riflangan munosabatlarni mantiqiy shakllantirishlardan foydalanish imkoniyatini beradi. Masalan, berilgan tahlil modelini amaliyotga tadbiq etishning mavjud shakllarini ishlab chiqish, modellarining atamalarida, shu jumladan, dasturlashning aniq bir tilida amaliyotga tadbiq etishning mavjud shakllarini taklif etishi mumkin, berilgan model uchun esa mantiqiy qoidalar uni aniqlashtirish yoki kengaytirishning mavjud usullarini taklif etishi mumkin.

Dasturiy ta'minot uchta alohida qism tizimlardan iborat [57]:

- ma'lumotlar bazasini yuritish;
- masalalarni yechish;
- chiquvchi ma'lumotlarni shakllantirish.

Masalalarni amaliyotga tadbiq etishning qism tizimi interpretasiya blokli masalalarning ta'rifini o'z ichiga olgan tilning translyatoridan iboratdir. Qism dastur quyidagi dasturlardan tashkil topgan:

- noravshan ma'lumotli matrisalar ustidagi hisoblash amallarini olib borish;
- noravshan ma'lumot holatida ehtimolli- statistic tahlil o'tkazish;
- noravshan to'plamlar yordamida nochiziqli dasturlarsh masalalarni yechish;
- noravshan to'plamlar va neyron to'rlar yordamida chiziqli dasturlash masalalarni yechish;
- noravshan parametrli dasturlash usuli bilan masalalarni yechish;
- noravshan to'plamlar va neyron to'rlar yordamida tenglamalar tizimini yechish;
- qaror qabul qilishning noravshan modellarini amaliyotga tadbiq etish.

1. Statistik model:

$$\overline{Y} = f_j(\overline{x}, \overline{b}) + \overline{F} .$$

2. Nochiziqli muqobillik modeli:

$$y = f(x,\alpha) = \sum_{j=1}^{n} \alpha_j f_j(x_j) \rightarrow \max ,$$

$$g(x) = \sum_{j=1}^{n} g_j(x_j, \beta_j) \subset R,$$

$$x \in Q.$$

3. Parametrik model:

$$z = (\overline{a}_0' + t'\overline{b}) + \overline{e}t \rightarrow \min ,$$

$$(\overline{a} + \overline{c}t)x \subset K ,$$

$$t \in E_s .$$

4. Stoxastik model:

$$F(x,y) = Cx + p_1\gamma y_1 + p_2\gamma y_2 + \ldots p_N\gamma y_N \rightarrow \max$$

$$\begin{array}{lll} A_0 x & & \subset B_0 \\ A_1 x + D_1 y_1 & & \subset B_1 \\ & \cdots & \\ A_N x + & D_N y_N & \subset B_N \end{array}$$

5. Qaror qabul qilish modeli

5.1.1-rasm. UJ modellari o'rtasidagi bog'lanish

5.1.1. Matrisalar ustidagi hisoblash amallarini olib borish algoritmi

Modellar tizimining dasturiy majmuini tuzish ko'p sonli tartiblangan sonlarni qayta ishlashning qulay vositasi bo'lib xizmat qiluvchi matrisalar va vektorlar ustida hisoblash amallaridan foydalanishni ko'zda tutadi:

1) (*m x n*) o'lchovli $A=(a_{ij})$ va $B=(b_{ij})$ matrisalarning yig'indisini hisoblash:

$$x_{ij} = a_{ij} + b_{ij}, \qquad i=\overline{1,m}; \qquad j=\overline{1,n};$$

2) (*m x n*) o'lchovli $A=(a_{ij})$ matrisaning ixtiyoriy haqiqiy *s* soniga skalyar ko'paytmasini hisoblash:

$$x_{ij} = s \times a_{ij}, \qquad i=\overline{1,m}; \qquad j=\overline{1,n};$$

3) (*m x n*) o'lchovli $A=(a_{ij})$ matrisaning (*n x 1*) o'lchovli $Y=(y_i)$ vertical vektorga ko'paytmasini hisoblash:

$$x_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} y_j, \qquad i=\overline{1,m};$$

4) (*m x l*) o'lchovli $A=(a_{ij})$ matrisaning (*l x n*) o'lchovli $B=(b_{ij})$ matrisaga ko'paytmasini hisoblash:

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^{l} a_{ik} b_{kj}, \qquad i=\overline{1,m}; \qquad j=\overline{1,n};$$

5) teskari matrisani hisoblash.

Ikkita matrisaning yig'indisini; matrisaning vektorga va matrisaning matrisaga ko'paytmasini hisoblash tizim dasturi ishlab chiqilgan.

(*m x m*) o'lchovli *A* matrisa *m* tartibli kvadrat matrisa deyiladi.

m tartibli *A* kvadrat matrisa uchun A^{-1} teskari matrisani quyidagi uchta usul bilan hisoblovchi qism dasturi ishlab chiqilgan:

a) Gauss-Jordan usuli bo'yicha o'chirish.

Gauss-Jordan usuli yordamida o'chirishda oldin ochirish amalga oshiriladi, so'ngra - hisoblanadi va keyingi bosiqchda k-ustun yaratiladi.

O'chirish va hisoblash. j ni $j \neq k$ bo'lguncha 1 dan m gacha o'zgartiramiz, bunda har bir j uchun i ni 1 dan m gacha o'zgartirib, a_{ij} elementlarni $a_{ij} - a^{l}_{kj} a_{ik}$ bilan almashtiramiz.

k-ustun yaratish. i ni $i \neq k$ bo'lguncha, *1* dan m gacha o'zgartirib, a_{ik} ni $-a^{l}_{kk} a_{ik}$ ga o'zgartiramiz.

b) O'chirishning xususiy usuli yordamida matrisaning bosh elementini tanlash.

c) Matrisaning bosh elementini tanlagan holda, to'la o'chirsh.

Bosh elementni tanlashning xususiy va to'la usullarida oldin matrisaning bosh elementi tanlanadi, so'ngra o'chiriladi, hisoblanadi va *k*-ustun yaratiladi. Jarayonning oxirgi bosqichida ustun va satrlar o'rin almashadi.

Xususiy usul holida matrisaning bosh elementi quyidagi yo'l bilan topiladi. Avvaliga max=0 deb olinadi, bunda $\max = |a_{ik}|$, *r=i* deb olamiz. *u(k) = r, v(r) = k* deb hisoblaymiz. To'la usul holidagi singari boshqa jarayon ishga tushiriladi, aniqrog'i: avvaliga max=0 deb olamiz . *j* ni *v(i)=0* bo'lguncha *1* dan *m* gacha o'zgartiramiz, $|a_{ij}| > \max$ shart bajarilganda, $\max = |a_{ij}|$, *r=i*, *q=j* deb olamiz. *u(q)=r, v(r)=q* deb olamiz.

5.1.2. Noravshan muhitda matrisalar ustidagi hisoblash amallari

R noravshan munosabat berilgan X to'plam chekli bo'lsa, u holda mazkur munosabatning μ_r tegishlilik funksiyasi kvadrat matrisadan iborat bo'ladi. Ma'nosi jihatidan bu matrisa sodda munosabat matrisasiga o'xshashdir, lekin uning elementlari nafaqat 0 va 1 sonlari, balki [0,1] oraliqdagi ixtiyoriy sonlar bo'lishi mumkin. Agar ushbu matrisaning r_{ij} elementi α ga teng bo'lsa, $x_i R x_j$ munosabatning bajarilish darajasi α ga teng bo'ladi.

Endilikda noravshan munosabatlar ustidagi amallarni ko'rib chiqaylik. Shu amallardan ayrimlari sodda munosabatlar ustidagi mos amallarning nusxasidir, lekin, noravshan sonlar qatnashgan matematik amallarni bajarish jarayoni kabi, faqatgina noravshan munosabatlarga xarakterli bo'lgan amallar mavjud bo'ladi. Noravshan to'plamlar holidagi kabi, noravshan munosabatlarning birlashma va kesishma amallarini quyidagi usullar bilan aniqlash mumkin [73].

X to'plamda ikkita A va B munosabat berilgan bo'lsin, ya'ni $X \times X$ dekart ko'paytmada ikkita noravshan to'plam A va B berilgan. $C = A \cup B$ va $D = A \cap B$ noravshan to'plamlar X to'plamda A va B noravshan munosabatlarning mos ravishda birlashma va kesishmasi deyiladi**.**

X to'plamdagi A va B noravshan munosabatlarning $A \circ B$ maksmin ko'paytmasi

$$\mu_{A \circ B}(x, y) = \sup_{z \in X} \min\{\mu_A(x, z), \mu_B(z, y)\}$$

ko'rinishdagi tegishlilik funksiyasiga ega bo'ladi.

X chekli to'plam holida $A \circ B$ noravshan munosabatning matrisasi A va B munosabatlar matrisasining maksmin ko'paytmasiga teng, ya'ni sodda munosabatlar ko'paytmasining matrisasi singari amallar yordamida hosil bo'ladi.

X to'plamdagi A va B noravshan munosabatlarning minimaks ko'paytmasi

$$\mu_{A \circ B}(x, y) = \inf_{x \in X} \max\{\mu_A(x, z), \mu_B(z, y)\}$$

ko'rinishdagi tegishlilik funksiyasi yordamida hisoblanadi.

A va B noravshan munosabatlarning maksmultiplikativ ko'paytmasi

$$\mu_{A \circ B}(x, y) = \sup_{z \in X}\{\mu_A(x, z) \times \mu_B(z, y)\}$$

ko'rinishdagi munosabat orqali aniqlanadi.

Kompyuter tadbig'ini talab qiluvchi har qanday masala algoritmik va matematik jihatdan qat'iy ta'riflanishi kerak. Qo'llaniluvchi usullarning noravshan-to'plamli nazariy baza kitobning birinchi bobida ta'riflab o'tilgan. Kelgusi tadqiqotlar noravshan to'plamlar yordamida nochiziqli dasturlarsh masalalarni yechish algorimlarini ishlab chiqish bilan bog'liqdir. Ular chiziqli tenglamalar tizimidagi har bir qo'shiluvchiga nochiziqlikni qo'shish orqali quriladi. Ushbu modellar yordamida resurslar qayta taqsimotini paxta majmuining alohida yo'nalishlari bo'yicha rivojlanishiga ta'siri o'rganiladi.

Noravshan qiymatli nazorat qilinuvchi ko'rsatkichning qayta taqsimlanuvchi resusrsli nochiziqli modelini ko'raylik. Qism tizimning faoliyati modelda

$$F = f(x) = \sum_{j=1}^{n} (c_j x_j - c'_j x_j^2) \qquad (5.1.1)$$

tenglama orqali, resursli cheklanishlar esa

$$g_i(x)=\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j+a_{ij}^{'}x_j^2)=b_i, i=1,2,...,m; j=1,2,...,n$$

(5.1.2)

tenglama bilan aniqlanadi, bu yerda $c_j, c_j^{'}, a_{ij}, a_{ij}^{'}$ - nomanfiy koeffitsiyentlar; j indeks – faoliyatning yo'nalishi (aniq bir texnologiya); i –resursning aniq bir turi.

Qism tizimdagi resurslar qayta taqsimotining aniq yo'nalishlar bo'yicha ishlarni rivojlantirishga ko'rsatadigan ta'sirini o'rganish uchun quyidagi iterasiyali algoritm ishlab chiqildi:

1. F ko'rsatkichning qiymati va $c_j, c_j^{'}, a_{ij}, a_{ij}^{'}$ koeffitsiyentlarning qiymatlari kiritiladi. b_i resursli cheklanishlarning qiymatlari kirtiladi.
2. Fazzifikasiya jarayoni bajariladi.
3. Iterasion jarayon bajariladi:

3.1) algortimning birinchi qadami k=0; boshlang'ich yaqinlashish beriladi $x^0=(x_1^0, x_2^0,..., x_n^0)$;

3.2) umumiy holda keyingi yaqinlashishni topish uchun Δx o'zgaruvchiga nisbatan vector ko'rinishdagi tenglama yechib olinadi: $f(x^{k+1})+J\Delta x^{k+1}=b$,

bu yerda J –n x n o'lchamli Yakobi matrisasi;

3.3) yanqi qiymat topiladi $x^{k+1}=x^k+\Delta x^{k+1}, (k=0,1,2,...)$;

3.4) iterasiya x^{k+1} va x^k qiymatlar bir-biriga yaqin bo'lib qolmagunicha takrorlanadi; yaqinlik o'lchovi sifatida quyidagi mezondan foydalaniladi:

$$\sum_{j=1}^{n}[x_j^{k+1}-x_j^k]^2\le\varepsilon,$$

bu yerda ε >0 – kichik son.

Agar boshlang'ich shart muvaffaqiyatli tanlangan bo'lsa, iterasion jarayon tez yaqinlashadi.

4. Algortimning 2-bosqichiga o'tish. Oldindan tayyorlangan sxema bo'yicha yangi b_i qiymatlar kiritiladi, lekin ularning yig'indisi har doim o'zgarmas bo'lib qoladi.
5. Defazzifikasiya amalga oshiriladi.

Noravshan-to'plamli apparatni sust shakllangan tizimlarni modellashtirish jarayoniga biriktirish tadqiqot davomida kompyuter texnologiyalaridan maksimal darajada foydalanishni ko'zda tutadi. Ayni vaqtda noravshan prosessorli yangi hisoblash majmualari ishlab chiqildi.

Lekin ulardan keng doirali tadqiqotchilar foydalana olmaganliklari uchun, ayni vaqtda ravshan mantiqli kompyuterning texnik imkoniyatlaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

5.1.3. Noravshan axborot holatida statistik modellashtirish masalalarini yechish algoritmi

Obyekt quyidagi tenglama orqali ta'riflansin:

$$\overline{Y} = f_j(\overline{x}, \overline{b}) + \overline{F},$$

bu yerda $\overline{Y}$ - erksiz chiquvchi o'zgaruvchi;

$\overline{x}$ - boshqaruv omillari;

$\overline{b}$ - barcha raqobatlashuvchi modellarga nisbatan parametrlarning taqribiy baholari.

$f_j(\overline{x}, \overline{b})$ noma'lum funksiyaning raqobatlashuvchi tuzilmalaridan qay biri o'rganilayotgan obyektning ta'rifiga ko'proq mos kelishini aniqlash kerak. Raqobatlashuvchi modelning tarkibiga kirgan har bir modelning tuzilmasi $\overline{Y}$ noma'lum va $\overline{x}$ erkli o'zgaruvchilarning majmui o'rtasidagi funksional bog'lanishlarni aniqlaydi.

$\overline{x} = (\overline{x}_1, ..., \overline{x}_m)$ - erkli omillar (bu yerda m-omillar soni) bo'lib, ular boshqariladigan deb olinadi, ya'ni ularni hisoblash jarayonini ixtiyoriy bosqichlarida qayd qilib borish mumkin. Chiquvchio'zgaruvchi sifatida kiruvchi o'zgaruvchining miqdoriy va miqdoriy bo'lmagan tavsifli ixtiyoriy parametri xizmat qilishi mumkin [57].

5.1.3.1. Statistik modellarni qo'llash algoritmi

Tadqiqotni boshlashdan avval quyidagi jarayonni amalga oshirish lozim [7,77]:

- Omillar to'plami ichidan boshqariluvchilarini, ya'ni ixtiyoriy bosqichda mustaqil ravishda o'zgartirish mumkin bo'lganlarini tanlash.
- Obyektning ta'riflanuvchi o'zgaruvchilariga ta'sir ko'rsatadigan omillarni, ya'ni raqobatlashuvchi modellarning kamida bittasida bor bo'lgan omillarni aniqlash.

- Agar boshqarilmaydigan omillar ichida chiquvchi o'zgaruvchiga sezilarli darajada ta'sir etuvchi omillar bo'lsa, qayd etilgan omillarni boshqariladigan qilib qo'yish.
- Boshqariluvchi omillarning o'zgarish oraliqlarini aniqlash.

Tadqiqot quyidagi amallar ketma-ketligidan tuzilgandir:

a) boshlang'ich tanlovni shakllantirish;

b) modellarning nochiziqli parametrlarini aniqlash.

✓ Nochiziqli parametrlarning bahosi eng kichik kvadratlar usulida aniqlashtiriladi. Parametrlarning bahosi barcha raqobatlashuvchi modellar uchun bir xil sharoitda aniqlashtirilishi kerak. Regression modellarni solishtirish uchun, birinchi navbatda, barcha raqobatlashuvchi modellarga nisbatan yetarli darajada yaxshi baholar topiladi.

✓ Quyidagi to'plamlarning $\mu^k(Y), \eta^k(x)$ va $\nu^k(b)$ tegishlilik funksiyalarini hisoblanadi [44,148,154]:

$$Y = \sum_{k=1}^{q} \overline{Y^k}\,\mu^k \Big/ \sum_{r=1}^{q} \mu^r,\ x = \sum_{k=1}^{q} \overline{x^k}\,\eta^k \Big/ \sum_{r=1}^{q} \eta^r,\ \ b = \sum_{k=1}^{q} \overline{b^k}\,\nu^k \Big/ \sum_{r=1}^{q} \nu^r .$$

✓ Tadqiqotchi parametrni qoniqarli boshlang'ich baholarga ega deb oladi, bu esa, o'z navbatida, nochiziqli baholash usullarining qoldiq kvadratlar yig'indisi minimumi nuqtai-nazardan parametrlarning eng yaxshi baholariga yaqinlashishini ta'minlaydi.

✓ Parametrlar bo'yicha nochiziqli bo'lgan regression modellar chiziqlashtiriladi. Buning uchun quyidagi parametrlarning boshlang'ich baholari nuqtasida modelning barcha parametrlar bo'yicha olingan xususiy hosilalarini ifodalovchi z_{il} yangi o'zgaruvchilar kiritiladi:

$$z_{il} = \frac{\partial f_j(\bar{x}_l, \bar{b}_j)}{\partial b_i}\Bigg|_{\bar{b}_j^0},$$

bu yerda $f_j(\bar{x}_l, \bar{b}_j)$ - j-matematik model tuzilmasining ta'rifi;

b_i^0 - i-parametrning boshlang'ich bahosi;

$\bar{b}_j$ - j-model parametrlarining vektori:

$j = 1,2,...,m; i = 1,2,...,k_j; l = 1,2,...,N_l$;

m – raqobatlashuvchi modellar soni;

k_j - j-modelning parametrlar soni.

Chiziqlashtirilgan model quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\tilde{f}_j(\bar{x}_l, \bar{b}_j) = f_{jl}^0 + \sum_{i=1}^{k_j} (b_i - b_i^0) z_{il},$$

bu yerda $f_{jl}^0 = f_j(\bar{x}_l, \bar{b}_j^0)$,

$\bar{b}_j^0$ - *j*-model parametrlarining boshlang'ich baholar vektori.

- ✓ *j*-chiziqlashtirilgan matematik modelning C_j axborotli matrisasi hisoblanib, uning elementlari

$$C_{i,p} = \sum_{l=1}^{n} z_{il} z_{pl}$$

ko'rinishda bo'ladi, bu yerda $i, p = 1,2,...,k_j$.

- ✓ j-matematik model qoldiq kvadratlarining yig'indisi hisoblanadi:

$$S^2(\bar{b}_j) = \sum_{l=1}^{N} [y_l - f_j(\bar{X}_l, \bar{b}_j)]^2,$$

bu yerda $j = 1,2,...,m; \bar{b}_j = \bar{b}_j^0$.

- ✓ Antigradienti z_l vektorning chiziqlashtirilgan fazosi koordinatalari bo'yicha qoldiq kvadratlarning yig'indisi hisoblanadi:

$$g_l = \sum_{l=1}^{N} [y_l - f_j(\bar{X}_l, \bar{b}_j^0)] z_l,$$

bu yerda $l = 1,2,...,k_j; j = 1,2,...,m$.

- ✓ C_j axborotli matrisa akslantiriladi. C_j^{-1} teskari matrisa $\mu_{ip}; i, p = 1,2,...,k_j$ elementlardan iborat.
- ✓ Baholar o'zgarish vektorining $\Delta\bar{b}$ komponentalari hisoblanadi:

$$\Delta\bar{b}_i = \sum_{p=1}^{k_j} \mu_{ip} g_p,$$

bu yerda $i = 1,2,...,k_j$.

Parametrlar baholari fazosidagi $S^2(\bar{b}_j)$ kvadratik formaning ekstremumi yo'nalishi $\Delta\bar{b}$ vektor tomonidan aniqlanadigan to'g'ri chiziqda joylashgan. Ushbu faraz $S^2(\bar{b}_j)$ ifoda bilan berilgan sirt $\vec{b}_j$ parametrlarning baholar fazosida parabolik shaklda bo'lsagina bajariladi, aks holda Δb yo'nalishda siljish natijasida ekstremumning ma'lum bir qismigagina erishish mumkin [94,124].

$$S^2(\bar{b}_{joon}) < S^2(\bar{b}_j^*)$$

parametrlar bahosidan tuzilgan $f_j(\bar{X}, \bar{b}_{joon})$ model bilan bog'liq qoldiq kvadratlarining yig'indisi har qanday

$$\bar{b}_{joon} = \bar{b}_j^0 + \gamma \Delta b$$

munosabatdan kichik bo'ladigan γ ko'paytuvchining optimal qiymati qidiriladi:

$$S^2(\bar{b}_{joon}) < S^2(\bar{b}_j^*),$$

bu yerda

$\bar{b}_j^* = \bar{b}_j^0 + \varphi \Delta \bar{b}$,

φ -ixtiyoriy ko'paytuvchi va $\varphi \neq \gamma$.

Qidiruv muqobillashtirishning ixtiyoriy bir o'lchovli usuli: kvadratik approksimatsiya yoki Fibonachchi sonlari usuli bo'yicha o'tkaziladi. To'xtalish shartining bajarilishi tekshiriladi:

$$\frac{S^2(\bar{b}_j^0) - S^2(\bar{b}_{joon})}{S^2(\bar{b}_j^0)} < \delta.$$

δ kattalikni $\delta = 10^{-5} - 10^{-6}$ deb olish darkor.

Baholashning keyingi qadamida tajribaning natijalar modelini bashoratlash aniqligi bir oz yaxshilangan bo'lsa, tugallangan deb olinadi.

Agar ushbu shart bajarilmasa, u holda topilgan $\bar{b}_{joon}$ baholashlar yetarlicha aniqlikka ega bo'lmaydilar. Baholarni aniqlashtirishni yuqorida qayd etilgan amallarni takrorlash orqali davom ettirish mumkin, jumladan boshlang'ich $\bar{b}_j^0$ baholar sifatida baholashning oldingi qadamida olingan $\bar{b}_{joon}$ baholardan foydalaniladi.

- ✓ Aniqlashtirilgan baholi parametrlardan tashkil topgan modelning qoldiq dispersiyasi hisoblanadi:

$$\varphi_{joon}^2 = \frac{S^2(\bar{b}_{joon})}{N - k_j}.$$

- ✓ C_j^{-1} baholarning kovariasion matrisasi hisoblanadi. Matrisa elementlarining ko'rinishi quyidagicha:

$$\mu_{ip}^{j} = \mu_{ip}^{j} \cdot \varphi_{joon}^{2} ,$$

bu yerda $i, p = 1,2,...,k_j ; j = 1,2,...,m$.

5.1.3.2. Raqobatlashuvchi modellar ichida tadqiqot obyektining eng yaxshi regression modelini tanlash

Eng yaxshi regression model quyidagi tartibda tanlanadi [127,147,155]:

A) barcha raqobatlashuvchi modellarning parametrlari aniqlashtiriladi;

B) modellar mavjud tanlovlar bo'yicha ajratib olinadi; modellar sezilarli darajada farq qilsa, eng yaxshi model tanlanadi;

C) tanlov koordinatasi $\overline{X}$ omillarning bosqichini ifodalovchi nuqta bilan to'ldiriladi; mos murojaat tadqiqot o'tkazilayotgan obyekt ustida tajriba o'tkazish natijasida olinadi; A bo'limga o'tiladi.

Raqobatlashuvchi modellarni mavjud tanlov bo'yicha diskriminatsiyalanadi.

- Modellarni diskriminatsiyalash ularni juft-juftlab solishtirish yo'li bilan o'tkaziladi. Model obyektning holatini qolganlariga nisbatan yaxshiroq ta'riflasa, to'g'ri deb hisoblanadi. Solishtirilayotgan modellar ichida ko'rilayotgan model obyektning holatini ancha yomonroq ta'riflasa xato deb hisoblanadi.
- *i*- va *j*-modellar farqining ahamiyati quyidagi usulda tekshiriladi. Yangi o'zgaruvchilar kiritiladi:

$$y^* = 2y - f_i(\overline{X}, \overline{b}_i) - f_j(\overline{X}, \overline{b}_j) ;$$

$$x^* = f_i(\overline{X}, \overline{b}_i) - f_j(\overline{X}, \overline{b}_j) .$$

- $y^* = \lambda_{ij} X^*$ regressiya tenglamasidagi $\hat{\lambda}_{ij}$ koeffitsiyentning bahosi

  quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\hat{\lambda}_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^{N} y_l^* x_l^*}{\sum_{l=1}^{N} (x_l^*)^2} .$$

- Ishonch oralig'i chegaralari koeffitsiyent bahosiga nisbatan taqsimlanadi:

$$T_H = \hat{\lambda}_{ij} - t_{кр}\sqrt{\frac{\sum\limits_{l=1}^{N}(y_l^* - \hat{\lambda}_{ij}x_l^*)^2}{\gamma\sum\limits_{l=1}^{N}(x_l^*)^2}};$$

$$T_\Theta = \hat{\lambda}_{ij} + t_{кр}\sqrt{\frac{\sum\limits_{l=1}^{N}(y_l^* - \hat{\lambda}_{ij}x_l^*)^2}{\gamma\sum\limits_{l=1}^{N}(x_l^*)^2}}.$$

Bu yerda γ erklilik darajalari soni bo'lib, u quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\gamma = N - k,$$
$$k = \inf\{k_i, k_j\}.$$

$t_{кр}$ - γ erklilik darajalari va α ahamiyat darajasida Styudentning *t*-mezoni.

t-mezonning ahamiyat darajasi tadqiqotchi tomonidan diskriminatsiya natijalarining ishonchliligi to'g'risidagi mulohazalariga asoslangan holda tanlanadi. U, tekshirilayotgan gipoteza to'g'ri bo'lsa, xato qarorning qabul qilinish ehtimolini aniqlaydi. Texnik masalalarni yechishda ahamiyat darajasini $\alpha = 0{,}05$ deb olishga kelishilgan.

5.1.3.3. Model parametrlarining ishonchli bayes bahosini olish

Funksiya qiymatlarining

$$\psi(\overline{\Theta}) = \ln\{l(Y/\overline{\Theta})\pi(\overline{\Theta})\}$$

o'zgarish oralig'i $m(m = 10 \div 20)$ ta yarim kesmaga bo'linadi:

$$\Delta_j = (\psi_{j-1}, \psi_{j-1} + \Delta\psi_j),$$
$$j=1,2,\ldots,m.$$

Ψ funksiya qiymatlarining Δ_j yarim kesmada bo'lib qolish ehtimoli hisoblanadi :

$$P_j = \frac{\sum\limits_{l=1}^{n_j} l(Y/\overline{\Theta}[l])\pi(\overline{\Theta}[l])}{\sum\limits_{S=1}^{M} l(Y/\overline{\Theta}[S])\pi(\overline{\Theta}[S])},$$

bu yerda $\overline{\Theta}[S]$ - Ω_Θ sohadagi teng taqsimlangan tasodifiy sonlar;

n_j - Ψ funksiyasining qiymatlari Δ_j yarim kesmada bo'lgan tasodifiy sonlar miqdori;

M –Monte-Karlo usuli bo'yicha o'tkazilgan statistik tadqiqotlarning umumiy soni.

Kumulyativ funskiyaning qiymatlari hisoblanadi:

$$F_j = F_{j-1} + P_j,$$

$$F_0 = 0.$$

C parametrning qiymati interpolyatsion formula bo'yicha hisoblanadi:

$$C = \frac{(\alpha - F_{j-1})(\psi_j - \psi_{j-1})}{P_j} + \psi_{j-1},$$

bu yerda α - berilgan ahamiyat darajasi $(\alpha = 0{,}1 \div 0{,}01)$,

ψ_j -ψ funksiyaning Δ_j yarim kesmaning birinchi uchidagi qiymati,

$j - F_j \geq \alpha$ bo'ladigan tartib raqami.

Regression model parametrlarining ishonchli bayes bahosi bo'lib baholanuvchi parametrning ehtimoli katta qiymatlar oralig'i xizmat qiladi:

$$\omega_\alpha = \{\overline{\Theta} : \psi > C\}.$$

5.1.3.4. Regressiya funksiyasining ishonch oraliqli bayes bahosini topish

$\overline{X}$ ning belgilangan qiymatida $\varphi(\overline{a}, \overline{X})$ regressiya funksiyasining o'zgarish oralig'i $r(r = 10 \div 20)$ ta yarim kesmalarga ajraladi:

$$\Delta_j = (\varphi_j, \varphi_j + \Delta\varphi_j),\ j = 1,...,r\ .$$

$\varphi(\cdot)$ funksiya qiymatlarining Δ_j yarim kesmaga tushib qolish ehtimoli:

$$P_j = \frac{\sum_{m=1}^{n_j} l(Y / \overline{\Theta}[m])\pi(\overline{\Theta}[m])}{\sum_{S=1}^{M} l(Y / \overline{\Theta}[S])\pi(\overline{\Theta}[S])},$$

bu yerda $\overline{\Theta}[S]$ - Ω_{Θ} sohada tekis taqsimlangan tasodifiy sonlar;

n_j - $\varphi(\cdot)$ funksiyalarining qiymati Δ_j yarim kesmada bo'lgan tasodifiy sonlar miqdori;

M – statistik tadqiqotlarning umumiy soni.

Kumulyativ funksiyaning qiymatlari hisoblanadi:

$$F_j = F_{j-1} + P_j,$$
$$F_0 = 0.$$

Regressiya funksiyasining ishonchli bayes bahosi bo'lib (y'_α, y''_α) oraliq xizmat qiladi, uning chegaralari chiziqli interpolyatsiyaning quyidagi formulalari bo'yicha hisoblanadi:

$$y'_\alpha = \varphi_{j-1} + \frac{(0{,}5\alpha - F_{j-1})(\varphi_j - \varphi_{j-1})}{P_j}; \; y''_\alpha = \varphi_{k-1} + \frac{(1 - 0{,}5\alpha - F_{k-1})(\varphi_k - \varphi_{k-1})}{P_k},$$

bu yerda α - berilgan ahamiyat darajasi, *j* – shunday tartib raqamki,

$$F_{j-1} < 0{,}5\alpha, F_j \geq 0{,}5\alpha$$

bo'ladi,

k – shunday sonki

$$F_{k-1} < 1 - 0{,}5\alpha, F_k \geq 1 - 0{,}5\alpha.$$

5.1.3.5. Baholash natijalarini statistik tahlil etish

Baholash natijalarining statistik tahlili o'z ichiga quyidagilarni qamrab oladi:

- Regression model parametrlarining ahamiyati to'g'risidagi gipotezani tekshirish;
- Parametrlar bahosining aniqligini hisoblash;
- Regressiya funksiyasining aniqligini tekshirish.

Regression modelning parametrini nolinchi qiymati α ahamiyat darajasida ω_α ishonch oralig'ida yotsa, ahamiyatga ega emas deb olinadi:

$$(\Theta_{k-j}=0)\in\omega_{\varepsilon}; \quad j=1,2,...,\nu;\nu\le k,$$

bu yerda k – baholanuvchi parametrlarning umumiy soni,

ν - ahamiyatli parametrlar soni.

Parametrlar bahosining xatosi Monte-Karlo usuli bo’yicha hisoblanuvchi ω_{α} ishonch oralig’ining hajmi bilan quyidagi formulaga ko’ra aniqlanadi:

$$V_{\omega}=V\cdot\frac{n}{M},$$

bu yerda V – Ω_{Θ} sohaning ma’lum hajmi bo’lib, unda kompyuter yordamida tekis tasodifiy sonlar generatsiyalanadi,

M –tasodifiy sonlarning umumiy soni,

n – ω_{α} sohadagi tasodifiy sonlar miqdori.

Parametrlarni baholashdagi nisbiy xatolik quyidagi formula bo’yicha hisoblanadi:

$$\delta_1=\left(\frac{V_{\omega}}{\prod_{j=1}^{k}\hat{\Theta}_j}\right)^{\frac{1}{k}},$$

bu yerda $\hat{\Theta}_j$ - j-parametrning bahosi,

k – baholanuvchi parametrlarning soni.

Regressiya funksiyasini baholashdagi nisbiy xatolik quyidagi formula bo’yicha aniqlanadi:

$$\delta_2=\frac{\max\limits_{\overline{X}\in\Omega_X}\left|y''_{\alpha}(\overline{X})-y'_{\alpha}(\overline{X})\right|}{\max\limits_{\overline{X}\in\Omega_X}\left|\varphi(\overline{a},\overline{X})\right|},$$

bu yerda $(y'_{\alpha}(\overline{X}),y''_{\alpha}(\overline{X}))$ -kiruvchi kattaliklar Ω_X fazosining berilgan oralig’idagi $\overline{X}$ nuqtada $\varphi(\overline{a},\overline{X})$ regressiya funksiyasining ishonch oralig’i.

5.2. Noravshan joriy axborot holatida parametrli dasturlash masalalarini yechish algoritmi

S ta $t_1,...,t_s$ erkli o'zgaruvchili parametrli dasturlash masalasi yoki matrisa ko'rinishidagi S parametrik masala quyidagi tarzda yozib olinadi:

$$z = (\overline{a}_0' + \overline{t}'\overline{b})x + \overline{e}t \to \min,$$
$$(\overline{a} + \overline{c}t)x \subset K, \quad (5.2.1)$$
$$t \in E_{S.}.$$

Bu yerda $K = \{y \mid y \in R^n, y \leq \overline{a}_0 + \overline{d}t\}$ - R^n fazoning berilgan qavariq qism to'plami.

(5.2.1) masala parametrli dasturlashning quyidagi masalasiga olib kelinadi:

$$z = (a_0' + t'b)x + e't \to \min,$$
$$(a + ct)x \leq a_0 + dt, \quad (5.2.2)$$
$$t \in E_s.$$

Bu yerda *a, b, c, d, e* koeffitsiyentlarning qiymatlari noravshan qism to'plamlar shaklida yozib olingan, ya'ni mos to'plamlarning $\mu_{ij}^k(a_{ij}), \eta_{jl}^k(b_{jl}), \nu_{ijl}^k(c_{ijl})$ va $\xi_{il}^k(d_{il})$ tegishlilik funksiyalari berilgan.

(5.2.2) masalaning yechimi oshkor ravishda berilgan maqsad funksiyasi bo'ladi [28]:

$$z_s(t) = \min\{z = (a_0' + t'b)x + e't \mid (a + ct)x \leq a_0 + dt; x \geq 0\}.$$

(5.2.2) masalaning aniqlanish sohasi va maqsad funksiyasini shu sohaning har bir nuqtadagi qiymati t parametrga bog'liq bo'ladi. (5.2.2) masala yechish usulining ta'rifini noravshan muhitni ravshan muhitga olib kelish va optimal noravshan yechim mavjud bo'lgan t qiymatni topishni ta'riflashdan boshlaymiz.

I. Fazzifikasiya. Noravshan qism to'plamlar shaklida ta'riflangan koeffitsiyentlar qiymatining tegishlilik funksiyalari beriladi.

Bundan tashqari cheklanishlar beriladi. Jumladan, cheklanish koeffitsiyentlarining qiymatlari mos universal to'plamlarning noravshan qism to'plamlari shaklida ta'riflangan. $x \in R^m$ vektorning ratsional tanlovi amalga oshiriladi, u berilgan noravshan shaklni ma'lum ma'noda "maksimallashtiradi".

Natijada parametrik dasturlashning sodda masalasi hosil bo'ladi. Uning yechimi o'zgaruvchilarni noravshan parametrik dasturlash masalasida erkli va bazislilarga ajratadi.

II. $t = t^0$ ning ma'lum bir qiymatidan kelib chiqqan holda, mazkur qiymat uchun (5.2.2) masalaning muqobil yechimi mavjudligi, ya'ni $z_s(t)$ funksiyaning t^0 nuqtada aniqlanganligi tekshiriladi. (5.2.2) masala chiziqli dasturlashning quyidagi masalasiga olib kelinadi [12]:

$$\sum_{j=1}^{m} v_j x_j \to \min,$$

$$\sum_{j=1}^{m} w_{ij} x_j \leq g_i \ ,$$

$$x_j \geq 0 \, .$$

Noravshan parametrli dasturlash masalasining noravshan yechimini aniqlash jarayonining variantini ta'riflaylik.

Har biri $\sum_{j=1}^{m} w_{ij} x_j \leq g_i$ ko'rinishdagi *i*-cheklanishga tegishlilik darajasi bilan muvofiq ravishda tasvirlangan tekisliklar majmuini ta'riflovchi ifoda noravshan tekislikni aniqlab beradi. $S_{ij} = \sup p(w_{ij})$ - w_{ij} noravshan sonning tashuvchisi, $S_i = \sup p(g_i)$ - g_i noravshan sonning tashuvchisi bo'lsin. U holda, *i*-cheklanishning tashqi (koordinatalar boshiga nisbatan) qirrasi deb quyidagi tekislikni ataymiz:

$$\sum_{j=1}^{n} q_{ij} x_j = 1,$$

bu yerda

$$q_{ij} = \max\{|w_{ij}|\} / q \, ,$$

$$q = \min\{|g_i|\} \, .$$

i-cheklanishning ichki qirrasi deb esa quyidagi tekislikni ataymiz:

$$\sum_{j=1}^{n} r_{ij} x_j = 1,$$

bu yerda

$$r_{ij} = \min\{|w_{ij}|\} / r_i \, ,$$

$$r_i = \max\{|g_i|\}.$$

Birinchi kvadratda yotgan va nol bo'lmagan darajali barcha cheklanishlarni qanoatlantiruvchi *X* vektorning *K* qiymatlari majmuini joiz yechimlarning tashqi to'plami deb ataymiz. Mazkur to'plamning chegaralarida *i*-cheklanishning ixtiyoriy *i* dagi tashqi va ichki qirralari, hamda maqsad funksiyasining qirralari kesishmaydi.

Geometrik jihatdan har bir cheklanishga nisbatan tashqi yoki ichki qirralarni $\sum_{j=1}^{m} w_{ij} x_j \leq g_i$ munosabatga kirgan noravshan sonlarning ishoralariga qarab tanlagan holda, yoki mos yarim fazoni tanlab *K* to'plamni qurish mumkin. K to'plam joiz yechimlar ishtirokida qurilgani sababli, u qavariq bo'ladi.

Kerakli (tashqi yoki ichki V vektordagi noravshan sonning ishoralariga qarab) qirrani VX noravshan tekislikka nisbatan tanlagan holda, chiziqli dasturlashning sodda masalasiga ega bo'lamiz. Uni simpleks usul yordamida yechish noravshan chiziqli dasturlash masalasida o'zgaruvchilarning erkli va chiziqlilarga muqobil ajralishini ta'minlab beradi. Cheklanishlar tizimining shu tarzda hosil qilib olingan bazisli noravshan yechimlari noravshan chiziqli dasturlash masalasining muqobil yechimi bo'ladi.

III. p=0 va v=0 dab olgan holda, r-jadvalning koeffitsiyentini ratsional funksiyalar shaklida ifodalaymiz:

$$a_{ij}^{(r)} = D_{ij}^{(r)}(t) / N_{ij}^{(r)}(t)$$

va $t < t^0$ ga nisbatan $D_{ij}^{r} = 0;\ i = 0,1,...,m;\ j = 0,1,...,m+n$ va $N_{ij}^{(r)} = 0;\ i = 0,1,...,m;\ j = 0,1,...,m+n$ tenglamalarning barcha ildizlarini topamiz. Mazkur ildizlarni

$$st^{s(u+1)} > st^{su}, u = 0,1,...,H,$$

qoidaga muvofiq ravishda tartiblash natijasida quyidagi to'plam hosil qilib olinadi:

$$T_s^{(r)} = \{t^{su} \mid u = 0,1,...,H\}$$

va v=H shart tekshiriladi.

IV. (5.2.2) masalaning muqobil yechimi mavjud bo'lgan $t = t^0$ qiymat ma'lum bo'lsin. Agar bunday yechim ma'lum bo'lmasa, uni hosil qilib olinadi, yoki bunday qiymatning yo'qligini, ya'ni Q to'plamning bo'shligini aniqlovchi yuqorida bayon qilingan usuldan foydalaniladi. $s = -1, p = s, t^* = t^0, R = 0$ deb olgan holda, V-bo’limga o’tiladi.

V. $t_p = K_S^{*(r)}$ kritik qiymat aniqlanadi.

1. $|t_p| = \infty$ hol Q sohaning chegarasiga erishilganlikni anglatadi.
2. Agar s=-1 bo’lsa, u holda gap Q sohaning quyi chegarasi haqida boradi.

r ni r+p+1-R bilan almashtiramiz ($t^* = t^0$ uchun muqobil yechim). s=+1, p=s, $t^* = t^0$, R=0 qiymatlarda V bo’limga o’tamiz.

3. Agar s=+1 bo’lsa, u holda gap Q sohaning yuqori chegarasi haqida boradi. $z_s(t)$ funksiya va $x_1(t),...,x_n(t)$ munosabatlar aniqlangan. Hisoblashlar tugatiladi.

6. $|t_p| < \infty$ holda t_p kritik qiymatdan oshish mumkinligi o’rganiladi.

5. $\sigma = \sigma_p$ qiymat mavjud bo’lsin. Hal qiluvchi σ- satr aniqlanadi:

$$\sigma_p^{(r)} = \{\sigma | a_{0\sigma}^{(r)} + d_\sigma^{(r)} t_p = 0; \sigma = (1,...,m)\}.$$

6. $a_{\sigma j}^{(r)}(t_p) \geq 0$ (j=1,2,…,n+m) bo’lsin.

V.8 ga o’tamiz.

7. Aks holda

$$a_{\sigma t}^{(r+1)} = a_{\sigma j}^{(r)} / a_{\sigma t}^{(r)}; \qquad \text{(j=0,1,…,n+m);}$$

$$a_{ij}^{(r+1)} = a_{ij}^{(r)} - a_{\sigma j}^{(r+1)} a_{it}^{(r)}, \quad (m = 0,1,...,m; \neq \sigma; j = 0,1,...,n+m)$$

formulalar yordamida simpleks jadval quriladi (hamma koeffitsiyentlar t ga bog’liq funksiyalar bo’lishi mumkinligi e’tiborga olinadi; hal qiluvchi satrni tanlagandagina $t = t_p$ deb olinadi). r ni r+1 bilan, t^* ni t_p bilan, p ni p+s bilan almashtirib V-bo’limga o’tamiz.

8. $\tau_p^{(r)} \in \{\tau | \; a_{0\tau}^{(r)} + b_\tau^{(r)} t_p = 0; \; x_\tau - nobazisli\ o'zgaruvchi\}$

bo’lgan $\tau_p^{(r)}$ qiymatning mavjudligi tekshiriladi.

.

9. Agar V.8 bajarilsa, u holda $\tau = \tau_p^{(r)}$ deb olamiz.

10. Agar $a_{i\tau}^{(r)}(t_p) \leq 0, \; i = 1,...,n$ bo’lsa, u holda VI-bo’limga o’tamiz.

11. Aks holda V.7 dagi formulalar yordamida yangi simpleks jadvalni quramiz. r ni r+1 ga, t^* ni t_p ga, p ni p+s ga o’zgartirib, V-bo’limga o’tamiz.

12. Agar $\tau_p^{(r)}$ qiymat mavjud bo'lmasa, VI-bo'limga o'tamiz.

VI. $t^0 = t_p$, deb olib, VII-bo'limga o'tamiz.

VII. p=0, v=0 deb olib, $T_s^{(r)}$ to'plamni aniqlaymiz:

$$T_s^{(r)} = \{t^{su} \mid u = 0,1,...,H\}.$$

v=H tenglikni tekshiramiz.

v=H tenglik bajarildi. s=-1 holda V.2 bo'limga, s=1 da V.3 bo'limga o'tamiz.

v<H bo'lsin. V ni v+1 ga o'zgartirib, $z_s(t^{sv} + s\varepsilon)$ qiymatning mavjudligini tekshiramiz, bu yerda $0 < \varepsilon < \left|t^{s(v+1)} - t^{sv}\right|$ (bunda t^{sv} va $(t^{sv} + s\varepsilon)$ oraliqda yotuvchi kritik qiymatlar "yo'qolishi" mumkin). Lekin yetarli darajada kichik ε da quriluvchi oraliqning uzunligi ham istalgancha kichraytirilishi mumkin. Simpleks jadvallarning p ta o'zgartirishlaridan so'ng quyidagi hollar kuzatilishi mumkin (bunda r r+p ga almashtirilgan).

$z_s(t^{sv} + s\varepsilon)$ qiymat mavjuddir. Bunday holatda, $t^* = t^{sv} + s\varepsilon$ va $t_{p+s} = t^{sv}$ deb olgan holda p ni p+2s ga va r ni r+p ga almashtiramiz. V-bo'limga o'tamiz.

$z_s(t^{sv} + s\varepsilon)$ qiymat mavjud emas, ya'ni $t = t^{sv} + s\varepsilon$ da (5.2.2) masalaning muqobil yechimlari yo'q.

Agar simpleks jadvallar aqalli bir marta o'zgartirilgan bo'lsa, u holda $t^0 = t^{sv}$ deb olamiz va r ni r+p ga o'zgartiramiz. VII-bo'limga o'tamiz.

Aks holda, v=H da VII.1. bo'limga, v<H da VII.2-bo'limga o'tamiz.

Noravshan yechimga noravshan maksimal qiymat mos keladi:

$$\varphi_{z_1}(r) = \sup_{t \in z^{-1}(r)} \varphi_{o_1}(t).$$

Noravshan akslantirish S ta o'zgaruvchiga, ya'ni $t = t_1 \times t_2 \times ... \times t_s$ - mos to'plamlarning dekart ko'paytmasiga bog'liq bo'ladi. Umumiy holda, mazkur qism to'plamning tegishlilik funksiyasi quyidagi:

$$\varphi_z(t) = \prod_{i=1}^{s} \varphi_{z_1}(t) \tag{5.2.3}$$

yoki xususiy holda

$$\varphi_z(t) = \exp(-\Phi(t)), \tag{5.2.4}$$

ko'rinishga ega bo'ladi, bu yerda:

$$\Phi(t) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{s} k_i [\max(0, z_s(t) - ((a_0^{'} + t^{'}b)x + e^{'}t)]^2.$$

Agar tadqiqotchi yechim sifatida aniq bir $t \in T$ alternativani tanlamoqchi bo'lsa, uning tanlovi nafaqat mazkur alternativaning $\varphi_z(t)$ noravshan to'plamga tegishlilik darajasiga, balki z(t) funksiyaning mos qiymatiga tayanishi kerak.

Masalalarni parametrli dasturlash usuli bilan teskari matrisa usuli (o'zgartirilgan simpleks usul) yordamida yechish algoritmi ishlab chiqildi.

Algoritmda quyidagi o'zgaruvchilar ishtirok etadi:

EP –nollik mezon;

EL – yetarlicha katta son;

OF –maqsad funksiyasining turini tanlash o'zgaruvchisi (OF=1-minimallashtiruvchi maqsad funksiyasiga mos keladi; OF=-1-maksimallashtiruvchi maqsad funksiyasiga mos keladi);

N = n – asosiy o'zgaruvchilarning soni;

M1 = m1 - $\geq$ turidagi chegaralovchi tengsizliklar soni;

M2 = m2 - $\leq$ turidagi chegaralovchi tengsizliklar soni;

M = m – cheklanishlarning umumiy soni;

NN = n + m + m1 – asosiy o'zgaruvchilar, qo'shimcha o'zgaruvchilar va sun'iy o'zgaruvchilar yig'indisi;

A(I,J) = $\sigma_\alpha(a_{ij})$- cheklanishlar tizimining koeffitsiyenti;

A(I,0) = $\sigma_\alpha(b_i)$ – cheklanishlar tizimining o'zgarmaslari;

B(I,J) = $\sigma_\alpha(b_{ij})$ -bazisli teskari matrisaning elementlari;

B(I,0) = $\sigma_\alpha(x^B_{v(i)})$ – bazisli o'zgaruvchilar;

B(0,J) =$\sigma_\alpha(P_j)$ – simpleks multiplikatori;

C(0,I) - bazisni tanlash o'zgaruvchisi (agarda N1 o'zgaruvchi bazisga kirsa, u holda C(0,I) = 1, aks holda C(0,I) = 0);

C(1,I) – birinchi bosqichga nisbatan maqsad funksiyaning koeffitsiyentlari;

C(2,I) = $\sigma_\alpha(c_i)$ – ikkinchi bosiqchga nisbatan maqsad funksiyasining koeffitsiyentlari;

SP(J) = $\sigma_\alpha(SP_j)$ – simpleks mezon;

XN(I) = $\sigma_\alpha(x_{ik}^N)$ - A_k nobazisli vektorni bazisli vektor orqali ifodalovchi koeffitsiyentlar;

V(I) = v(i) - bazisli o'zgaruvchilarning raqamlari;

ST - bosqichni tanlash o'zgaruvchisi (birinchi bosqich, agar, ST=1 bo'lsa, va ikkinchi bosqich, agar ST=2 bo'lsa);

IT - iterasiyalar hisoblagichi;

K1 = k - bazisga kiritilishi kerak bo'lgan o'zgaruvchining raqami;

K2 = h - bazisdan o'chirilishi kerak bo'lgan o'zgaruvchining raqami.

Iterativ hisoblashlar jarayonini iterativ koeffitsiyentli teskari matrisa usulida tartiblaymiz (eski x_c^B bazisli yechim va bazisli teskari matrisa B_c^{-1} topilgan deb faraz qilamiz). Haqiqiy koeffitsiyentlarni oraliqlar bilan, haqiqiy arifmetik amallarni - oraliqli-arifmetikalar bilan almashtirganda, amallar ketma-ketligi quyidagicha bo'lishi kerak:

1) Simpleks multiplikatorini hisoblash:

$$\sigma_\alpha(P_j) = \sum_{i=1}^{m} \sigma_\alpha(c_{v(i)})\sigma_\alpha(b_{ij}^c) .$$

2) Simpleks mezonni hisoblash:

$$\sigma_{\alpha(}SP_j) = \sigma_\alpha(PA_j) - \sigma_\alpha(C_j) .$$

3) baziga kiritilishi lozim bo'lgan o'zgaruvchining raqamini aniqlash:

$$\sigma_\alpha(SP) = \max_j \sigma_\alpha(SP_j) .$$

4) Kerakli vektor A_k ni bazisli vektor orqali ifodalash uchun koeffitsiyentlarni hisoblash:

$$\sigma_\alpha(x_{ik}^N) = \sum_{j=1}^{m} \sigma_\alpha(b_{ij})\sigma_\alpha(a_{ik}).$$

5) Bazisdan o'chirilishi kerak bo'lgan o'zgaruvchining raqamini aniqlash:

$$\frac{\sigma_\alpha(x_h)}{\sigma_\alpha(x_{hk}^N)} = \min_i \left\{ \frac{\sigma_\alpha(x_i)}{\sigma_\alpha(x_{ik}^N)} \middle| \sigma_\alpha(x_{ik}^N) > 0 \right\}.$$

Bu yerda $\left\{ \frac{\sigma_\alpha(x_i)}{\sigma_\alpha(x_{ik}^N)} \middle| \sigma_\alpha(x_{ik}^N) > 0 \right\}$ to'plamlar kesishmaydi deb faraz qilinadi.

6) $\sigma_\alpha(b_{ij}^H) = \sigma_\alpha(b_{ij}^C) - \sigma_\alpha(x_{ik}^N)\sigma_\alpha(b_{kj}^H), \quad i \neq h, \; \sigma_\alpha(b_{hi}^H) = \dfrac{\sigma_\alpha(b_{hj}^C)}{\sigma_\alpha(x_{hj}^N)}$

qiymatlarni hisoblash, bu esa yangi bazisli teskari matrisani eskisi orqali ifodalash imkonini beradi.

7) Yangi bazisli yechim:

$$\sigma_\alpha(x_H^B) = (\sigma_\alpha(x_{v(1)}^B), \sigma_\alpha(x_{v(2)}^B), ..., \sigma_\alpha(x_{v(k)}^B), ..., \sigma_\alpha(x_{v(m)}^B))$$

quyidagi tarzda hisoblanadi:

$$\sigma_\alpha(x_{v(i)}^B) = \sigma_\alpha(x_{v(i)}^B) - \sigma_\alpha(x_{ik}^N)\sigma_\alpha(x_h^B), \qquad i \neq h; \;\; \sigma_\alpha(x_h^B) = \frac{\sigma_\alpha(x_h^C)}{\sigma_\alpha(x_{hj}^N)}.$$

Masalaning yangi $x_{vi)}^B \in \sigma_\alpha(x_{v(i)}^B)$ bazisli yechimi $\sigma_\alpha(SP_j)$ to'plamlar o'zaro kesishmasa va $\sigma_\alpha(SP_j) \geq 0$ bo'lsa muqobil hisoblanadi.

5.3. Noravshan joriy axborot asosida stoxastik dasturlash masalalarini yechish algoritmi

Real hayotda biz ierarxik tuzilmaga ega bo'lgan murakkab tizimlarga duch kelamiz. Bunday masalalarning o'lchami, odatda, juda katta bo'ladi, bu esa mazkur tizimlarga nisbatan simpleks usullarning qo'llanilishini qiyinlashtiradi. Bunday tizimlarni ularni o'zgartirmasdan turib simpleks usulda yechish juda mehnattalab jarayon bo'lib, u hattoki zamonaviy kompyuterlarda ham ko'p vaqt talab qiladi. Mazkur masalalarni maxsus usullarsiz yechib bo'lmaydi.

Shuning uchun bunday tizimlarga nisbatan dekompozitsiya usullari qo'llaniladi, ya'ni "katta" masalani kerakli sondagi kichik qism masalalarga ajratib, simpleks usul bilan, endilikda, uning qism masalalari yechiladi, so'ngra boshlang'ich masalani yechishga olib kelinadi.

Bunday yondashuvning ham o'ziga yarasha qiyinchiliklari bor, chunki har qanday tizimni qism masalalarga ajratib bo'lmaydi. Bu joriy masalaga ma'lum bir cheklanishlar va talablar yuklaydi va masalani yechish imkoni matrisaning tuzilmasiga bog'liq bo'ladi.

A cheklanishlar matrisasining tuzilmasiga qarab dekompozitsiya usullarining har xil turlari mavjud. Ko'pincha ajratiluvchi tuzilmalar uchraydi - bu blokli- diagonal tizim bo'lib, u umumiy ko'rinishdagi cheklanishlar guruhi bilan o'zaro bog'langan blokli-diagonal qism matrisalar majmuidir.

Shunday qilib, resurslarning harajat o'lchamlari va mahsulotning j-faoliyat turining birligiga nisbatan chiqarilish hajmini ifodalovchi a_{ij} texnik-iqtisodiy koeffitsiyentlarning A matrisasi tasodifiy bo'lsin. B – determinantlashgan. Stoxastik dasturlashning mos masalasi blokli tuzilmaga egadir:

$$F(x,y) = Cx + p_1\gamma y_1 + p_2\gamma y_2 + \dots p_N\gamma y_N \to \max,$$

$$\begin{array}{llllll}
A_0 x & & & & \subset & B_0, \\
A_1 x + & D_1 y_1 & & & \subset & B_1, \\
A_2 x + & & D_2 y_2 & & \subset & B_2, \\
 & & \cdot \quad \cdot \quad \cdot & & & \\
A_N x + & & & D_N y_N & \subset & B_N.
\end{array}$$

Cheklanishlarning bunday tuzilmaviy matrisali masalasi quyidagi ravishda yozib olinishi mumkin:

$$\sum_{k=1}^{t} A_k x_k = b_0 \ (m_0 \text{ ta satr}) ,$$

$$B_k x_k = b_k \quad (m_k \text{ ta satr}) , \text{k=1,…,t} , \qquad (5.3.1)$$

$$x_k \geq 0, \ \text{k=1,…,t}$$

shartlar asosida

$$P = \sum_{k=1}^{t} c_k^T x_k$$

maksimallashtirilsin.

Cheklanish *k=1,..,t* davrga tegishli bo'lgan $B_k x_k = b_k$ cheklanishlarni o'z ichiga olgan, $\sum_{k=1}^{t} A_k x_k = b_0$ bog'lovchi cheklanishlar guruhi esa butun davr ichida o'z kuchiga ega bo'lgan bir nechta bosqichlarga bo'lingan jarayonni ta'riflovchi modellarda, tabiiy ravishda, bunday tuzilma vujudga keladi.

Har bir avtonom tizim o'zining xususiy ($B_k x_k = b_k$) cheklanishlariga ega bo'lgan va, ayni paytda, $\sum_{k=1}^{t} A_k x_k = b_0$ ustuvor tashkiliy cheklanishlarga bo'ysunuvchi ierarxik tizimlarni modellashtirishda yuqorida ta'riflangan tuzilma vujudga keladi. Ma'lumki, agar biror yo'l bilan bog'lovchi cheklanishlardan qutilsak, masalani *t* ta kichik qism masalalarning yechimini topish orqali yechish mumkin.

Stoxastik modelning koeffitsiyentlari to'g'risidagi noravshan aprior axborotni shakllantirish imkonini beruvchi matematik apparat sifatida mazkur ishda noravshan to'plamlar nazariyasi [35] dan foydalaniladi. Amaliy noravshan tizimlarni qurishda modellashtirish obyekti bilan yaxshi tanish bo'lgan ekspert tomonidan joriy bilimlar bazasi generatsiyalanadi deb faraz qilanadi. Taklif etilayotgan usulning ma'nosi noravshan mantiqiy xulosaning natijalari va tajribaviy ma'lumotlar o'rtasidagi farqni minimallashtiruvchi noravshan termlarning tegishlilik funksiyalari hamda noravshan qoidalarning vaznlarini saralab olishdan iboratdir [2].

Noravshan joriy axborot bo'lgan holda munosabatlar noravshan stoxastik dasturlash masalasini ta'riflaydilar. Bunday axborotning bayoni noravshan sonlar yordamida bajarilishi mumkin. Noravshan stoxastik dasturlash masalasining doirasida uning yechimini aniqlashning ikkita yondashuvi ko'zdan kechirilishi mumkin:

- ravshan yechim - ma’lum ma’noda eng yaxshi hisoblangan komponentalari ravshan son bo’lgan x^+ vektordir;
- noravshan yechim - komponentalari noravshan sonlar bo’lgan x^0 vektordir.

Asosiy e’tibor ravshan yechimni izlash muammosiga qaratiladi. Lekin bu yo’lda joriy axborot qo’pollashadi, chunki ravshan yechim noravshan yechimning ravshan qiymatlardan aqalli bittasi xolosdir. Standart simpleks usul va jordan qisqartirishlari yordamida noravshan chiziqli tenglamalar tizimi uchun noravshan yechimni olish mumkin.

Bunday tizimlarga nisbatan ustunlarni generatsiyalash tushunchasiga asoslangan dekompozitsiya usullari qo’llaniladi, bunda nisbiy baholarni hisoblash uchun kerak bo’lgan *A* matrisaning nobazisli ustunlari zaruratga qarab generatsiyalanadi.

Faraz qilaylik, $B_k x_k = b_k$, $x_k \geq 0$ cheklanishlarni qanoatlantiruvchi x_k nuqtalarning S_k to’plami yopiq va chegaralangandir (biz x_k elementga yuqoridan mos cheklanishlar qo’ygan holda to’plamning berkligi va chegaralanganligini har doim ta’minlashimiz mumkin). U holda Dansig-Vulf ning usulida qo’llaniluvchi yana bir fundamental qonun - S_k to’plamning har bir nuqtasi quyidagi ko’rinishda ifodalana olinishidan iboratdir:

$$x_k = \sum_{j=1}^{r_k} \lambda_k^j x_k^j , \qquad (5.3.2)$$

bu yerda

$$\sum_{j=1}^{r_k} \lambda_k^j = 1, \; k=1, \ldots, t , \qquad (5.3.3)$$

$$\lambda_k^j \geq 0, \;\; j = 1, \ldots, r_k ,$$

$x_k^j \geq 0, \;\; j = 1, \ldots, \; r_k$ - esa S_k to’plamning uchlari (chetki nuqtalari) dir .

Biz joriy (5.3.1) masalani quyidagi ko’rinishda qayta izohlashimiz mumkin: (5.3.1) munosabat bilan aniqlanuvchi barcha yechimlardan

$$\sum_{k=1}^{t} c_k^T x_k$$

munosabatni maksimallashtiruvchi yechimlar topilsin.

(5.3.2) tenglikdan foydalangan holda, (5.3.1) ifodani quyidagi ko’rinishga keltirib olamiz:

$$P = \sum_{k=1}^{t} \sum_{j=1}^{r_k} (c_k^T x_k^j) \lambda_k^j \rightarrow \max , \qquad (5.3.4)$$

$$\sum_{k=1}^{t}\sum_{j=1}^{r_k}(A_k x_k^j)\lambda_k^j = b_0. \qquad (5.3.5)$$

Agar biz $p_k^j = A_k x_k^j, \quad j = 1,\ldots,r_k$ va $u_k^j = c_k^T x_k^j, \quad j = 1,\ldots,r_k$, belgilashlar kiritsak, u holda (5.3.2)-(5.3.5) ifoda λ_k^j o'zgaruvchilarga nisbatan *koordinatlashtiruvchi masala* deb nomlanuvchi chiziqli dasturlash masalasini aniqlaydi:

$$\sum_{k=1}^{t}\sum_{j=1}^{r_k} u_k^j \lambda_k^j \to \max, \qquad (5.3.6)$$

quyidagi shartlar asosida:

$$\sum_{k=1}^{t}\sum_{j=1}^{r_k} p_k^j \lambda_k^j = b_0, \qquad (5.3.7)$$

$$\begin{aligned}&\sum_{j=1}^{r_k}\lambda_k^j = 1, k = 1,\ldots,t,\\ &\lambda_k^j \ge 0, j = 1,\ldots,r_k, k = 1,\ldots,t.\end{aligned} \qquad (5.3.8)$$

Bu masala $m_0 + t$ ta satrga ega - ayni vaqtda joriy masala $m_0 + \sum_{k=1}^{t} m_k$ ta satrga ega edi. Shunday qilib, biz sezilarli potensial tejamga ega bo'lamiz. Koordinatlashtiruvchi masalaning vazifasi – x_k^j yechimlarga (5.3.1) munosabatni qanoatlantiruvchi λ_k^j vazn koeffitsiyentlarni mos qo'yishdir.

Lekin koordinatlashtiruvchi masaladagi ustunlar soni S_k, *k = 1,...,t* to'plamning uchlar soniga teng bo'lib, u juda katta bo'lishi mumkin. Shuning uchun, joriy masalaga nisbatan biz ustunlarni generatsiyalash usulidan foydalanamiz va ularni zaruratga qarab yaratamiz.

Faraz qilaylik, biz koordinatlashtiruvchi masalani yechish yordamida cheklanishlarning x^T baholar vektorini hisobladik va endilikda bizga uning nisbiy bahosini hisoblash uchun nobazisli ustuni kerak bo'ladi.

λ_k^j o'zgaruvchiga mos kelgan nobazisli ustunning nisbiy bahosi quyidagiga teng:

$$d_k^j = \pi^T \begin{bmatrix} \dfrac{p_k^j}{e_k} \end{bmatrix} - u_k^j .$$

π^T vektorni (5.3.1) tenglamalarga mos kelgan $(\pi_1^T : \pi_e)$ qismlarga ajratib, d_k^j ni quyidagi ko'rinishda ifodalashimiz mumkin:

$$d_k^j = \pi_1^T p_k^j + \pi_{nk} - u_k^j = \pi_1^T A_k x_k^j + \pi_{nk} - c_k^T = -(c_k^T - \pi_1^T A_k) x_k^j + \pi_{nk} .$$

Eng manfiy nisbiy bahoni izlash *k-qism masala* deb ataluvchi chiziqli dasturlash masalasini yechishga ekvivalentdir:

$$(c_k - \pi_1^T A_k) x_k \to \max , \qquad (5.3.9)$$

quyidagi shartlar asosida:

$$B_k x_k = b_k ,\ x_k \geq 0 . \qquad (5.3.10)$$

Yechimni x_k^q orqali belgilab olamiz, u S_k to'plamning chetki nuqtasi bo'ladi va eng manfiy nisbiy bahoga mos keladi. Shunday qilib, kerakli ustunni generatsiyalab olamiz:

$$\left[\frac{p_k^q}{e^k}\right] = \left[\frac{A_k x_k^q}{e_k}\right].$$

Endilikda uni koordinatlashtiruvchi masalaning bazisiga kiritishimiz mumkin, maqsad funksiyasining mos koeffitsiyentini esa $u_k^q = c_k^T x_k^q$ formula orqali hisoblaymiz.

Bu jarayon barcha *k=1,..,t* lar uchun takrorlanadi va barcha *k* qism masalalar ichida eng manfiy qiymatga mos kelgan yechim bazisga koordinatlashtiruvchi masalani kirituvchi ustunni aniqlaydi. Simpleks usulning keyingi qadamlarini bajarish keyingi iterasiyada nisbiy baholarning yangi vektorini hisoblashga olib keladi.

Har bir qism masalani yechishning afzalligi - alohida ravishda agregatlashtirishni amalga oshirish mumkin ekanligidir:

$$p_j = \sum_{k=1}^{t} A_k x_k^j \quad \text{va} \quad u_j = \sum_{k=1}^{t} c_k^T x_k^j .$$

U holda koordinatlashtiruvchi masala $m_0 + t$ ta satrning o'rniga $m_0 + 1$ ta satrga va aqalli bitta masalaga ega bo'ladi:

$$\sum_{k=1}^{t} (c_k^T - \pi_1^T A_k) x_k \qquad (5.3.11)$$

munosabatni

$$B_k x_k = b_k ,\ k = 1,...,t,\ \ x_k \geq 0 \qquad (5.3.12)$$

shartlar asosida maksimallashtirilsin.

Kelgusida *t* ta xususiy qism masalalarni ularning yechimlarini agregatlashtirish orqali bu masala yechilishi mumkin.

(5.3.6) masala yechimidagi birinchi variantning afzalligi - uning egiluvchanligidir. Ushbu egiluvchanlik evaziga to'lov - koordinatlashtiruvchi masaladagi ortiqcha (t-1) ta satr.

Oraliqli va noravshan arifmetikaning qo'llanilishi muqobillashtirish masalasini yechish jarayonida joiz va noravshan yechimlarning sohalari bilan ishlash imkonini beradi.

Joriy masalaning yechishni chiziqli dasturlashning bir qator masalalarini yechishga olib kelamiz. Buning uchun diskret α - bosqichlarni kiritamiz. Natijada, noravshan cheklanishlar quyidagi oraliqli ko'rinishni qabul qiladi:

$$P = \begin{cases} \sigma_\alpha(a_{i1})x_1 + \sigma_\alpha(a_{i2})x_2 + \ldots + \sigma_\alpha(a_{in})x_n \subseteq \sigma_\alpha(b_i), i = \overline{1,m}, \alpha = \overline{1,p}, \\ x_j \geq 0, j = \overline{1,n} \end{cases}$$

Shunday qilib, noravshan to'plamlardan ravshan aniqlanganlarga o'tdik va σ- sodda oraliq ekanligini bilgan holda, masalani quyidagi ko'rinishda yozib olishimiz mumkin:

$$(\underline{a}_{11},\overline{a}_{11})x_1 + (\underline{a}_{12},\overline{a}_{12})x_2 + \ldots + (\underline{a}_{1n},\overline{a}_{1n})x_n \subseteq (\underline{b}_1,\overline{b}_1),$$
$$(\underline{a}_{21},\overline{a}_{21})x_1 + (\underline{a}_{22},\overline{a}_{22})x_2 + \ldots + (\underline{a}_{2n},\overline{a}_{2n})x_n \subseteq (\underline{b}_2,\overline{b}_2),$$
$$\ldots$$
$$(\underline{a}_{m1},\overline{a}_{m1})x_1 + (\underline{a}_{m2},\overline{a}_{m2})x_2 + \ldots + (\underline{a}_{mn},\overline{a}_{mn})x_n \subseteq (\underline{b}_m,\overline{b}_m).$$

Endilikda, masalani chiziqli dasturlashning sodda masalasiga keltirish uchun oraliqning chap va o'ng chegaralari bo'yicha, tengsizliklarning qoidasini bilgan holda, yozib olish yetarlidir, ya'ni biz tizimni quyidagi ko'rinishga keltirib olamiz:

$$(\underline{a}_{11},\overline{a}_{11})x_1 + (\underline{a}_{12},\overline{a}_{12})x_2 + \ldots + (\underline{a}_{1n},\overline{a}_{1n})x_n \geq (\underline{b}_1,\overline{b}_1),$$

$$(\underline{a}_{11},\overline{a}_{11})x_1 + (\underline{a}_{12},\overline{a}_{12})x_2 + \ldots + (\underline{a}_{1n},\overline{a}_{1n})x_n \leq (\underline{b}_1,\overline{b}_1),$$

$$(\underline{a}_{21},\overline{a}_{21})x_1 + (\underline{a}_{22},\overline{a}_{22})x_2 + \ldots + (\underline{a}_{2n},\overline{a}_{2n})x_n \geq (\underline{b}_2,\overline{b}_2),$$

$$(\underline{a}_{21},\overline{a}_{21})x_1 + (\underline{a}_{22},\overline{a}_{22})x_2 + \ldots + (\underline{a}_{2n},\overline{a}_{2n})x_n \leq (\underline{b}_2,\overline{b}_2),$$

$$\ldots$$

$$(\underline{a}_{m1},\overline{a}_{m1})x_1 + (\underline{a}_{m2},\overline{a}_{m2})x_2 + \ldots + (\underline{a}_{mn},\overline{a}_{mn})x_n \geq (\underline{b}_m,\overline{b}_m),$$
$$(\underline{a}_{m1},\overline{a}_{m1})x_1 + (\underline{a}_{m2},\overline{a}_{m2})x_2 + \ldots + (\underline{a}_{mn},\overline{a}_{mn})x_n \leq (\underline{b}_m,\overline{b}_m).$$

Murakkab bo’lmagan almashtirishlar yordamida noravshan koeffitsiyentli masaladan ravshan koeffitsiyentli chiziqli dasturlash masalasiga o’tildi, bunda, cheklanishlar soni ikki baravarga oshdi va hosil bo’lgan masalani simpleks usulda yechib olish mumkin.

Oraliqli tahlil va turli xil minimaks yondashuvlarini qo’llash bir qator afzalliklarga ega:

- amaliyotda, ko’pincha, aniq ko’rinishda berilmaydigan noaniq omillarning ehtimolli tavsiflarini bilish talab qilinmaydi;
- minimaksli yondashuvda ehtimolliklar yoki matematik kutilmalarga nisbatan emas, izlanayotgan kattaliklarga nisbatan qat’iy baholar olinadi, bu esa, joriy parametrlarning soni kam va bitta yoki bir nechta amaliy tadbiqlar berilgan holda, katta ahamiyatga ega bo’ladi;
- statistik tavsiflar aniq bir tajribaning ma’lum bir yondashuvini kafolatlab bera olmaydi;
- barcha hollarda izlanayotgan yechimlarning ikki tomonlama approksimatsiyalari beriladi.

Minimaksli yondashuvda noaniq kattaliklar ustidagi amallar sohalar ustidagi ma’lum bir amallarga olib kelinadi, lekin, sodda joriy sohalar holida ham, ular ustidagi amallar natijasida murakkab shakldagi sohalar hosil bo’ladi. Shuning uchun, amaliyotda noaniqlik sohasining belgilangan miqdordagi parametrlarga bog’liq bo’lgan sohalar bilan approksimatsiyasi qo’llaniladi. Noaniqlik natijaviy sohalarining hajmini minimallashtirish masalasi ham qo’yiladi.

Hisoblash natijalari aniqligini oshirilishi (natijaviy oraliqning kengligini kamaytirish) shu omillarga nisbatan ta’sirning o’rnini bosish hisobiga erishiladi. Mos ratsional funksiyasining umumlashgan kengaytmasini o’z ichiga olgan eng tor oraliqdan olingan sonlar to’plamini hosil qilib olish masalasi mazkur to’plam uchun muqobillashtiruvchi masala sifatida qo’yilishi mumkin.

Yaxlitlash xatoligini kamaytirish uchun sonlarning razryadligi o’zgartiriladi, kompyuterda sonlarni ifodalashning turli xil usullaridan va amallar zanjirining maxsus tartiblashuvidan foydalaniladi. So’nggi omil ta’sirining o’rnini bosish uchun esa joriy algoritm hisoblash jarayonida oldindan qayta ishlanadi.

Oraliqli yondashuv, odatda, aniq qiymatni unga “juda ham yaqin” bo’lgan yaqinlashish bilan approksimatsiyalashga asoslangan sonli algoritmlarni qurishda matematik qat’iylikni kiritishga imkon beradi. Oraliqli usullarga nisbatan ta’riflangan noaniqlik nuqtai nazaridan yechimlarning eng yomon holat ma’nosiga ega bo’lgan ikki tomonlama approksimatsiyalari keltirib o’tiladi.

Bu jarayon teskari matrisa usuli yordamida chiziqli dasturlash masalasini yechish algoritmining oraliqli variantini beradi.

Shunday qilib, ko’rib chiqilgan mulohazadan noravshan koeffitsiyentli masalani yechish algoritmi kelib chiqadi. Mazkur mulohazalarning tartibiga rioya qilgan holda, masalani yechish algoritmini tuzamiz. Uning ko’rinishi quyidagichadir:

Joriy masala
$\Downarrow$
Diskret α - bosqichlar kiritiladi
$\Downarrow$
Cheklanishlar oraliqli ko’rinishni qabul qiladi
$\Downarrow$
Tengsizliklar, ularning ishoralarini hisobga olgan holda, alohida qilib chap va o’ng chegaralar bo’yicha yozib olinadi (bunda o’lcham oshadi)
$\Downarrow$
Ravshan koeffitsiyentli CHD masalasi hosil qilinadi
$\Downarrow$
Hosil bo’lgan masala simpleks usulda yeciladi

Ko’rib turganimizdek, noravshan matematik dasturlashning joriy masalasi chiziqli dasturlashning sodda masalalari ko’rinishida mavjud alternativalar to’plamida tasvirlanadi. Agar x_0 alternativa $\min\langle c, x\rangle$ masalaning α darajali to’plamdagi yechimi bo’lsa, u holda α son x_0 alternativaning joriy masalalarning noravshan yechimlar to’plamiga tegishlilik darajasi bo’ladi. Shunday qilib, α ning barcha qiymatlarini saralab chiqib, noravshan yechimning tegishlilik funksiyasiga ega bo’lamiz.

Agarda c_i maqsad funksiyasining qiymatlari noravshan bo’lsa, u holda har bir α bosqich uchun $\sigma_\alpha(c_j), J=\overline{1,n}$ to’plamlarning mos chegaralarini, oraliqli arifmetikaning qoidalariga muvofiq ravishda, $\langle c, x\rangle$ ni oldindan minimallashtirgan holda tanlash kerak.

Keltirilgan mulohazadan ko'rinib turibdiki, egiluvchanlik hisobiga masalaning o'lchami oshadi. To'plam ko'rinishidagi cheklanishli joriy masala murojaat qilish oson bo'lgan tengsizliklar ko'rinishidagi cheklanishli masalaga o'tadi. Bunda yaxshi ishlab chiqilgan klassik usullardan foydalanish imkoniyati saqlanib qoladi.

Tajribaviy hisob-kitoblarning natijalari shuni ko'rsatdiki, sodda usuldan oraliqli ko'rinishga o'tganda uning xossalari, umuman aytganda, yomonlashadi. Hisoblanuvchi oraliqlarning kengligi yaxshi asoslangan matrisali tizimlarga nisbatan tez o'sadi. Shunga qaramay, masalada noaniq joriy ma'lumotlar bo'lganida, oraliqli tahlil chegaralarni va yechimga sust holatlarda yaqinlashishni ta'minlab beradi.

5.4. Noravshan dinamik dasturlash masalasini yechish algoritmi

Resurslarni ratsional taqsimlash masalasi noravshan to'plamni qism to'plamlarga bo'lish masalasiga olib kelinadi [18]. P(r_j)$\geq$0 o'lchamga ega bo'lgan $r_j \in R$, j=1,…,n resurslarning berilgan R={r_1, …, r_n} to'plami uchun $\sum_{i=1}^{m} f(q_i)$ ni minimallashtiruvchi m ta R_1, …, R_m kesishmaydigan qism to'plamlarga bo'linishni topish kerak, bu yerda f – (0;q_{rp}] da uzluksiz, nomanfiy va pastga qarab qavariq, q_i- R_i qism to'plamning $\sum_{r \in R_i} P(r)$ ga teng bo'lgan o'lchami, q_i< q_{rp}, i=1,…,m - qism to'plamlarning o'lchamidir.

Bu masalani yechish uchun algoritmlarning parametrik to'plami taklif etiladi, bu yerda α=1,2,… parametr. [102] algoritmga ko'ra resurslar ikkita bosiqchga taqsimlanadi. To'liq saralash algoritmi yordamida R to'plamning o'lchami bo'yicha min{n, αm} dan hosil qilingan R(α) to'plamning maksimal resurslari taqsimlanadi. Buning uchun, joriy diskret masaladan "diskret-uzluksiz" masala hosil qilinib olinadi, uning resurslar to'plami R(α)$\cup r^{н}$ ga teng, bu yerda $r^{н}$ - P($r^{н}$)=$\sum P(r)$, r$\in$R\ R(α) o'lchamli "uzluksiz" resursdir. Diskret resurslardan farqli o'laroq, uzluksiz resursni turli xil qism to'plamlarga taqsimlangan ixtiyoriy sondagi r$\in$R qismlarga ajratish mumkin. Yuqorida aytib o'tilgan "diskret-uzluksiz" masalaning muqobil yechimida joriy masalaning R(α) to'plamlari resurslarining taqsimoti R(α) to'plamlarning resurslar taqsimotiga teng deb olinadi. Ikkinchi bosqichda R(α) to'plamlarning resurslar taqsimotiga [102] algoritm yordamida taqsimlanmay qolgan "diskret" resurslar qo'shib qo'yiladi, ulardan $r^{н}$ "uzluksiz" resurs hosil qilib olinadi.

Amaliyotda *n* ta resurslarning *m* ta bir turdagi korxonalar bo'yicha taqsimoti alohida qiziqish uyg'otadi. Bunday masala determinantlashgan masalaning noravshan nusxasidir. Masalada *m* ta bir jinsli korxonalardan iborat tizimdan *n* ta erkli resurslarga arizalar kelib tushadi. j- oqimning jadalligi λ_j, j=1,…,n ga teng.

m - butun son bo'lsin; *q* va q_{rp} - musbat sonlar, q < q_{rp}; f - [0;q_{rp}) da aniqlangan funksiya, f - aniqlanish sohasida uzluksiz va musbat, hamda (0;q_{rp}) da qavariq. Resurslar taqsimotining o'rganilayotagan П(m, q, q_{rp}, f) masalasi quyidagi tarzda bayon qilinadi.

I$\in Д_П$ xususiy masalalarning $Д_П$ to'plami berilgan. I xususiy masalaning boshlang'ich ma'lumotlari $r_j \in R$, j=1,…,n resurslar turlarining R to'plami va P P_j= P(r_j)$\in$Q resurslarning o'lchamidir. Ma'lumki, I$\in Д_П$ uchun:

$$\frac{1}{m}\sum_{r\in R} P(r) \le q < q_{rp}. \qquad (5.4.1)$$

I masalaning joiz yechimi X deganda R to'plamning m ta R_1,R_2,…, R_m kesishmaydigan qism to'plamlarga ajralishi tushiniladi, bunda tashkil etuvchi resurslarning yig'indisiga teng bo'lgan q_i(X, I) qism to'plamning o'lchami q_{rp} dan oshmaydi, ya'ni:

$$q_i(X, I) = \sum_{r\in R_i} P(r) < q_{rp},\ i=1,\dots,m . \qquad (5.4.2)$$

I$\in Д_П$ masalaning muqobil yechimi deganda shunday $X^* \in S_П(I)$ joiz boshqaruv tushuniladiki, bunda $S_П(I)$- I$\in Д_П$ masalaning joiz yechimlari to'plami bo'lib, har qanday X$\in S_П(I)$ larda $F_П$(X^*, I) $\le$ $F_П$(X, I), bu yerda:

$$F_П(X, I) = \sum_{i=1}^{m} f(q_i(X, I)).$$

Berilgan I masala uchun $S_П(I) = \varnothing$ holda X muqobil yechimni topish talab qilinadi.

I$\in Д_П$ masalani yechish algoritmi quyidagi amallar ketma-ketligini o'z ichiga oladi.

1. R to'plamdan $R_{Z(\alpha)} \cup r_н$ to'plamni hosil qilib olish, bu yerda $R_{Z(\alpha)}$- R to'plamning min{n, αm} dan hosil bo'lgan resurslar o'lchami

bo'yicha maksimal to'plamidir , $r_н$ - $P_н$=P($r_н$)= $\sum P(r)$, $r \in R \setminus R_{Z(\alpha)}$ o'lchamli "uzluksiz" resurs.

2. $R_{Z(\alpha)}$ to'plamning shunday Z(α) resurslar taqsimoti aniqlanadiki, bunda, birinchidan

$$\max(q_i(Z(\alpha),I)+c_i(P_н, \bar{q}(Z(\alpha),I))<q_{гр}, \tag{5.4.3}$$

ikkinchidan, ixtiyoriy X(α)$\in S_П(I)$ uchun

$$\sum_{i=1}^{m} f(q_i(Z(\alpha),I) + c_i(P_н, \bar{q}(Z(\alpha),I)) \le \sum_{i=1}^{m} f(q_i(X(\alpha),I) + c_i(P_н, \bar{q}(X(\alpha),I)), \tag{5.4.4}$$

bu yerda X(α) - R to'plamning m ta qism to'plamlarga bo'linishlari to'plami, agarαm >n va f funskiya qat'iy qavariq bo'lmasa, u holda, uchinchidan

$$\min \bar{q}(Z(\alpha),I) \ge \alpha \max_{r\in R\setminus R_{Z9\alpha)}} \{P(r)\}. \tag{5.4.5}$$

Agarda (5.4.3)-shartni qanoatlantiradigan Z(α)$\in S_П(\alpha)$ mavjud bo'lmasa, resurslar taqsimoti to'xtatiladi va algoritm bo'yicha "false" javobi chiqariladi.

3. Agarda taqsimotda qism to'plamning maksimal o'lchami $q_{гр}$ dan kichik bo'lmasa, u holda resurslarning taqsimoti to'xtatiladi va algoritm bo'yicha "false" javobi chiqariladi. Bunda:

$$\alpha(m, q, q_{гр}) = (mq - q_{гр})/m(q_{гр}-q),$$

$$L_j(\alpha,m,k,y) = \frac{[m/k](f(yg_1(\alpha,k)+(k-1)f(yg_2(\alpha,k)))+(m-k[m/k])f(y)}{mf(y)} - 1,$$

bu yerda:

$$g_1(\alpha,k) = (\alpha+2)/(\alpha+1) - 1/k(\alpha+1),\ k=1,2,\ldots,m,$$

$$g_2(\alpha,k) = 1 - 1/k(\alpha+1),\ k=1,2,\ldots,m,$$

$$H_i(\alpha, m, q) = \sup_{0<y<q} \max_{2\le k\le m} L_j(\alpha, m, k, y).$$

Kiruvchi mahsulotga bo'lgan talab to'liq qanoatlantirilgan bo'lsada, , rejadan tashqari jihozdagi nosozliklar, xizmat ko'rsatuvchi xodimlarning past malakali ekanligi, yomon ob-havo sharoitlari va boshqa sabablar tufayli kelib chiqadigan tasodifiy tebranishlarga duch keladigan sharoitlarda obyektlar o'rtasida chegaralangan resurslarni taqsimlashning stoxastik masalasini ko'rib chiqamiz. Demak, mazkur kattaliklar u yoki bu oraliqda yotishi mumkin bo'lgan noravshan ehtimolliklar berilishi mumkin xolos.

$p_{ij}\,(j = 0,1,...,n_i; i = 1,2,...,m)$ – i-obyektning mahsuldorligi $[(j - 1/2)a, (j + 1/2)a]$ oraliqda qiymatlarni qabul qilish ehtimoli (μ_A tegishlilik funksiyasi bilan) berilgan bo'lsin, bu yerda a - diskretlikning berilgan oralig'i. Texnologik jarayonlar majmuiga N hajmdagi har bir obyekt uchun kiruvchi mahsulot hisoblangan resurslarning umumiy hajmi ajratilgan. Resurslarning berilgan hajmini m ta texnologik jarayonlar o'rtasida taqsimlash kerak, ya'ni har bir obyekt uchun obyektlarning mahsuldorligini pasaytiruvchi umumiy yo'qotishlarning funksionalini minimallashtiradigan qilib x_i midordagi resurslar hajmini ajratib berish va har bir cheklanishlar tizimini har bir turdagi mahsulotlar hajmida bajarish kerak.

$\beta_{ij}\,(j = 0,1,...,n_i; i = 1,2,...,m)$ orqali i-obyektning mahsuldorligi unga x_i hajmdagi resurslarni ajratib berish sharoitida $[(j - 1/2)a, (j + 1/2)a]$ oraliqda yotish ehtimolini (μ_B tegishlilik funksiyasi bilan) belgilaymiz. Resurslar korxona tomonidan a ga karrali hajmda ajratib beriladi. Korxonaga x_i hajmdagi resurslarni ajratib berish sharoitida *i*-korxonaning mahsuldorligi $D_i = \min(x_i, \varphi_i)$ ifoda bilan aniqlanadi.

i-oqim mahsuldorlik qiymatlarining unga x_i miqdorda resurslarni ajratib berish sharoitida diskret taqsimoti quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi [103]:

$$\beta_{ij}(x_i) = \begin{cases} p_{ij}, & agar \quad x_i > ja, \\ \sum\limits_{k=j}^{n_i} p_{ik}, & agar \quad x_i = ja \quad (j = 0,1,...,n_i; i = 1,...,m), \\ 0, & agar \quad x_i < ja. \end{cases} \qquad (5.4.6)$$

Agarda korxona har xil turdagi mahsulotlarni ishlab chiqarsa, u holda *i*-turdagi mahsulotlarning ko'pi bilan S_i tasining sotuvga chiqarilish ehtimoli quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$p(S_i) = \sum_{j=S_i}^{n_i} \beta_{ij}(x_i), \quad (i = 1,...,m).$$

i-turdagi mahsulotni chiqarish hajmining matematik kutilmasi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$M_i(x_i) = a\sum_{j=0}^{n_i} j\beta_{ij}(x_i)\,.$$

i-turdagi mahsulotni chiqarish hajmini kamaytirish bilan bog'liq yo'qotishlar kattaligi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$Q_i(x_i) = \psi_i(b_i) = \psi_i\left\{a\sum_{j=0}^{n_i} j[p_{ij} - \beta_{ij}(x_i)]\right\},$$

bu yerda $\psi_i(b_i)$ - argumentlar bo'yicha kamaymaydigan funksiya.

Bu holda chegaralangan resurslarni muqobil taqsimlash masalasi quyidagi tarzda bayon qilinadi:

$$\Phi(x_1^*, x_2^*, ..., x_m^*) = \min_x \Phi(x_1, x_2, ..., x_m) =$$

$$= \min_x [\sum_{i=1}^{m} \psi_i [a\sum_{j=0}^{n_i} j(p_{ij} - \beta_{ij}(x_i))] + f(\sum_{i=1}^{m} x_i)], \qquad (5.4.7)$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_i \le N\,, \qquad (5.4.8)$$

$$\sum_{j=S_i}^{n_i} \beta_{ij}(x_i) \ge \beta_i \quad (i = 1,...,m), \qquad (5.4.9)$$

$$a\sum_{j=0}^{n_i} f\beta_{ij}(x_i) \ge R_i \quad (i = 1,...,m)\,, \qquad (5.4.10)$$

($f(\sum_{i=1}^{m} x_i)$ -kamaymaydigan funksiya).

(5.4.6)-(5.4.10) masalani yechishdagi qiyinchiliklar funksionalning nochiziqligi va (5.4.9)-(5.4.10) cheklanishlar, muqobillashtiruvchi o'zgaruvchilar vektorining diskretligi, shuningdek, (5.4.6) funksional va (5.4.9)-(5.4.10) cheklanishlarning chap qismlari muqobillashtiruvchi parametrlarga bog'liq oshkor funksiyalar emasligi bilan bog'liqdir.

Masalani yechish algoritmini ko'rib chiqamiz. $G = G_1 \times G_2 \times \cdots \times G_m$ - i-korxonaga ajratiluvchi resurslar hajmlari vektorining qiymatlar to'plami, bu yerda $G_1 \times G_2$ - to'plamlarning dekart ko'paytmasi W ta kesihmaydigan qism to'plamlar $G^v \quad (v = 1,...,W)$ ga bo'linadi. (5.4.8)-(5.4.10) cheklanishlarning bajarilish sharti tekshiriladi. (5.4.6) funksionalning qiymati har bir hosil bo'lgan qism to'plamlarning quyi chegarasida hisoblanadi va hosil bo'lgan qism to'plamlarning har birida joiz yechimlarga ega bo'lmagan qism to'plamlar bartaraf etiladi, kelgusida ajratiladigan funksionalning eng kichik quyi chegarali qism to’plami tanlanadi. (5.4.8)-(5.4.10) cheklanishlarni qanoatlantiruvchi resurslar hajmi vektorining bitta qiymatidan iborat bo’lgan, funksionalning qiymati variantlarning ajratilmagan qism to’plamlar uchun umumiy yo’qotishlarning quyi chegarasidan kichik bo’lgan qism to’plam hosil bo’lmagunicha bunday jarayonlar bajariladi.

Quyida algoritmning rasmiy hisoblash sxemasi keltiriladi. $M_{1i}^{v}, M_{2i}^{v} \quad (i=1,...,m)$ - G^{v}-variantlar qism to’plamida i-korxonaga ajratib beriluvchi resurslar hajmining minimal va maksimal qiymatlaridir. Umumiy yo’qotishlar qiymatlarining quyi chegaralarini hisoblashda va cheklanishlarni bajarilish imkonini tekshirishda muqobil yechimlarning quyidagi xossalaridan foydalanilgan [102]:

$$\min_{x}[\sum_{i=1}^{m} \psi_i [a\sum_{j=0}^{n_i} j(p_{ij} - \beta_{ij}(x_i)] + f(\sum_{i=1}^{m} x_i)] \geq$$
$$\geq \sum_{i=1}^{m} \min_{x} \psi_i \{a\sum_{j=0}^{n_i} f[p_{ij} - \beta_{ij}(x_i)]\} + \min_{x} f(\sum_{i=1}^{m} x_i).$$

Masalani joiz va muqobil yechimlarining o’rnatilgan xossalari hisoblash hajmlarini va komyuter xotirasini, dinamik dasturlash algoritmlaridan foydalangan har qadamida o’zgaruvchilarning qiymatini

$$M_{1i}^{v} \leq x_i \leq M_{2i}^{v} \quad (i=1,...,m)$$

to’plamdan tanlash hisobiga, qisqartirish imkonin beradi. Lekin, tadqiqot natijalarining ko’rsatishicha, masalalarni dinamik dasturlash algoritmlari bilan yechishda cheklanishlarning mavjudligi hisobiga jadalligi kamroq saralash amalga oshiriladi va (5.4.8)-(5.4.10) shartni qanoatlantirmaydigan bir qator variantlar tahlil qilinadi. Shuning uchun taklif etilayotgan algoritmlar masalalarning mazkur sinfini yechishda hisoblash miqdori va kerakli xotira hajmi bo’yicha samaraliroqdir.

5.5. Obyektga-mo’ljallangan yondashuv asosida imitasion modellashtirish masalalarini yechish algoritmi

Hozirgi paytda imitasion modellashtirishning usul va vositalari turli xil amaliy sohalarda (AS) - fazoda, transport tizimlarida, kompyuter tarmoqlarida, ekologiyada, medisinada, iqtisodda murakkab tizimlarni o’rganish va loyihalashtirish amaliyotida ulkan ahamiyat egallaydi.

Bashoratlashning statistik uslublariga nisbatan imitasion modellarni qo’llash katta imkoniyatlar yaratib beradi. Buning sababi, hodisa va obyektlarning rivojlanishida inersiyaning mavjudligidir. Amaliy ishda statistik usullarning rivojlanishi va qo’llanilishi uzoq tarixga ega bo’lgan tahlil apparatiga tayanishi katta ahamiyat kasb etadi.

Statistik usullarga tayangan bashoratlash jarayoni ikkita bosqichga bo’linadi. Birinchi, induktiv bosqich - uzoq vaqt davomida kuzatilgan va mos statistik qonuniyatlarning faraziga ko’ra model ko’rinishdagi ma’lumotlarni umumlashtirishga asoslanadi. Statistik model yoki analitik ko’rinishda ifodalangan rivojlanish jadalligi, bitta yoki bir nechta omil-argumentlarga bog’liq tenglamalar ko’rinishida olinadi. Bir qator hodisalar, murakkab iqtisodiy ko’rsatkichlar majmuini o’rganishda, asosan, statistik bog’lanishlarni xarakterlovchi tenglamalardan tarkib topgan o’zaro bog’langan tenglamalar tizimlarini ishlab chiqishga to’g’ri keladi. Bashoratlash uchun statistik modelni qurish va qo’llash, oxirgisining ko’rinishiga qaramay, hodisalarning dinamikasi yoki bog’lanishini ta’riflovchi tenglamaning ko’rinishini tanlash va u yoki bu usul yordamida uning parametrlarini baholashni o’z ichiga oladi. Ikkinchi usul, umuman olganda bashoratlash, deduktivdir.

Bu bosqichda topilgan statistik qonuniyatlar asosida bashoratlanuvchi omilning kutilayotgan qiymati aniqlanadi. Olingan natijalarni xulosa sifatida qabul qilish kerak emas. Ularni baholash va qo’llashda statistik modelni ishlab chiqishda hisobga olinmagan omil, sharoit yoki cheklanishlar e’tiborga olinishi, topilgan statistik tavsiflar ularning shakllanishida kutilayotgan o’zgarishlarga asoslanib to’g’irlanishi kerak. Statistik usul yordamida topilgan bashoratli baholar juda ham muhim material bo’lib, tanqidiy jihatdan anglanishi kerak. Bunda hodisalar va obyektlarning rivojlanish jadalliklaridagi sodir bo’lishi mumkin bo’lgan o’zgarishlarni hisobga olish muhimdir.

Olinayotgan xulosalardagi bunday shartlar bir qator statistik usullarning qayta ishlanayotgan ma’lumotlarni sifatiga bo’lgan qat’iy talablarga va tahlil qilinayotgan kattaliklar (ularning taqsimot) xususiyati to’g’risidagi gipotezalarga asoslanadi. Amaliyotda esa qaror qabul qiluvchi shaxs, ko’pincha, ayniqsa dinamik qatorlar o’rganilganda, sifati qo’yilgan talablarga nisbatan ancha yomon, yoki umuman noma’lum bo’lgan axborot bilan ish ko’radi. Odatda, o’zgaruvchilarning taqsimlanish turi ham noma’lum bo’ladi. Shunday qilib, amaliyotchi uchun ikkita tanlov qoladi: yoki umuman barcha usullardan bosh tortib, ixcham vositalarga qanoatlanish, yoki shu usullarga qo’yilgan talablarni yodda tutgan holda, ma’lumotlarni qayta ishlashning statistik usullarini qo’llash. Oxirgi holda, “tajribaning sofligi” ga oid shubhalar bo’lsa, olinayotgan statistik xulosalarga qat’iy ma’no berish kerak emas. Ayni vaqtda bu usullar, odatda, amaliy faoliyat va bashoratlash uchun foydali bo’ladilar.

Bashoratlashning statistik usullari har doim mustaqil ravishda, aniqrog’i, sof holatda qo’llanaverilmaydi. Ko’pincha, ularni uslubiyatlar majmui ichidagi muhim elementlar ko’rinishida, masalan, ekspert baholashlar, har xil turdagi iqtisodiy-matematik modellar bilan bir qatorda ishlatishadi. Bashoratlashga nisbatan bunday kompleks yondashuv nisbatan mahsuldordir. Yuqorida aytilganlardan statistik usullar bashoratlash usullari tizimida muhim o’rin egallashi, lekin ularni hech bir ma’noda universal usul deb qabul qilish kerak emasligi kelib chiqadi.

Bir qator holatlarda axborotni statistik jihatdan qayta ishlash bashoratlar keltirib chiqarishga olib kelmaydi, lekin ularni qayta ishlashning umumiy sxemasida muhim o’rin egallaydi. Kuzatuvning ma’lumotlarini aniq statistik qonuniyatlarni aniqlash maqsadida qayta ishlash axborotni anglash va omillar to’plamining o’zaro aloqasini akslantiruvchi yanada murakkabroq modellarni qurish yo’lidagi birinchi qadamdir. Shu bilan birga amaliyotchilarning e’tiborini tobora o’ziga jalb etayotgan statistik uslubiyatning imitasion modellarni qurish doirasidagi ahamiyatini qayd etib o’tish joiz. Imitasion modellarning o’rganilayotgan (modellashtirilayotgan) tizimlarning xatti-harakatini bashoratlash bo’yicha potensial imkoniyatlari hali to’la to’kis ochib bo’linmagan. Lekin, hozir ham imitasion modellar asosida olingan bashoratlarning muvaffaqiyati empirik materialni statistik tahlil etish sifatiga, bunday tahlil o’rganilayotgan obyektning vaqt bo’yicha qonuniyatini qay darajada aniqlashi va umumlashtirishiga bog’liq bo’lishi ko’rinib turibdi.

Imitasion modellashtirish usullaridan foydalangan holatda ixtiyoriy ilovani yaratish, birinchi navbatda, o'rganilayotgan tizimlarning imitasion modellarini (IM) qayd etilgan modelli imitasion tajribalarning kompyuterli qo'llanishini quvvatlovchi bir qator ssenariylarni ishlab chiqishga dav'at etadi. Bunda IM larni lohiyalashtirish ko'p bosqichli jarayon bo'lib, uning har bir bosqichiga o'rganilayotgan tizimning o'ziga xos shakli mos keladi. IM hayotiy siklining umumiy tuzilmasi 5.5.1 rasmda keltirilgan bo'lib, undagi uzluksiz chiziqli strelkalar ishlab chiqishning ketma-ket bosqichlarini bog'lovchi jarayonlarga ko'rsatkich beradi, uzilishga ega chiziqli strelkalar esa - ushbu jarayonning to'g'riligi va ishonchliligini baholovchi jarayonlardir.

Imitasion modelni ishlab chiqishga o'rganilayotgan tizim va uning komponentalarini aniqlash bosqichi turtki bo'ladi. Ushbu bosqichning asosiy maqsadi mos cheklanishlar sharoitida tizimning chiquvchi parametrlariga, uning tuzilmasi va tavsiflariga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatuvchi tizimning komponentalarini ifodalovchi detallashtirish jarayonini tanlashdan iboratdir.

Imitasion modellashtirish jarayonlarini ishlab chiqishda mos muammoli sohani qonunlashtirish (qonuniy modellashtirish) katta ahamiyat kasb etadi. Oxirgisining sababi shundaki, imitasion modellashtirish usullari, odatda, funksionallashtirish jarayonlarini an'anaviy matematik usulda ta'riflab bo'lmaydigan murakkab tizimlarni o'rganish uchun qo'llaniladilar. Imitasion modellashtirishning zamonaviy usullari dasturlashning yuqori darajada rivojlangan tillarda qurilib, ishlab chiqaruvchilar va tadqiqotchilarning ixtiyoriga maxsus uslubiy sxemalarni taqdim etadi. Bunday sxemalarning asosini modellashtirish (dasturlash) tillarining qonuniy asoslari va murakkab tizimlarni funksionallashtirishning "umumiy modellari" tashkil etadi. Uslubiy sxemalarning eng qiziq turlari diskret hodisali tizimlar, uzluksiz tizimlar va uzluksiz-diskret tizimlar uchun mo'ljallangan sxemalardir.

Qonuniy asos model ishlab chiqaruvchining fikrlash usulini aniqlaydi va o'rganilayotgan tizimlar taqdim etilgan va akslantirilgan tushunchalar majmuini o'z ichiga qamrab oladi. Imitasion modellashtirish tillari (IMT) ga nisbatan bunday tushunchalar quyidagichadir: obyekt, obyektning atributlari, obyektlar sinflari, vaqt va h.k. IMT ning tasviriy vositalari bunday tushunchalarni qo'llab-quvvatlab, aniqlovchilar tizimi va operatorlar asosida obyektlarning turli xil sinflarini, ularning atributlarini, hamda xatti-harakatini (funksionallashtirish algoritmlarini) ta'riflashga imkon beradi.

Umumlashgan model haqiqiy tizimda hodisalarning vaqt bo’yicha taraqqiy etishini (ya’ni o’rganilayotgan tizimning evolyutsiyasinini) ta’riflaydi.

Shuningdek, u murakkab tizimlar funksionallashuv jarayonlarini parallel ravishda sodir bo’ladigan amallar va turli xil sinflarga mansub obyektlarning o’zaro ta’siri ko’rinishida ta’riflaydi. O’zining navbatida bunday obyektni funksionallashtirish jarayoni xususiy hodisalar zanjiri ko’rinishida taqdim etiladi. Bu borada imitasion modellashtirish obyektga mo’ljallangan dasturlash paradigmasini qo’llovchi obyektga mo’ljallangan uslubiyat (OMU) bilan o’xshash joylari ko’pdir. Mos qonuniy asosning atamalarida qonuniy model ham, 5.5.1 rasmda keltirilgan boshqa modellar ham ifodalanadi.

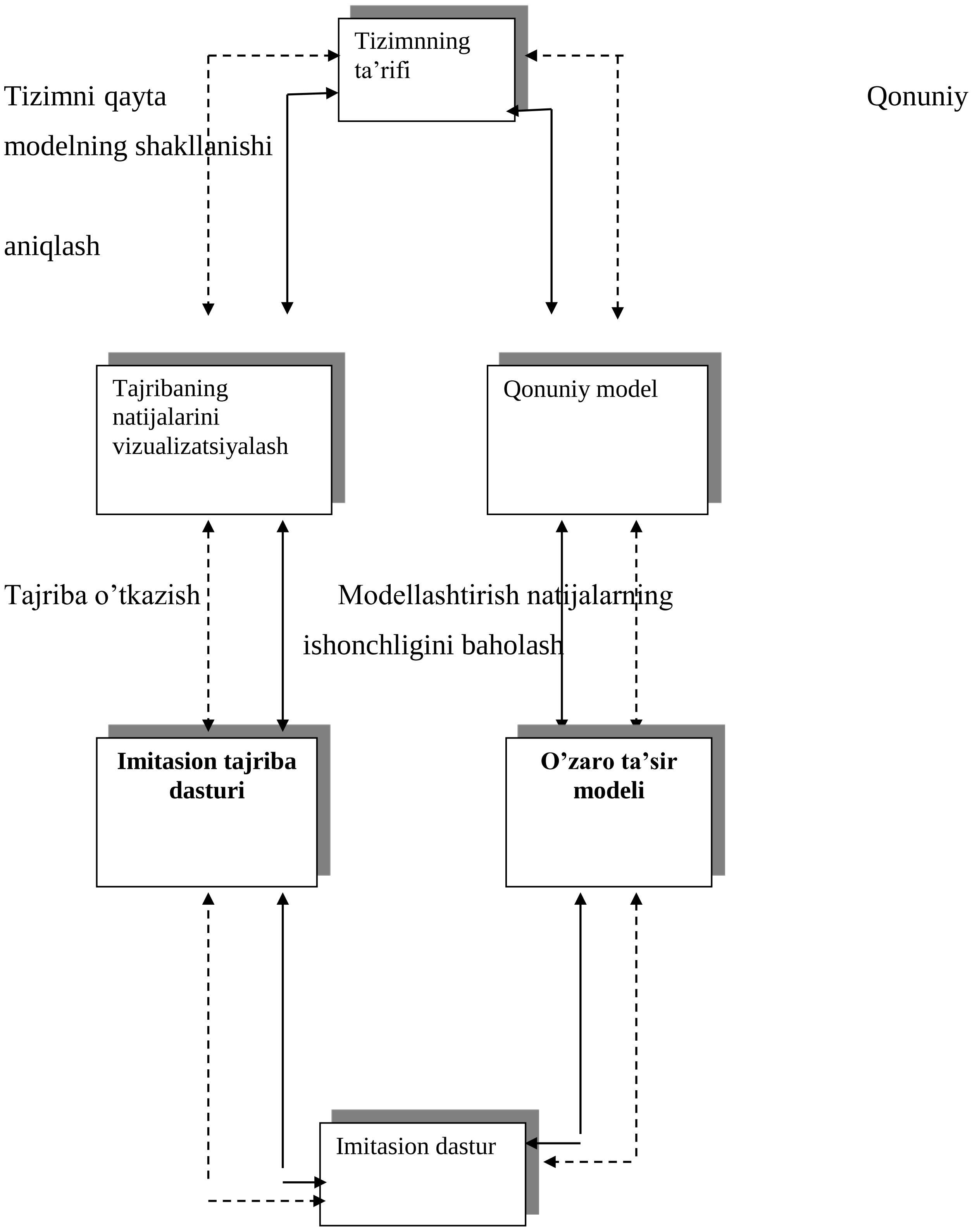
Qonuniy model o’rganilayotgan tizimning ierarxik tuzilmasi va uning alohida komponentalari o’rtasidagi bog’lanishlarni aniqlaydi. Mutaxassislik jarayonining vazifasi qilingan farazlarning qo’llanishga loyiq ekanligini hamda qonuniy model tizimning to’g’ri faraz qilinishini ta’minlashini tasdiqlashdan iboratdir.

Boshqa so’z bilan aytganda, qonuniy modelning vazifasi - ko’rilayotgan ilovalar sohasiga nisbatan qo’llash mumkin bo’lgan kelishuv darajasini ta’minlash maqsadida uning to’g’riligini aniqlashdir.

Mutaxassislikning bunday jarayoni boshqa verifikasion jarayonlar singari shartli xarakterga ega bo’lmasdan, bunday tizimlarni o’rganishda to’plangan tajribaga asoslangan AS ning xususiyatidan foydalanuvchi evristik usul va yondashuvlarni o’z ichiga oladi.

Imitasion modellar tabiatiga ko’ra ko’p oqimlidir. Windows platformasi asosidagi zamonaviy modellashtirish tizimlari bunday ko’p oqimlilikni qo’llab-quvvatlaydi hamda AS dasturiy kodining oqimlar darajasida bajarilishini ta’minlaydi.

Oqimli modellar turini o’zaro ta’sir modellarida keltirilgan funksional bog’lanishlarni va hodisalar to’g’risidagi ma’lumotlarni tahlil qilish asosida to’g’ri tanlash yanada samarali modellarni ishlab chiqarishga imkon beradi. Ma’lumki, Windowsning odatiy oqimli modellari foydalanuvchi interfeysining (oynaviy jarayonlar mexanizmi yordamida xabarlarni tanlash va oxirgilarini qayta ishlash sikli bilan xarakterlanadi) oqimlari va ishchi oqimlar (xabarlarni tanlash sikllarisiz) bo’ladi. Imitasion ilovalarni ishlab chiqarish tajribasining ko’rsatishicha, bunday ilovalarning asosiy oqimlariga nisbatan foydalanuvchi interfeysining modellaridan foydalanish o’rinlidir, imitasion modellarni esa ishchi oqimlarning modellariga asoslantirish kerak.



5.5.1-rasm. Imitasion model hayotiy siklining umumiy tuzilmasi

Holat modellarini va o’zaro ta’sir modellarini tahlil etish asosida to’plam ichidan sinxronlashtirish obyektlari sinfini va MFC (Microsoft Foundation Class Library) kutubxonasiga kiritilgan murojaatni sinxronlashtirish obyektlar sinflarini to’g’ri tanlash yo’li bilan AS ning “oqim xavfsizligi” muammosi yechiladi. Va nihoyat, o’zaro ta’sir modellari yordamida oqimga kelayotgan ma’lumotlarning qayta ishlanishini ta’minlovchi oynali jarayonlarni avtomatik ravishda shakllantirishda mexanizmi Windows tizimi bo’lgan ishlatiladigan ma’lumotlar xaritasini ishlab chiqish masalasi hal bo’ladi.

AS (o’rganilayotgan tizimni modellashtirishning tanlangan tilda aniqlash) qoidali model va o’zaro ta’sir modeli asosida ishlab chiqiladi. Bunda qoidali model yordamida AS ning ierarxik tuzilmasi va turli xil sinflardagi obyektlarning modelida keltirilgan to’plam aniqlanadi. Holat modellari asosida mos sinflardagi obyektlarning xatti-harakat sxemalari, o’zaro ta’sir modellari yordamida obyektlar o’rtasidagi (jarayonlar o’rtasidagi) o’zaro ta’sirlar ifodalanadi. Shu yo’l bilan olingan model ta’rifi modeldagi chiquvchi parametrlarning (javoblari) ta’rifi bilan to’ldirilishi kerak. Odatda modelning javoblari o’rganilayotgan tizimning samaradorlik ko’rsatkichlari to’plamini (masalan g’ozachilik sohasidagi sof foyda) va o’zgarib turadigan holatlar to’plami (talab, taklif va h.k) ni o’zida mujassamlashtirgan bo’ladi.

Ishlab chiqarishning muhim vazifasi AS ni verifikasiyalash, yoki yaratilayotgan dasturiy modelni qoidali modelning kompyuterdagi akslanishi va o’zaro ta’sir modeli sifatida qo’llash mumkinligini isbotlashdan iboratdir. Agar AS ni ishlab chiqarish vazifasi qonuniy model va o’zaro ta’sir modeli bilan o’xshashlikka erishishdan iborat bo’lsa, verifikasiya maqsadi esa - bunday o’xshashlik qanday bosqichda erishilishini isbotlashdir.

Keyingi bosqich - imitasion tajribaning dasturi doirasida ishlab chiqarilgan AS ni va mos tajriba sxemasini integrasiyalash. Tajriba sxemasining qismlari quyidagilardir:

- Modellashtirish sxemasi (hodisalarning vaqt bo’yicha rivoj jarayonini boshqarish va nazoratini, hodisalarning tartiblanishini va sinxronlashuvini, hodisalarning kvaziparallel rejimda bajarilishini ta’minlovchi murakkab tizimni funksionallashtirishning dasturiy-amaliyotda qo’llangan modeli);
- Modellashtirish vaqti (o’rganilayotgan tizimning evolyutsiya vaqtini hisoblab turish uchun u katta rol o’ynaydi);

- Taqvin (vaqtni kuzatish va uning o'zgarishini qayd etish mexanizmi);
- O'rganilayotgan tizimning imitasion modeli;
- Tajribaning sxemasi (turli xil ssenariylarni amalga oshirishga mo'ljallangan bo'lib, har biri kompyuterli tajribaning har bir bosqichini qo'llab-quvvatlovchi modullar yoki bo'laklar ko'rinishidagi tartiblangan obyektlar to'plamini o'z ichiga oladi);
- Tajribaning kiruvchi ma'lumotlari;
- Tajribaning chiquvchi ma'lumotlari (modelning javoblari).

Qayd etilgan bo'laklar to'plami o'rganilayotgan tizimning turiga nisbatan invariantdir.

Tajribaning har bir sxemasi maxsus sinf ta'rifini - kuzatilayotgan o'zgaruvchilar va statistik axborotni qayd etish jarayonlarini qo'llab-quvvatlovchi ta'rifni o'z ichiga olgan bo'ladi.

Imitasion tajriba dasturini verifikasiyalash modelning javoblari kuzatiluvchi o'zgaruvchilar to'plami bilan to'la mos tushishini isbotlashni talab etadi. Oxirgisi imitasion tajriba sxemasining AS bilan mos tushishining tasdiqi kabi qabul qilinadi.

Tajribani rejalashtirish o'z ichiga strategik rejalashtirish (modelning javobiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatuvchi omillar darajalarini tanlash) va taktik rejalashtirish (har bir tajriba doirasida o'rganilayotgan tizim to'g'risida iloji boricha ko'proq axborot olishni rejalashtirish) ni oladi.

Modellashtirish natijalarining ishonchliligini baholashga qaratilgan turli xil yondashuvlar imitasion modellashtirishda mavjud: masalan, o'rganilayotgan jarayon kuzatuvlarining vaqt oralig'ini yoki tajriba dasturining chegaraviy shartlar qiymatini aprior tarzda aniqlash.

Imitasion modelning validasiyasi berilgan model o'rganilayotgan tizimni zaruriy aniqlikda tasvirlashini isbotlashga olib keladi. U modelning va o'rganilayotgan tizimning bir xil joriy sharoitlardagi xatti-harakatini solishtirish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Obyektga mo'ljallangan yondashuvni qo'llashning muhim ustuvorligi obyektga mo'ljallangan apparatga asoslangan birlik qonuniy bazani yaratish va uni murakkab tizimlarning imitasion modellarini ishlab chiqarishning har xil bosqichlarida qo'llanilishidadir.

Aniq bir fan sohasining masalalarini o'rganishda imitasion tizimlar quyidagi xususiyatlar bilan xarakterlanuvchi ushbu masalalarni birgalikda (ekspert va kompyuter) yechish vositasi bo'ladilar [60]:

a) hisoblash jarayonini ekspert belgilangan vaqtda (tarmoqlanish nuqtasidan boshlangan hisob) yechish ketma-ketligiga ta'sir ko'rsatadigan qilib tashkil etish imkoniyati;

b) hisoblash tizimining o'zida ekspertdan zaruriy axborotlarni, shuningdek, ekspertni (QQSh, foydalanuvchi) o'qitishning ayrim elementlarini olish imkoniyati;

c) ma'lum bir sharoitda o'rinli bo'lgan norasmiy (yoki qiyin bayon etiladigan) omillarni qayd etish imkoni;

d) modellar bilan bog'liq bo'lgan murakkab matematik masalalarni yechish uchun maxsus evristik usullarni qo'llash imkoniyati;

e) ekspert yordamida ishtirokchilarning qiziqishlari o'rtasidagi farqlarni akslantiruvchi ko'p mezonli masalalarning eng mos yechimlarni aniqlash imkoni;

f) modelli bosqichda taklif etilayotgan boshqaruv yechimlarining oqibatlarini o'rganish imkoniyati.

Qabul qilinuvchi qarorlarning oqibatlarini imitasion tizim yordamida o'rganish imkoniyati uning asosiy xislatlaridan biridir [65].

Imitasion tizimning tavsiflari

Imitasion tizimning tavsiflari o'rganilayotgan obyektning xossalariga qarab aniqlanadilar [15].

1.Obyekt boshqaruvning shajaraviyligi, uning alohida elementlari faolligi bilan xarakterlanadi.

2. Ma'lum bir munosabatlar va majburiyatlar bilan bog'langan bajaruvchilar jamoasi mavjud; bajaruvchilarning har biri o'zining qism masalasini yechadi.

3. Umumiy holatda bajaruvchilarning (tizimning har xil elementlari qiziqishlarini ifodalovchi) maqsadi o'zaro ham, tizimning maqsadi bilan ham mos tushmaydi.

7. Umumiy masalaning qismlarga bo'linishi, birinchi navbatda, tizimning tuzilmasi va bajaruvchilarning imkoniyatlari (ularga yuqori organlar tomonidan delegatsiyalangan) ga qarab aniqlanadi.

5. Tizimni boshqarish jarayoni uchun bajaruvchilarning axborot faoliyati, matematik modellar va dasturiy vositalar kabi turli xil elementlarni bitta umumiylikka jipslashtirish zarurati xarakterlidir [101].

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Алиев Р.А., Либерзон М.И. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления. М: Радио и связь,1987.-208с.
2. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом.- М: Радио и связь. 1990. - 264 с
3. Алиев Р.А., Церковный А.Е., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. – М:Энергеатомиздат, 1991. –240с.
4. Алиев Р.А. Интеллектуальные роботы с нечеткими базами знаний, Радио и связь, 1995, -176с.
5. Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Теория интеллектуальных систем и ее применение. - Баку, Изд-во Чашыоглы, 2001. – 720 С.
6. Абрамович Ф.П., Вагенкнехт М.А., Хургин Я.И. Решение нечетких систем линейных алгебраических уравнений LR-типа.-В сб.: Методы и системы принятия решений.Рига:РПИ,1987,с.35-47.
7. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Исследование зависимостей. М.: Финансы и статистика, 1985.
8. Алтунин А.Е.,Востров Н.Н. Методы определения функций принадлежности в теории размытых множеств. Труды ЗапсибНИГНИ, Тюмень, вып. 154, 1980, с.62-72.
9. Алтунин А.Е., Востров Н.Н. Оптимизация многоуровневых иерархических систем на основе теории размытых множеств и методов самоорганизации. В сб.: "Проблемы нефти и газа Тюмени", Тюмень, вып. 42, 1979, с.68-72.
10. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. - 352 с.
11. Алексеев А.В. Проблемы разработки математического обеспечения выполнения нечетких алгоритмов. - В сб.: Модели выбора альтернатив в нечеткой среде.-Рига, 1984, с. 79-82.
12. Алексеев А.В. Применение нечеткой математики в задачах принятия решений. - В сб.: Методы и системы принятия решений. - Рига: РПИ, 1983, с. 38-42.
13. Аленфельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления М: Мир, 1987, 360с.

14. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А. Системы фуцци-управления. – К.: Тэхника, 1997. – 208 с.
15. Артикова С., Мухамедиева Д.Т. Информатизация регулирования развития экономики Республики // Известия ВУЗов. –Т., 2000. №3.
16. Артикова С., Мухамедиева Д.Т. Реализация моделей принятия решений с учетом информационных ситуаций //Узбекский журнал энергетики и информатики.-Т. ,2000. №3.
17. Ахмедов Т.М. Мухамедиева Д.Т. Шодмонова У.А. Рациональное управление распределением и использованием ресурсов в условиях рыночной экономики. Доклады международной конференции «Устойчивое экономическое развитие и эффективное управление ресурсами в Центральной Азии». ТГЭУ и Ноттенгемский Трент Университет (Великобритания). Ташкент-Ноттенгем. 2001. –С.14-17.
18. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях - В сб.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М: Мир, 1976, с.172-215.
19. Бертсекас Д. Условная оптимизация и методы множителей Лагранжа. М.: Радио и связь, 1987.
20. Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели принятия решений: дедукция, индукция, аналогия. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. - 110 с.
21. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений.- М: Радио и связь. 1989. - 304 с.
22. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования.- Рига:Зинатне, 1990.- 184 с.
23. Борисов А.Н. и др. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. - Рига: Зинатне, 1982. - 256с.
24. Бокша В.В., Силов В.Б. Нечеткое целевое управление системами с заданным конечным состоянием. Автоматика, N 3, 1985, с.3-8.
25. Бочарников В.П. Fuzzy-Технология: математические основы практика моделирования в экономике. Санкт-Петербург, 2001, 328 с.
26 Введение в нелинейное программирование. М.: Наука 1985.

27. Вощинин А.П., Сотиров Г.Р. Оптимизация в условиях неопределенности. - Изд-во МЭИ (СССР) и Техника (НРБ), 1989. – 224с.
28.Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. М.: Наука, 1971.
29. Гудмен И. Нечеткие множества как классы эквивалентности случайных множеств. В сб.: Нечеткие множества и теория возможностей. М: Радио и связь, 1986, с.241-264.
30. Гусев Л.А., Смирнова И.М. Размытые множества. Теория и приложения (обзор). Автоматика и телемеханика, N 5, 1973, с.66-85.
31.Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии. М.: Финансы и статистика, 1981.
32. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике.- М: Радио и связь. 1990. - 288 с..
33. Дюбуа Д., Прад А. К анализу и синтезу нечетких отображений. В сб.: Нечеткие множества и теория возможностей. - М: Радио и связь, 1986, с.229-240.
34. Дубенко Т.И. Идентификация и оценивание параметров в стохастических системах, описываемых уравнениями с частными производными. Автоматика и телемеханика, N 12, 1983, с.5-19.
35.Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976, 165 с.
36. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений.- В кн.: Математика сегодня.- М.:Знание, 1974, с. 5-49.
37. Заде Л.А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер-анализе. - В сб.: Классификация и кластер. М: Мир, 1980, с.208-247.
38. Захаров А.В., Шокин Ю.И. Алгебраическое интервальное решение систем линейных интервальных уравнений Ах = в и Ах + d = в. Препринт ВЦ СО АН СССР, N 5, Красноярск, 1987, 17с.
39. Зуенков М.А. Приближение характеристических функций нечетких множеств. Автоматика и телемеханика, N 10, 1984, с.138-149.
40. Зайченко Ю.П. Исследование операций: нечеткая оптимизация: Учеб. пособие.- Киев: Выща школа, 1991.- 191с.

41. Кабулов В.К. Алгоритмизация в социально-экономических системах. –Т.: Фан, 1989.
42. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. Физматлит, 2001. - 224 с
43. Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. Новосибирск: Наука, 1986, 222с.
44. Кандель А., Байатт У.Дж. Нечеткие множества, нечеткая алгебра, нечеткая статистика. Труды американского общества инженеров-радиоэлектроников, т. 66, 1978, N12, с.37-61.
45. Карповский Е.Я., Чижов С.А. Оценка показателей качества программных средств с использованием лингвистических переменных. Управляющие системы и машины, N 2, 1987, с.17-19.
46. Кейн Л.А. Искусственный интеллект в обрабатывающих отраслях промышленности. Нефть, газ и нефтехимия за рубежом, N 9, 1986, с.117-122.
47. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. - М: Радио и связь, 1981, 560с.
48. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М: Радио и связь, 1982, 432с.
49. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой.- М.: Наука, 1990.- 272 с.
50. Мешалкин В.П. Экспертные системы в химической технологии. - М.: Химия, 1995. - 368 с.
51. Митюшкин Ю.И., Мокин Б.И., Ротштейн А.П. Soft-Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний.- Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002.- 145с.
52. Магомедов И.А. и др. Применение теории нечетких множеств к задачам управления нестационарными процессами. В сб.: Методы и системы принятия решений. - Рига: РПИ, 1984, с.60-65.
53. Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. - М.: Энергоатомиздат, 1991, 136с.
54. Мухамедиева Д.Т. Статистическое моделирование в сельском хозяйстве с применением теории нечетких множеств. –Т: Институт кибернетики НТЦ «Современные информационные технологии» АН РУз, 2004, 200с.
55. Мухамедиева Д.Т. Моделирование слабоформализуемых процессов на основе обработки нечеткой информации. –Т: Институт информатики АН РУз, 2007, 231с.

56. Мухамедиева Д.Т. Построение регрессионных моделей с оценкой допустимой погрешности параметров при нечеткой информации //Вестник ТашГТУ. –Т., 2002. № 4. С. 38-42.
57. Мухамедиева Д.Т. Свидетельство № DGU 00722 об официальной регистрации программы для ЭВМ «Информационно-диалоговая система «Нелинейные статистические модели с оценкой допустимой погрешности параметров при нечеткой информации»» в Государственном Патентном ведомстве. –Т., 2004.
58. Мухамедиева Д.Т. Подходы к решению задачи нечеткого параметрического программирования в хлопководстве // Известия ВУЗов. Технические науки. –Т., 2002. № 2-3. С. 34-38.
59. Мухамедиева Д.Т. К одному алгоритму нахождения аналитического решения нелинейного программирования в нечеткой среде // Узбекский журнал проблемы информатики и энергетики. –Т., 2002. № 3. С. 8-14.
60. Мухамедиева Д.Т. Имитационные системы в нечеткой среде // Вестник ТашГТУ. –Т., 2003. № 2.. С. 3-7.
61. Д.Т.Мухамедиева Байесовский подход к задачам статистического оценивания при нечеткой информации // Вестник ТашГТУ. –Т., 2003. № 3. С. 25-29.
62. Мухамедиева Д.Т. Нейронечеткие задачи нелинейного программирования //Вестник ТашГТУ. –Т., 2002. № 3. С. 27-31.
63. Насибов Э.Н. Методы обработки нечеткой информации в задачах принятия решений. –Баку: Элм, 2000. –260с.
64. Недосекин А.О. Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций. СПб: Изд-во Сезам, 2002. - 181 с.
65. Нечеткие множества в моделях управления искусственного интеллекта /Под ред. Д.А. Поспелова. –М.: Радио и связь, 1987. –330с.
66. Несенюк А.П. Неопределенные величины в задачах управления с неполной информацией. - Автоматика, N 2, 1979, с.55-64.
67. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. - М: Радио и связь, 1986, 408с.
68. Норвич А.М., Турксен И.Б. Построение функций принадлежности. В сб.: Нечеткие множества и теория возможностей. - М: Радио и связь, 1986, с.64-71.

69. Норвич А.М., Турксен И.Б. Фундаментальное измерение нечеткости. В сб.: Нечеткие множества и теория возможностей. - М: Радио и связь, 1986, с.54-64.
70. Орлов А.И. Задачи оптимизации и нечеткие переменные.-М.: Знание, 1980.- 64 с.
71. Орлов А.И. Связь между средними величинами и допустимыми преобразованиями шкалы.- Математические заметки, т. 30, вып. 4, 1981, с. 561-568.
72. Осуга С. Обработка знаний. - М.: Мир, 1989. - 293 с.
73. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М: Наука, 1981, 203с.
74. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982.
75. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления.- М.:Энергоиздат, 1981.- 232 с.
76. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика.- М. Наука, 1986.- 288 с.
77. Поспелов Г.С. и др. Процедуры и алгоритмы формирования комплексных программ. М: Наука, 1985, 424с.
78. Потюлкин А.Ю. Решение задач идентификации нечетких систем // Изв. АН России. Теория и системы управления. –1996. - №4. –С.40-46.
79. Прикладные нечеткие системы/Асаи К., Ватада Д., Иваи С. и др./Под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено.- М.: Мир, 1993. - 368 с.
80. Пшеничный Б.Н.. Данилин Ю.М. Численные методы в экстеримальных задачах. М.: Наука, 1975.
81. Райская Н.Н., Френкель А.А. Применение гребневой регрессии в статистическом моделировании // Экономика и мат. методы, 1985. Т. XXI. Вып. 4.
82. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. — Винница: УНИВЕРСУМ—Винница, 1999. — 320 с.
83. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике. — Винница: Континент—ПРИМ, 1996. — 132 с.
84. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений // Известия РАН. Теория и системы управления.- 2001.- №3.- С.150-154.

85. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Управление динамкой системой на основе нечеткой базы знаний // Автоматика и вычислительная техника.- 2001.- №2.- С.23-30.
86. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Прогнозирование надежности алгоритмических процессов при нечетких исходных данных // Кибернетика и системный анализ.- 1998.- №4.- С.85-93.
87. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Нечеткая надежность алгоритмических процессов Винница: Континент-ПРИМ, 1997. - 142с.
88. Саттаров Д. Сорт, почвы, удобрение и урожай. –Т.: Мехнат. 1988.
89. Семухин М.В. Разрешимость нечетких и интервальных уравнений. Вестник Тюменского государственного университета, вып.2. - Тюмень, ТюмГУ, 1998, с.23-26.
90. Семухин М.В. Теория нечетких множеств. Учебно-методическое пособие. - Тюмень: ТюмГУ, 1999, 50 с.
91. Силов В.Б., Маригодов В.К. Метод L-R аппроксимации для построения лингвистических моделей. - В кн.: Алгоритмические методы и программирование в электронике. Рязань, 1981, с.37-41.
92. Тоценко В.Г., Цыганок В.В. Метод парных сравнений с обратной связью с экспертом // Проблемы управления и информатики. –1999. -№3. –С.111-124.
93. Уткин Л.В., Шубинский И.Б. Нетрадиционные методы оценки надежности информационных систем. – СПб.: Любавич, 2000. – 173 с.
94. Фиакко А, Мак-Кормик Г. Нелинейное программирование. Методы последовательной безусловной оптимизации. М.: Мир, 1972.
95. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. - М: Мир, 1973, 468с.
96. Хинтон Д.Е. Как обучаются нейронные сети // В мире науки. – 1992. - № 11-12. – С.103-110.
97. Чуклеев С.Н. К вопросу о разрешимости нечетких уравнений. В сб.: Модели выбора альтернатив в нечеткой среде. Рига: РПИ, 1984, с.95-96.
98. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. - М.: Наука,1984.-320с.
99. Шокин И.Ю. Интервальный анализ. Новосибирск: Наука, 1981, 112 с.

100. Ягер Р.Р. Множества уровня для оценки принадлежности нечетких подмножеств. В сб.: Нечеткие множества и теория возможностей. М: Радио и связь, 1986, с.71-78.
101. Aliev R.A., Barak D, Chew G.at all, SOFT COMPUTING: Fuzzy Logic. Neural Networks and Distributed Artificial Intelligence. F.Amin zadeh. Jamshidi M. (Eds.), PTR Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jer sey, 1994, 301p.
102. Bellman R., Kalaba K., Zadeh L.A. Abstraction and pattern classification. J.Math. Anal. and Appl., v.13, No1, Jan, 1966.
103. Bellman R.E., Gierts M. On the analitical formalism of theory of fuzzy sets."Inform. Sci.", 1973, v.5, N2, p.149-156.
104. Bonissone P.P., Tong R.M. Editorial: reasoning with uncertainty in expert systems."Int. J. Man-Mach. Stad.", 1985, N3, p.241-250.
105. Caines P.E. On the adaptive control of stochastic systems with random parameters: a counterexample. "Ric. automat.", 1982, N1, p.190-196.
106. Carlsson C. Fuzzy systems: basis for modeling methodology? "cybernetics and Systems", N15, 1984, p.361-379.
107. Chang S.S.L. Application of fuzzy set theory to economics. "Kybernetes", 1977, v.6, p.203-208.
108. Daley S., Gill K.F. The fuzzy logic controller: an alternative design scheme? "Comput. Ind.", 1985, N1, p.3-14.
109. Dubois D., Prade H. Operations on fuzzy numbers. Int. J.System sci., 1978, v.5, N2, p.613-626.
110. Dubois D., Prade H. Fuzzy sets and systems: Theory and applisations. - New York: Acad. Press, 1980, 394p.
111. Dubois D., Prade H. Fuzzy real algebra: Some rezults. - "Fuzzy Sets and Systems". 1979, v.2, N4, p.327-348.
112. Dubois D., Prade H. Systems of linear fuzzy constraints. - "Fuzzy Sets and Systems". 1980, v.3, N1, p.37-48.
113. Dubois D., Prade H. Inverse operations for fuzzy numbers.-In: Proc. of IFAC Symp. “Fuzzy Information, Knowledge Representation, and Decision Analysis”. Marceille: IFAC, 1983, p.34-48.
114. Freeling A.N.S. Fuzzy sets and decision analysis. "IEEE Tran. Syst.Man. and Cybern.", v. 10, N7, p.341-354.
115. Flondor P. An example a fuzzy system. "Kybernetes". 1977, p.229-230.

116. Funy J.W., Fu K.S. An axiomatic approach to rational decision making in a fuzzy environment. "Fuzzy Sets and Their Application to Cognitive and Decision Processes", New York, 1975, p.227-257.
117. Gaines B.R. Stochastic and fuzzy logical. "Electron. Lett.", v. 11, 1975, p188-189.
118.Garlott J. Interval Mathematics. A Bibliography. Freiburger, Interval-Berichte, West Germany, N6, 1985, 250p.
119. Gen M., Cheng R. Genetic algoritms and engineering design. – John Wiley&Sons, 1997. – 352 p.
120. Goguen Y.A. The logic of inexact concepts. "Synthese", v. 19, p.329-373.
121. Golden B.L. Nonlinear programming on a microcomputer. "Comput. and Oper. Res.", 1986, N2-3, p.149-166.
122. Gorzalczany M.B. Interval-Valued Decisional Rule in Signal Transmission Problems. "Arhiwum automatyki i telemechaniki", t.XXX, N2, 1985, p.159-168.
123. Govind R. Synthesis of fuzzy controllers for process plants. "Proc. Int. Conf. Cybern. and Soc., Tokio-Kyoto", New York, 1978, v.2-3, p.1228-1232.
124. Gregory R.T. Krishnamurthy E.V. Methods and Applications of Error-Free Computation. Springer-Verlag, New York, 1984, 191p.
125. Hurst S.L. Multiple-valued logic-its status and its future. "IEEE Trans. Comput.", 1985, N12, p.1160-1179.
126. Johnson R.W., Shore J.E. Solving Fuzzy Sets Problems Using Probability Theory, Technical Memorandum NRL 7503-211, Naval Research Laboratory, Washington, D.C., 1979.
127. Kickert W.Y.M. and oth. Application of Fuzzy Controller in a Warm Water Plent. "Automatica", v. 12, N4, 1976, p.301-308.
128. Kickert W.Y.M. Fuzzy theories on decision-making. "Martinus Nijhoff Social Sciences Division", Netherlands, 1978, 182p.
129. Mamdani E.H., Efstathion H.J. Higher-order logics for handling uncertainty in expert systems. "Int. J. Man-Mach. Stud.", 1985, N3, p.243-259.
130. Markov S.M. Extended interval arithmetics.- Докл. Болг. АН, 1977, т. 30, № 9, с.1239-1242.
131. Muhamedieva D.T. The decision of problems of nonlinear programming in the indistinct environment. Доклады второй Всемирной конференции «Интеллектуальные системы для

индустриальной автоматизации. « b –Quadrat Verlag, 2002, p 329-333.
132. Moor R.E. A servey of interval methods for differential equations. "Proc. 23_rd_ IEEE Conf. Decis. and Contr., Las Vegas, Nev., 1984, v.3", New York, 1984, p.1529-1535.
133. Oden G.S. Integration of fuzzy logical information .- "J. Exp. Psychol.", 1977, v.3, N4, p.505-575.
134. Ogawa Hideo. Labeled point pattern matching by fuzzy relaxation. "Pattern.Recogn.", 1984, v.17, N5, p.569-573.
135. Ostermark R. Sensitivity analysis of linear fuzzy programs: an approach to parametric interdepedence. "Kybernetes", 1987, N2, p.113-120.
136. O'Keefe R. Simulation and experts systems - a taxsonomy and some examples. "Simulation", 1986, 46, N1, p.10-16.
137. Pal S.K., Majumaer D.D. Effect of fuzzyfication on the plosive cognition system. "Int. J. Systems Sci.", 1978, v.9, N8, p.873-886.
138. Pavlak Z. Roufh sets and fuzzy sets. "Pr. IPI PAN", 1984, N540, 10p.
139. Prade H. A computional approach to approximate and plausible reasoning with applications to expert systems. "IEEE Trans. Pattern Anal. and Mach. Intel.", 1985, N3, p.260-283.
140. Saaty T.L. Multicriteria decision making: the analytical hierarchy process. N.Y.: McGraw Hill, 1990. –502 p.
141. Saaty T.L. The analytic network process. –Pittsburgh: RWS Publ., 1996. –370 p.
142. Schwandt H. Newton-like interval methods for large nonlinear systems of equations on vector computers. "Comput. Phys. Commun.", 1985, N1-3, p.223-232.
143. Shtovba S., Rotshtein A., Pankevich O. Fuzzy Rule Based System for Diagnosis of Stone Construction Cracks of Buldings. In "Advances in Computational Intelligence and Learning, Methods and Applications" (Editors: Zimmermann H-J., Tselentis G., van Someren M., Dounias G.): Kluwer Academic Publishers, 2001, P.401-412.
144. Schwandt H. A simmetric iterative interval method for system of nonlinear equations. "Computing," 1984, N2, p. 153-164.
145.Tanaka H., Asai K. Fuzzy solution in fuzzy linear pogremming problems. "IEEE Trans. Syst. Maan and Cybern.", 1984, N2, p.325-328.
146.Tanaka H., Fan L.T., Lai F.S., Toguchi K. Fault-tree analysis by fuzzy probability. "IEEE Trans. Reliab.", 1983, N5, p.453-457.

147.Togai M., Watanabe H. A VLSI implementation of fuzzy iference engine."2nd Conf. Artif. Intell. Appl., Miami Beach, Fla, Dec.11-13, 1985". Washington, D.C., 1985, p.192-197.
148. Urban B., Hansel V. A fuzzy concept in the theory of strategic decision where several objectives exist. "Fuzzy inf., Proc. IFAC Symp. Marseille, 19-21 July, 1983." Oxford e.a., 1984, p.313-320.
149. Willaeys D. Some of the properties of fuzzy discretisation. "Fuzzy Inf., IFAC Symp. Marseille, 19-21 July, 1983." Oxford, 1984, p.61-69.
150. Yamazaki T., Sugeno M. Самоорганизующийся нечеткий регулятор. "Кэйсоку дзидо сэйге гаккай ромбунсю,Trans. Soc. Instrum. and Contr. Eng.", 1984, N8, p.720-726.
151.Yager R.R. Lingvistic representation of default values in frames. "IEEE Trans. Syst. Man and Cybern.", N4, 1984, p.630-633.
152. Yager R.R. Fuzzy sets, probilities and decision. "J. of Cybern.", N10, 1980, p.1-18.
153.Yuxiang Wu. Математическая модель многослойного оценивания построенная в рамках теории нечетких множеств. "Мэйтан сюэбао,J.China Coal. Soc.", 1985, N1, p.21-33.
154. Zimmermann H.J., Zysno P. Quantifying vagueness in decision models. "European Journal of Operational Reseach", N22, 1985, p.148-158.
155. Zwick M., Schwartz D.C., Lendaris G.C. Fuzziness and catastrophe. "Proc. Int. Conf. Cybern. and Soc., Tokyo-Kyoto, Nov.", 1978, New York, v.2-3, p.1237-1241.