

**N. R. YUSUPBEKOV,
R. A. ALIYEV,
R. R. ALIYEV,
A. N. YUSUPBEKOV**

**h qarishning
intellektual tizimlari
va qaror
qabul qilish**

BOSHQARISHNING INTELLEKTUAL TIZIMLARI VA QAROR QABUL QILISH



**BOSHQARISHNING INTELLEKTUAL
TIZIMLARI VA
QAROR QABUL QILISH**

O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta
maxsus ta‘lim vazirligi tomonidan
texnika oliy o‘quv yurtlari talabalari
uchun darslik sifatida tavsiya etilgan

N. R. YUSUPBEKOV, R. A. ALIYEV, R. R. ALIYEV, A. N. YUSUPBEKOV

UDK: 517.977.5(075)
KBK 65.290-2я73
B89

Taqrizchilar:

Bekmuratov T. F. – TATU qoshidagi «Dasturiy mahsulotlar va apparat-dasturiy majmualar yaratish markazi» yetakchi ilmiy xodimi, O'zR FA akademigi, t.f.d., prof.

Igamberdiev X. Z. – ToshDTU «Boshqarishda axborot texnologiyalari» kafedrası professorı, t.f.d.

Yusupbekov N. R.

Boshqarishning intellektual tizimlari va qaror qabul qilish / N. R. Yusupbekov. – Toshkent: «O'zbekiston milliy ensiklopediyasi» Davlat ilmiy nashriyoti, 2015.-572 b.

Darslik sun'iy intellekt tizimlarini tahlil qilish va sintezlash hamda qaror qabul qilish asoslariga bag'ishlangan. Unda hisoblash intellekti va uning tashkil etuvchilariga umumiy tavsif berilgan, noaniq mantiq nazariyasining umumiy qoidalari, shuningdek, noaniq, neyron va neyro-noaniq rostagichlarni sintezlash va boshqarishning intellektual tizimlarining ishlash algoritmlari va usullari bayon etilgan, neyrokompyuting, tadrijiy hisoblash, xaos nazariyasi va hisoblash intellekti asosidagi gibrıd tizimlar masalalari ko'rib chiqilgan.

Darslik 5A311001 – «Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish» (tamnoqlar bo'yicha), 5A311002 – «Temiryo'l transportida avtomatika va telemexanika» va 5A321701 – «Texnologik jarayonlarni boshqarishning axborot-kommunikatsiya tizimlari» magistratura mutaxassishgi talabalari, shuningdek, sun'iy intellekt tizimlari, intellektual axborot tizimlari va nomukammal va (yoki) interval axborot sharoitida qaror qabul qilishni o'rganish bilan bog'liq bo'lgan mutaxassishlar bo'yicha oliy o'quv yurtlarida tahsil oluvchi talabalar uchun mo'ljallangan.

Darslik, shuningdek, noaniqlik sharoitlarida murakkab dinamik tizimlarni boshqarish masalalari bilan shug'ullanuvchi ilmiy xodimlar, tadqiqotchilar, ilmiy va muhandis-texnik ishchilar hamda sun'iy intellekt tizimlarini qurish va qo'llash masalalari bilan qiziquvchi barcha muhandis va texnologlar uchun foydali bo'lishi mumkin.

KBK 65.290-2я73

ISBN 978-9943-07-384-5

© Yusupbekov N.R. va boshq. 2015

© «O'zbekiston milliy ensiklopediyasi»
Davlat ilmiy nashriyoti. 2015

MUNDARIJA

KIRISH	6
1-BOB. HISOBLASH INTELLEKTI ASOSLARI	11
1.1.Hisoblash intellekti mashinali intellektning yuqori koeffitsiyentli tizimini asosi sifatida	11
1.2.Noaniq to'plam va noaniq mantiq	24
1.2.1.Noaniq to'plam	24
1.2.2.Noaniq to'plamlar ustida bajariladigan amallar	33
1.2.3.Noaniq nisbat	44
1.2.4.Noaniq tahlil	51
1.2.5.Lingvistik va noaniq o'zgaruvchilar	55
1.2.6.Noaniq arifmetika	60
1.2.7.Noaniq mantiq	77
1.2.8.Taqribiy fikrlar nazariyasi	90
1.3.Neyrokompyuting.....	102
1.4.Tadrijiy hisoblash	118
1.5.Xaos nazariyasi asoslari	136
1.6.Hisoblash intellekti asosidagi gibrid tizimlar	169
1-bob bo'yicha nazorat savollari	179
1-bobga doir adabiyotlar	180
2-BOB. BOSHQARISHNING INTELLEKTUAL TIZIMLARIDA BOSHQARUVCHI QURILMALAR	185
2.1.Noaniq mantiq asosida boshqarish	185
2.2.Boshqarishning intellektual tizimlarini noaniq mantiq asosida qurishning umumiy tamoyillari	200
2.3.Noaniq rostlagichlar	205
2.4.Neyron rostlagichlar	211
2.5.Neyro-noaniq rostlagichlar	218
2.6.Boshqarishning intellektual tizimlari va avtomatik rostlagichlar sintezida genetik algoritmlarning qo'llanishi	222
2-bob bo'yicha nazorat savollari	225
2-bobga doir adabiyotlar	225
3-BOB. TEXNOLOGIK JARAYONLARNI BOSHQARISHNING INTELLEKTUAL INSON-MASHINA TIZIMLARI	228
3.1.Noaniq ekspert tizimlari	228
3.1.1.Noaniq ekspert tizimlarning asosiy tushunchalari.....	228
3.1.2.ESPLAN ekspert tizimi	237
3.2.Noaniq va yumshoq ekspert tizimlarni solishtirish.....	251
3.3.Texnologik jarayonlarni boshqarishning «aqli» tizimlari	264
3.4.Nazorat, diagnostika va boshqarish tizimlarini qurishning neyrotarmoqli texnologiyasi	267

3.5.Sanoat obyektlarini diagnostika qilishning intellektual tizimlari	283
3-bob bo'yicha nazorat savollari	296
3-bobga doir adabiyotlar	297
4-BOB. TAQSIMLANGAN INTELLEKTUAL TIZIMLAR	300
4.1.Intellektual agent	300
4.2. Taqsimlangan Multiagent tizimlar	306
4.3.Multiagent tizimlar qurilishi va arxitekturasi asosiy tamoyillari ..	314
4.4. Taqsimlangan Multiagent tizimlarda bayonnomalar.....	325
4-bob bo'yicha nazorat savollari	330
4-bobga doir adabiyotlar	331
5-bob. NOANIQ AXBOROTLAR SHAROITIDA QAROR QABUL QILISH	334
5.1.Qarorlar qabul qilish masalasining umumiy qo'yilishi	334
5.2.Qarorlar qabul qilish usullari	336
5.2.1.Qarorlar qabul qilishning klassik usullari haqida umumiy tavsif.....	336
5.2.2.Qarorlar qabul qilish nazariyasining asosiy yo'nalishlari	354
5.3.Noaniq to'plamlar nazariyasi va intervalli tahlilning noaniqlikning turli ko'rinishlarini tavsiflashda qo'llanilish imkoniyatlari	357
5.4.Interval noaniqliklar sharoitida qarorlar qabul qilish	361
5.5.Qarorlar qabul qilishga imkoniyatlar nazariyasining qo'llanilishi	369
5.6.Noaniq noaniqliklar sharoitida qarorlar qabul qilish	373
5.6.1.Qarorlar qabul qilishning noaniq muhiti	373
5.6.2.Nomukammal axborotlar bilan qarorlar qabul qilish masalasining qo'yilishi	375
5.6.3.Foydalilikning noaniq funksiyasi	381
5.6.4.Lingvistik ehtimolliklar asosida noaniq belgili noaniq o'lchamlarni qurish	391
5.6.5.Nomukammal axborotlar bilan qarorlar qabul qilishning umumiy uslubi.....	395
5.6.6.Nomukammal axborotli ko'p mezonli qarorlarning tahlili	396
5.6.7.Noaniq qarorlar tamoyilining konstruktiv amalga oshirilishini ba'zi jihatlar.....	397
5.7.Boshqaruv qarorlarini intellektual qo'llab-quvvatlashning kompyuterli texnologiyasi	412
5.7.1.Qarorlarni shakllantirish usullarining umumiy tavsifi	412
5.7.2.Qarorlarni qabul qilish bosqichlari va ularni baholash mezonlari (Saymon sxemasi)	415
5.7.3.Aniqlilik sharoitida qarorlarni shakllantirish	418
5.7.4.Noaniqlilik sharoitida qarorlarni shakllantirish	419
5.7.5.Qaltis sharoitlarda qarorlarni shakllantirish	421
5-bob bo'yicha nazorat savollari	422

5-bobga doir adabiyotlar	423
6-BOB. NOANIQ KO'P MEZONLI QARORLAR QABUL QILISH	427
6.1.Noaniq chiziqli dasturlash	427
6.2.Noaniq nochiziqli dasturlash	435
6.3.Noaniq dinamik dasturlash	445
6.3.1.Noaniq munosabatli noaniq nochiziqli masalalar	445
6.4.Noaniq ko'p mezonli qarorlar qabul qilish usullari.....	453
6.4.1.Masalalarning noaniq qo'yilishida optimallashtirish va qaror qabul qilishning ko'p mezonli masalalarini yechish	453
6.5.Guruhli qarorlarni qabul qilish usullari.....	458
6.5.1.Guruhli qarorlar qabul qilishning o'ziga xos xususiyatlari	458
6.5.2.Guruhli qarorlarni qabul qilish usullari	469
6-bob bo'yicha nazorat savollari	483
6-bobga doir adabiyotlar	484
7-BOB. INTELLEKTUAL TIZIMLARNING AMALIY JIHATDAN AMALGA OSHIRILISHI	486
7.1. Murakkab ko'p o'lchamli texnologik obyektlarni boshqarish tizimlarining majmuaviy va noaniq rostlagichlari	486
7.2.To'liq kanalli intellektual kuzatuvchi tizimlarni amalga oshirilishi	493
7.2.1. Tegishlilik funksiyalari tahlili va obyektning holatlarini baholash.....	493
7.2.2.To'liq kanali kuzatuvchi tizimlarda fazzifikatsiya va defazzifikatsiya masalalari	496
7.2.3.To'liq kanalli intellektual kuzatuvchi tizimlarni amalga oshirilishi.....	498
7.3.Noaniq mantiqiy kontrollerli intellektual boshqarish tizimlari sintezi	503
7.3.1.Noaniq mantiqiy kontroller sintezi masalasining rasmiy qo'yilishi	504
7.3.2.Dinamik obyektlarni boshqarishning noaniq mantiq asosidagi tizimlari sintezi	508
7.3.3.Fazzifikatsiya va defazzifikatsiya usullarini tadqiq qilish	516
7.4.Qaror qabul qilishning Benchmark-masalasi - loto Bingo usuli	522
7.5.Iqtisodiyotda hisoblash intellektining qo'llanilishi	528
7.5.1.Makroiqtisodiyotda noaniq qarorlar qabul qilish	528
7.5.2. Investitsiyalash bo'yicha noaniq qarorlar qabul qilish	538
7.6.Tibbiyotda hisoblash intellektining qo'llanilishi	541
7.6.1.Periodontitini davolashda noaniq qaror qabul qilish.....	541
7-bob bo'yicha nazorat savollari	548
7-bobga doir adabiyotlar.....	549
Glossariy	551

KIRISH

O'zbekiston Respublikasi Prezidenti I.A.Karimovning «Bizning yo'limiz – demokratik islohotlarni chuqurlashtirish va modernizatsiya jarayonlarini izchil davom ettirish yo'lidir» (Toshkent: O'zbekiston, 2012. – 312 b.) asarida bayon etilganidek, mamlakatning kelgusidagi taraqqiyot konsepsiyasiga muvofiq, ushbu darslikda ijtimoiy-iqtisodiy taraqqiyotning eng muhim istiqbollari va yo'nalishlarini amalga oshirilishini ta'minlashga moslashish imkoniyatlari, shuningdek, mamlakat iqtisodiyotini modernizatsiyalash va yangilash, islohotlarni davom ettirish va chuqurlashtirish, strukturaviy o'zgartirishlarni amalga oshirishga qaratilgan chora-tadbirlarni ishlab chiqish, strategik investitsion loyihalarni amalga oshirishga faol yondoshish, jumladan texnologik jarayonlarni boshqarish va qarorlar qabul qilishini qo'llab-quvvatlashning yuqori samarali tizimlarini yaratish sferasidagi masalalar yoritilgan.

Bugungi kunda inson faoliyatining barcha sohasidagi boshqarish va qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlashning murakkab masalalarini yechishda sun'iy intellekt usullari va algoritmlarini jadal kirib borayotganligini har kuni kuzatish mumkin.

Birinchidan, boshqarish va qaror qabul qilishning intellektual tizimlari sinfiga bo'lgan qiziqish bir qator sabablar bilan izohlanadi. Masalan, an'anaviy axborot texnologiyalari talab etiladigan boshqarish sifatini ta'minlab bera olmaydi, chunki ular obyektga ta'sir etayotgan barcha noaniqliklarni hisobga olmaydi.

Ikkinchidan, avtomatik boshqarish nazariyasi potentsiali zamonaviy axborot-texnologiyalari hamda ma'lumotlar va bilimlarga ishlov berish texnologiyalari orqali imkoni boricha kengaytirilgan bo'lishi mumkin.

Boshqarishning intellektual texnologiyalarini kelgusidagi rivojlanishi ijro etish sathida ham maqsadga muvofiq harakatlarni va xulqni tashkillashtirish bosqichida ham yuqori foydalanish tavsiflari va kengaytirilgan funksional imkoniyatlarga ega bo'lgan mukammal texnik tizimlarni amalga oshirish imkonini beradi.

Ushbu darslikda boshqarish va qaror qabul qilishning yuqori samarali intellektual tizimlarini qurish va amalga oshirishning ilmiy-nazariy asoslari tizimlashtirilgan holda bayon etilgan.

Birinchi bobda hisoblash intellekti va uning tashkil etuvchilariga umumiy tavsif berilgan. Bunda hisoblash intellekti mashinali intellektning yuqori koeffitsiyentli tizimining asosi sifatida ko'rsatiladi. Noaniq mantiq nazariyasining asosiy qoidalari bayon etilgan. Neyrokompyuting, tadrijiy hisoblash, xaos nazariyasi hamda hisoblash intellekti asosida sintezlanadigan gibrid tizimlar ko'rib chiqilgan.

Ikkinchi bob avtomatik boshqarishning intellektual tizimlariga bag'ishlangan. Unda noaniq mantiq usullari va algoritmlari asosida boshqarishning intellektual tizimlarini qurishning umumiy tamoyillari bayon etilgan. shuningdek ushbu bob tarkibida noaniq, neyron va neyro-noaniq avtomatik rostlagichlari bo'lishi nazarda tutiladigan intellektual boshqarish tizimlarini tahlil qilish va sintezlashning usullari ham ko'rib chiqilgan.

Uchinchi bobda texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni boshqarishning intellektual inson-mashina tizimlarini qurishga bo'lgan yondoshuvlar bayon etilgan va noaniq hamda yumshoq ekspert tizimlarning imkoniyatlarini solishtirish amalga oshirilgan. Texnologik jarayonlarni boshqarishning "aqli" tizimlariga alohida e'tibor qaratilgan. Nazorat, diagnostika va boshqarish tizimlarini tahlil qilish va sintezlashning neyrotarmoqli texnologiyasi tahlil qilingan.

To'rtinchi bob taqsimlangan intellektual tizimlarga bag'ishlangan. Unda atrof-muhitni nazorat qiluvchi va unga ta'sir ko'rsatuvchi aqli borliq deb tushuniladigan intellektual agentga ta'rif berilgan. Bunda ularning xulqi ratsional bo'lib, ular tushunishga, ularning ta'siri esa doimo asosiy maqsadga erishishga yo'naltirilgan bo'ladi. Ular xuddi robotlardek yoki qurilgan dasturiy tizimlar kabi bo'lishi mumkin. Multiagent tizimlarni qurishning asosiy tamoyillari va intellektual agentlarning bir-biri bilan o'zaro ta'siri masalalari bayon etilgan.

Beshinchi bobda noaniq chiziqli, nochiziqli va dinamik dasturlash asosida qarorlarni ko'p mezonli qabul qilishga alohida e'tibor qaratilgan hamda noaniq ko'p mezonli va guruhli qarorlar qabul qilish usullari va algoritmlari ko'rib chiqilgan.

Oltinchi bobda nomukammal, aniqlanmagan, noaniq va interval axborotli qarorlar qabul qilish masalalari ko'rib chiqilgan. shuningdek ushbu bobda noaniqliklarning turli ko'rinishlarini tavsiflash uchun noaniq to'plamlar nazariyasi va intervalli tahlilning qo'llanilish imkoniyatlari tahlil qilingan. Insonning xulqi quriladigan imkoniyatlar

nazariyasi usullari bayon etilgan va boshqaruv qarorlarini qo'llab-quvvatlashning kompyuterli texnologiyalari tahlil qilingan.

Yettinchi bob boshqarishning intellektual tizimlari va qaror qabul qilishni kimyo, neft va gazni qayta ishlash sanoati, iqtisodiyot, tibbiyot va inson faoliyatining boshqa sohaslarida qo'llanilishiga misollar bilan yakunlanadi.

Har bir bobning so'ngida foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati keltirilgan bo'lib, bu o'quvchiga berilgan predmet sohasida o'zining bilimlarini kengaytirish va chuqurlashtirish, shuningdek ko'rib chiqilgan usullar va algoritmlarni amaliy masalalarni yechishga qo'llash imkonini beradi.

Bugungi kunda qarorlar qabul qilishni talab etadigan ko'p sondagi yangi masalalar yuzaga kelgan bo'lib, ularni yechish uchun zarur bo'lgan bilimlar mohiyati va hajmi bo'yicha ham yetishmaydi. Shu bilan birgalikda bu masalalar – barcha tizimlarni loyihalashning asosi bo'lib, ular barcha bilimlarga tayanadi. Shundan kelib chiqqan holda, zaruriy bilimlarning to'la yoki qisman yo'qligi o'rtasidagi tafovutni yangi bilimlarni olish va loyihalashning usullari, algoritmlari va texnologiyalarini ishlab chiqish yo'li bilan bartaraf etish mumkin.

Ekologik balanslangan va chiqindisiz texnologiya asosidagi murakkab avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish, mikro va nanorobotlar, o'zgaruvchi strukturali o'zini-o'zi tashkil etuvchi biotexnologik tizimlar, multiagent tizimlar, insonning noaniq omiliga ega bo'lgan ijtimoiy-texnik tizimlar kabi boshqarish obyektlarining yangi sinflarini paydo bo'lishi, shuningdek atom va gidroenergetik stansiyalardagi texnogen halokatlarning oqibatlarini bartaraf etishning zaruriyati – bularning barchasi birgalikda olinganda loyihalanayotgan va foydalanilayotgan boshqarish va qaror qabul qilish tizimlarining intellektuallik salohiyatini oshirish zaruriyatini yuzaga keltirdi.

Bunday holat "Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish", "Texnologik jarayonlarni boshqarishning axborot-kommunikatsiya tizimlari" va "Metrologiya, standartlashtirish va sertifikatlashtirish" va shu kabi mutaxassisliklari bo'yicha magistrlar tayyorlashning o'quv rejalariga "Boshqarishning intellektual tizimlari va qaror qabul qilish" nomli yangi fanning kiritilish zaruriyatini yuzaga keltirdi.

Afsuski, mamlakatimiz va xorijdagi adabiyotlarda boshqarish va qaror qabul qilishning intellektual tizimlarini loyihalash va ulardan

foydalanishning nazariy va amaliy masalalari qisman yoki tarqoq holda yoritilgan. universitetlardagi ta'lim dasturlari esa sanab o'tilgan masalalarni yuzaki yoritib o'tgan yoki umuman ularni ko'rib o'tishni nazarda tutmaydi. Bu ma'lumotlar boshqarish va qaror qabul qilishning intellektual tizimlarini loyihalash va ulardan foydalanish bo'yicha mamlakatimiz va xorij tajribalarining to'planmaganligi bilan tushuntiriladi. Natijada, amaliyotda murakkab texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni boshqarishning yuqori samarali tizimlari, jumladan, boshqaruv qarorlarini qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi tizimlar ham yetarli darajada amalga oshirilmaydi.

Ushbu darslik o'zida muallflarning ushbu predmet sohasidagi shaxsiy tadqiqotlari, shuningdek mamlakatimiz va xorijlik muallflarning nashr etilgan ko'p sonidagi materiallarini umumlashtirishga qaratilgan birinchi harakatlaridan birini namoyon etadi va muallflar oldindan o'zlarining qiziqarli va istiqbolli ishlanmalari orqali keng doiradagi kitobxonlar bilan tanishayotganliklari uchun o'zlarining minnatdorchiliklarini bildirishadi.

Taqdim etilayotgan darslikda bayon etilgan muammolar o'zida muallflar tomonidan ma'ruzalar o'qish davomida to'plangan tajribalarni, shuningdek Abu Rayhon Beruniy nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti (yo'nalish rahbarlari O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi akademigi, professor N.R.Yusupbekov va texnika fanlari doktori A.N.Yusupbekov), Ozarbayjon davlat Neft Akademiyasi (yo'nalish rahbari Ozarbayjon Fanlar Akademiyasi muxbir a'zosi, professor R.A.Aliyev) va Misrning "Eastern Mediterranean University" (yo'nalish rahbari professor R.R.Aliyev) da rivojlanib kelayotgan ilmiy-tadqiqot jarayonlarining yangi tendensiyalarini aks ettiradi.

Ushbu darslik muallflarining bayon etgan materiallari O'zbekiston Respublikasining ko'pgina universitetlarida, shuningdek, yaqin xorijiy mamlakatlardagi universitetlarning o'quv jarayonlarida qo'llanilishi mumkin deb tan olingan uzoq yillik oliy maktablarning xalqaro tajribalari mahsuli ekanligini e'tirof etgan holda, boshqarish va qaror qabul qilishning intellektual tizimlari nazariyasi va amaliyotidan xalq xo'jaligi uchun muhim va murakkab bo'lgan masalalarni yechishda, boshqarish va qaror qabul qilish tizimlarini ishlab chiquvchilar, menejer-analitiklar va foydalanuvchilar sferasi uchun

yuqori malakali mutaxassislarni intellektual mehnat bozori sharoitlari talablari darajasida tayyorlashda foydalanish mumkin.

Mualliflar darslikning barcha materiallarini sinchkovlik bilan ko'rib chiqqanliklari va o'zlarining qimmatli maslahatlarini berganliklari uchun O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi akademigi, texnika fanlari doktori, professor T.F.Bekmuratov va texnika fanlari doktorlari, professorlar Sh.M.G'ulomov va X.Z.Igamberdiyevlarga o'zlarining samimiy minnatdorchiliklarini bildirishadi.

Shuningdek, mualliflar darslikning qo'lyozmasini nashr uchun tayyorlash jarayonidagi o'zlarining beminnat yordamlarini berganliklari uchun Toshkent davlat texnika universitetining "Ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish" va "Boshqarishda axborot texnologiyalari" kafedralari hamda Ozarbayjon neft akademiyasining "Axborotlarga ishlov berishning avtomatlashtirilgan tizimlari va boshqarish" kafedrasini xodimlariga chuqur minnatdorchilik bildirishadi.

Shak-shubhasiz, mualliflar o'quvchilar tomonidan bildiriladigan fikr-mulohazalar va takliflarni minnatdorchilik bilan qabul qilishadi va ularni e'tiborga olishadi.

1-BOB. HISOBLASH INTELLEKTI ASOSLARI

1.1. Hisoblash intellekti mashinali intellektning yuqori ko'effitsiyentli tizimi asosi sifatida

Hisoblash intellekti (inglizcha computational intelligence (CI)) – sun'iy intellektning tarmog'i. Hisoblash intellekti qat'iy mantiqiy xulosaga asoslanuvchi klassik sun'iy intellektga muqobil sifatida noaniq mantiq, sun'iy neyron tarmoqlari va tadrijiy modellashtirishda qo'llaniladigan evristik algoritmlarga tayanadi. Bundan tashqari, hisoblash intellekti asalari intellekti (chumoli algoritmi va shu kabilar), fraktallar va xaos nazariyasi, sun'iy immun tizimi va shu kabi sohalarni qamrab oladi.

Hisoblash intellekti, qaysidir ma'noda, aqlli dasturlarni yaratish uchun o'rganish, moslashish, manyovrlar va noaniq mantiq (noaniq to'plamlar) elementlarini o'zida mujassamlashtiradi. U statistik usullardan voz kechmaydi, lekin ko'pincha ularga yangicha qarashlar (masalan, noaniq mantiq) taqdim etadi. Sun'iy neyron tarmoqlari, o'z navbatida, mashinali o'qitish bilan chatishib ketadi. Hisoblash intellekti, shuningdek yumshoq hisoblash, konneksionistik tizimlar va kibernetika bilan ham chambarchas bog'liqdir.

Asosini murakkab tizimlarning algoritmik modellari tashkil etuvchi hisoblash algoritmlari sohasidagi eng zo'r yutuqlarga biologik obyektlarni shakllantirish asosida erishilgan. Bu yangi ilmiy yo'nalish – hisoblash intellekti (computational intelligence) yoki intellektual algoritmlar (intelligence algorithms) ni shakllanishiga olib keldi [1].

Hisoblash intellektining asosiy muammolaridan biri kompyuter yordamida, noaniqlik va yuqori xavfli sharoitlarda inson tomonidan qabul qilinadigan boshqaruv qarorlarini imitatsiyalovchi qurilmalarni, aqlli fikr-mulohaza va xulqni yaratish hisoblanadi. Sun'iy intellekt sohasiga noaniqlilik darajasining yuqoriligi bilan tavsiflanuvchi muammolar yechimlarining aniq analitik modellari, usullari va algoritmlariga tayanilmaydigan sohalar kiradi.

Hisoblash intellektining yo'nalishi quyidagi asosiy ilmiy paradigmalariga tayanadi: noaniq tizimlar (fuzzy systems), sun'iy immun tizimlar (artificial immune systems), sun'iy neyron tarmoqlar (artificial neural networks), tadrijiy hisoblash (evolutionary computation) va asalari oilasi intellekti (swarm intelligence). Mantiq

va deduktiv xulosalar, mashinali o'qitish, ekspert tizimlar bilan birgalikda ushbu usullar va algoritmlar sun'iy intellektning ilmiy yo'nalishini shakllantiradi.

Intellekt keng ma'noda ijod, san'at, ong, emotsiya va intuitsiyani ishga solib, fikrlash, tushunish va tajribadan xulosa chiqarish qobiliyatini bildiradi.

Sun'iy intellekt usullari belgili (harflar, so'z, jumla, belgilar, tasvirlar va shu kabilar) ko'rinishdagi axborotdan foydalanishdan iborat bo'lgan xarakterli xususiyatlarga tayanadi, axborotlarni qidirish esa belgili mantiqqa asosan amalga oshiriladi. Belgili son bo'lmagan axborotlarga ishlov berishda hisoblash mashinalari axborotlarni ikkilik ko'rinishdagi belgilarga kodlaydi. Keyin kompyuter ularni taniydi yoki bunday belgilar ketma-ketligini solishtiradi va deduktiv mantiqiy fikrlashni amalga oshiradi.

Teoremlarni avtomatik isbotlash, timsollarni tanish. O'yinli tizimlar, tabiiy tilni tushunish tizimlarining masalalarini yechadigan keng spektrdagi tizimlarni yaratish ishlarida sun'iy intellektning yirik muvaffaqiyatlariga qaramasdan, bugungi kunda an'anaviy sun'iy intellekt inson sog'lom fikrlashi orqali yechadigan masalalarni xuddi u yechganidek yechish imkoniga, shuningdek tushunish va fikrlashda inson qobiliyatiga o'xshash hisoblanuvchi amallarga ega emas. An'anaviy sun'iy intellekt robototexnika, kompyuterli ko'rish, nutq va qo'lyozmalarni tanish, mashinali tarjima, tajribani o'rganish va boshqa real dunyo muammolaridagi masalalarni yechishda o'zini ko'rsata olmaydi.

Algoritmlar nazariyasi asoschisi Alan Tyuring bosh miyada yuz beradigan jarayonlarni modellashtiruvchi mashinalarni yaratish mumkin deb hisoblagan va u bunday mashinalar inson miyasi bajara oladigan ishlarni qila olishiga ishongan. Biroq bu tasdiq hali-hamon amalga oshirilmay kelmoqda. Tabiiy nerv tizimining alohida qismlarini modellashtirishda rad etib bo'lmaydigan muvaffaqiyatlarga erishilgan vaqtdan bugungi kunga qadar inson intellektining anglash, intuitsiya va emotsiya kabi komponentlarini modellashtirish masalalarining yechimi topilmadi.

Hisoblash intellektining asosiy komponentlariga e'tibor qaratamiz: noaniq tizimlar, sun'iy neyron tarmoqlari, tadriijiy hisoblash, genetik algoritmlar, asalari oilasi intellekti va sun'iy immun tizimlari.

Hisoblash intellektining paradigmasi tabiiy biologik tizimlarning xossalari modellashirishga asoslangan. Noaniq tizimlar esa organizmlarning atrof-muhit bilan o'zaro ta'sirlarini tadqiq qilishga asoslanadi. Sun'iy neyron tarmoqlarda biologik nerv tizimlarining fragmentlarini shakllantirishga urinishlar qabul qilingan. Tadrijiy hisoblashlar esa tabiiy tadrijiy rivojlanishni modellashiradi va genetikaning asosiy qonunlarini shakllantiradi. Sun'iy immun tizimlar biologik immun tizimlarning asosiy tamoyillarini modellashiradi. Oila intellekti oila (to'da, oila va shu kabi) bo'lib yashovchi organizmlarning ijtimoiy xulqini modellashiradi.

Real dunyoning ko'rsatib o'tilgan va boshqa ko'pgina muammolari e'tibor bermaslikning iloji bo'lmagan noaniqlik va aniqlanmaganliklar bilan belgilanadi. Professor L.Zodaning fikriga ko'ra, sun'iy intellekt, agar o'zini faqatgina belgili axborotlarga ishlov berish va birinchi tartibli mantiq (first order logic) dan foydalanish bilan cheklab qo'ymaganda edi, juda katta muvaffaqiyatlarga erishgan bo'lardi.

Sun'iy intellektning barcha an'anaviy tizimlari so'nggi vaqtlarga qadar Hard Computing deb nomlanuvchi texnologiya asosida amalga oshirib kelingan. Bunda faoliyat olib borishning zaruriy sathiga erishishga yo'naltirilgan o'rganishning sun'iy intellektual amallari ta'siriga tushib qolmaydigan operatorlarning qat'iy ketma-ketligi ko'rinishidagi ma'lum dasturni amalga oshiruvchi kompyuter texnologiyasi namoyon bo'ladi. Bularning barchasi, tabiiyki, sun'iy intellekt tizimlari imkoniyatlarini cheklaydi.

«Mashinali intellekt koeffitsiyenti» (MIK) yoki «Machine Intelgent Quotient» (MIQ) atamasi birinchi marta L.Zoda tomonidan inson tomonidan yaratilgan tizim intellekti o'lchamini tavsiflash uchun kiritilgan bo'lib, bunday hollarda intellektual tizim yuqori MIK li tizim sifatida tushuniladi [2]. An'anaviy intellekt koeffitsiyenti (IK) ning MIK dan farqi shundaki, birinchi koeffitsiyent ko'proq yoki kamroq miqdorda o'zgarib qolmaydi, ikkinchisi esa vaqt o'tishi bilan o'zgaradi va mashinaga bog'liqdir. Masalan, nutqni tanish MIK uchun muhim tavsif bo'lsa, IK da esa ma'nosiz bo'lib, doimo xossa o'rnida keladi.

An'anaviy sun'iy intellekt o'zining ko'rsatib o'tilgan xususiyatlariga ko'ra, axborotlarning aniqlanmaganligi va noaniqligini aks ettirish uchun muhim bo'lgan sonli usullarni qabul qilmaydi. Ko'rsatib o'tilgan holatga ko'ra sun'iy intellekt tizimlarining

MIK qiymati unchalik yuqori emas va barcha choralarni qo'llab, uni oshirish masalasini yechish lozim. Biroq hozirgi vaqtga qadar inson tomonidan yaratilgan tizimlar (masalan, ko'tarib yuriladigan videokameralar) MIK ni o'lchash uchun muvofiq testlar to'plami mavjud emas [2]. Lekin yaqin vaqtlar ichida bunday testlar ishlab chiqiladi va MIK tushunchasi mashinali intellektni o'lchashda muhim rol o'ynaydi [3]. Shuning uchun ham intellektual tizimlarning mashinali intellekti koeffitsiyentini oshirish masalasi bugungi kunning muhim masalalaridan biri hisoblanadi.

Bunda real dunyoning boshqa usullar bilan yechib bo'lmaydigan muammolarini samarali yechish imkonini beradigan noaniq mantiq, neyron tarmoqlar va tadrijiy hisoblash kabi yangi yondoshuvlardan avtonom foydalanishni nazarda tutuvchi Soft Computing - texnologiyasi asosiy uslubiyat sifatida maydonga chiqadi [4-6].

Professor L.Zoda tomonidan birinchi marta yumshoq hisoblash tushunchasi (Soft Computing) fanga kiritilgan bo'lib, uning mohiyati an'anaviy qattiq hisoblash (Hard Computing texnologiyasi) dan farqli ravishda, real dunyoning ko'p narsani o'z ichiga oluvchi noaniqlariga moslashishga mo'ljallanganligidan iborat. Yumshoq hisoblashning asosiy tamoyili boshqarishning qulayligi, robastlikni ta'minlash, qarorlar qiymatining pastligi, shuningdek mavjud realikka eng yaxshi mos kelishga erishi uchun noaniqlik, aniqlanmaganlik va qisman haqiqiylikka chidamliligidan iborat. Yumshoq hisoblash uchun boshlang'ich modeli bo'lib, insoniy fikrlash texnologiyasi xizmat qiladi.

Yumshoq hisoblash - bu axborot texnologiyalarining turli yo'nalishlarini birlashuvi, integratsiyasi. Bu yerda asosiy tashkil etuvchilar noaniq mantiq, neyro-hisoblash, genetik hisoblash va xotik tizimli ehtimoliy hisoblashlar, ishonch tarmoqlari va mashinali o'qitish usullari hisoblanadi.

Yaqin yillarda intellektual tizimlarning tarqalishi boshqarishning intellektual tizimlarini tahlil qilish va sintezlashning usullariga chuqur ta'sir ko'rsatadi. Bugungi kunda biz axborot inqilobining yakunlanayotganligiga guvoh bo'lib turibmiz. Bu inqilobning mahsuli sifatida butun dunyo Internet tarmog'i, uyali aloqa telefonlarini hamda axborotlarga ishlov berish bo'yicha keng imkoniyatlarga ega bo'lgan faksml mashinalari va kompyuterlarni keltirish mumkin.

Ko'zga tashlanmaydigan, lekin potensial jihatdan muhim bo'lgan axborot inqilobi intellektual tizimlar sohasidagi inqilob hisoblanadi. Buning artefakti sifatida o'zining yoki boshqaning tajribasini o'qiy oladigan, inson aralashuvsiz fikrlash va boshqarish aqlli qarorlarini qabul qiluvchi, inson tomonidan yaratilgan tizimlarni keltirib o'tish mumkin.

So'ngi vaqtlarga qadar sun'iy intellektning instrumentlar arsenalini mantiqqa asoslanuvchi belgilarni boshqarishga asoslanib kelgan va o'z-o'zidan ko'rinib turibdiki, sonli usullarga murojaat qilishga hojat bo'lmagan. Hozirda to'laligicha aniqki, belgilar bilan ishlash va predikatlar mantiqini qo'llash real dunyoning ko'pgina masalalarini yechishda jiddiy cheklanishlar bilan to'qnashadi. Eng avvalo, bu nutqni tanish, kompyuterli ko'rish, qo'lyozmalarni tanish, multimediali ma'lumotlar bazasida qidiruv, timsollarni tanish, harakatlarni rejalashtirish, assotsiativ fikrlash, noaniqliklar bilan boshqarish va shu kabi mashinali intellekt bilan bog'liq bo'lgan sohalarga tegishlidir [4-8].

O'rab turuvchi real dunyoning to'la bo'lmagan aniqlanmaganliklari, shuningdek, noaniqliklar bilan bog'liq bo'lgan noaniq mantiq (fuzzy systems), neyron tarmoqlar (neural networks), ehtimoliy fikrlash (probabilistic reasoning), genetik algoritmlar (genetic algorithms), xaos nazariyasi (chaos theory), o'rganish nazariyasi (learning theory) kabi bilim va ma'lumotlarga kompyuterli ishlov berishning intellektual paradigmalari to'plami Soft Computing («yumshoq», moslashuvchan hisobiy ishlov berish) asosini tashkil etadi. Aksincha, Hard Computing taxminan «qattiq», qat'iy hisoblashni bildiradi. An'anaviy Hard Computing hisoblash texnologiyasidan farqli ravishda «yumshoq» hisoblash mavjud unumdorlik va samaradorlikni tushirmagan holda yakuniy foydalanish uchun noaniqlik va qisman haqiqiylik bilan murosaga kelish bo'yicha muvaffaqiyatlidir. Soft Computing texnologiyasining asosiy afzalliklaridan biri noaniqlik, aniqlanmaganlik va qisman haqiqiylikka yo'l qo'ygan holda belgili yoki lingvistik shaklda ifodalash, robustlik, g'alayon ta'sirlariga turg'unlik va qarorlarning quyi qiymatlariga erishish imkonini berishidan iboratdir [5].

Aniqlik ahamiyatga ega ekanligini tushungan holda, shuni ta'kidlab o'tish lozimki, ma'lum qiymatdagi masalani yechish uchun yetarli darajadagi aniqlikka erishish zarur, lekin undan ortig'iga emas.

Xuddi shunday aniqlanmaganlik va qisman haqiqiylik (partial truth) to'g'risida ham ushbu fikrlarni tasdiqlash mumkin. Masalan, avtomobilni masofa va burchakni o'lchamasdan turib, to'xtash joyiga qo'yish mumkin. Chunki avtomobilning oxirgi holati aniq berilmagan. Agar aniq talablar qo'yilganda edi, ba'zi o'lchashlarni, xususan, masofani santimetrlarda, burchakni sekundlarda o'lchash talab etilganda, uzoq vaqt va o'lchash asboblari zarur bo'lar edi. Bunda masala yechimining qiymati uning aniqligi oshishi bilan o'sib borar edi.

Bugungi kunda yumshoq hisoblash noaniq mantiq, sun'iy neyron tarmoqlari, ehtimoliy fikrlash va tadrijiy algoritmlar kabi sohalarni birlashtirdi. Ular bir-birini to'ldirgan holda, gibrid intellektual tizimlarni yaratishda turli kombinatsiya va uyg'unlikda ishlatiladi.

Xuddi shunday tarzda noaniq to'plamlar klassik matematik to'plamlar nazariyasini kengaytirdi va noaniq mantiq esa ularning ichida eng keng qo'llaniladigani bo'lib chiqdi. Noaniq mantiq (*Fuzzy logic*) bilimlar bazasi (*Data Mining*) ning ko'pgina usullari ichiga, ularning yangi vazifalarini ajratib bergan holda kirib bordi.

Klassik noaniq tizimlar (fuzzy systems) uchun asosan quyidagi kamchilik o'rinlidir: tegishlilik funksiyalari va qoidalarini ifodalash uchun u yoki bu predmet sohasidan ekspertlarni jalb etish lozim. Adaptiv noaniq tizimlar ushbu muammoni hal etadi. Ularda parametrlarni tanlash (saralash) tajriba ma'lumotlarini o'rganish jarayonida amalga oshiriladi. Adaptiv noaniq tizimlarni o'rganish algoritmlari ikki bosqichdan tashkil topadi:

- lingvistik qoidalarni ishlab chiqish;
- tegishlilik funksiyalarini to'g'rilash.

Birinchi masala saralash turidagi masalalarga, ikkinchisi esa uzluksiz fazoda optimallashtirishga kiradi. Bunda noaniq qoidalarni ishlab chiqish uchun tegishlilik funksiyalari, noaniq xulosani keltirish uchun esa lingvistik qoidalar zarur. Bundan tashqari, noaniq qoidalarni avtomatik tarzda ishlab chiqishda ularning to'liqligi va bir-biriga mos kelishini ta'minlash kerak. Noaniq tizimlarni o'rganish usullarining katta qismida genetik algoritmlar (*Genetic Fuzzy Systems*) dan foydalaniladi.

Noaniq neyron tarmoqlar (*Fuzzy-Neural*) noaniq mantiq apparatlariga tayanib, xulosalarni amalga oshiradi. Bunda neyron tarmoqlarini o'rganish algoritmlaridan foydalanib, tegishlilik

funksiyalarining parametrlari sozlanadi. Bunday tarmoqlarning parametrlarini saralash uchun xatolarning teskari tarqalish usulini qo'llaymiz. Bunda noaniq boshqarish moduli ko'p qatlamli tarmoq shaklida aks ettiriladi. Noaniq neyron tarmog'i quyidagi qatlamlardan tashkil topadi: kirish o'zgaruvchilari qatlami, shartni faollashtirish qiymatini ishga tushiruvchi qatlam, noaniq qoidalarni ishga tushiruvchi qatlam va chiqish qatlami.

Bugungi kunda noaniq neyron tarmoqlarining ikkita: chiqishlarning adaptiv neyro-noaniq tizimlari – ANFIS va Takagi-Sugeno-Kanga – TSK turidagi arxitekturalari keng tarqalgan. Bunday tarmoqlarning universal *approximator* ekanligi isbotlangan.

To'plangan bilimlarni o'rganish va qayta akslantirishning tezkor algoritmlari kabi omillar noaniq neyron tarmoqlarini yumshoq hisoblashning eng istiqbolli va samarali vositalaridan biriga aylantirdi.

Aniq usullar (misol uchun Koxonen neyron tarmog'i) dan farqli o'laroq, klasterlashning noaniq usullari bir vaqtning o'zida birgina obyektga bir nechta, lekin turli darajadagi klasterlar bilan tegishli bo'ladi. Ko'pgina hollarda noaniq klasterlash, aniq klasterlashga qaraganda tabiiyroq bo'ladi (masalan, klasterlar chegarasida joylashgan obyektlar uchun). Noaniq o'z-o'zini tashkillashtirish algoritmi (c-means) va uning umumlashgan ko'rinishi - Gustafson-Kessel algoritmi eng ko'p tarqalgan.

Ma'lumotlar bazasiga noaniq murojaat (fuzzy queries) – axborotlarga ishlov berishning zamonaviy tizimlaridagi istiqbolli yo'nalish bo'lib, murojaatlarni tabiiy tilda ifodalash imkonini beradi. Buni murojaatlarning standart mexanizmlaridan foydalanib amalga oshirib bo'lmaydi. Ushbu maqsadda noaniq murojaatlar uchun noaniq relyatsion algebra va tillarning maxsus kengaytmasi SQL (murojaatlarning strukturalangan tillari) ishlab chiqilgan. Bu sohadagi izlanishlarning ko'p qismi olimlar D.Dyubua va G.Pradega tegishli.

Soft Computing texnologiyasi axborotlarni siqish uchun muhim ahamiyatga ega (ayniqsa, chiqarish qobiliyati oshirilgan televizorlarda, sifatli ovoz yozish tizimlarida, tasvir va nutqni tanish tizimlari va shu kabilarda).

Soft Computing texnologiyasiga asoslangan konsepsiya va vositalar mashinali intellekt koeffitsiyenti yuqori bo'lgan tizimlarni loyihalash, joriy etish va ulardan foydalanishda muhim rol o'ynaydi [6].

Inson faoliyatining turli sferalarida keng namoyon etilgan an'anaviy sun'iy intellekt tizimlari, jumladan, ekspert tizimlar ham ko'pincha neyron tarmoqlar asosida amalga oshirilgan va hisoblashning bunday asosi yaratilayotgan tizimlarning samaradorligini cheklab qo'ygan. Bugungi kunga kelib, nafaqat ma'lumotlarga belgili ishlov beradigan neyron tarmoqlar asosidagi, balki axborotlarga noaniq ishlov beradigan, tadrijiy hisoblash, noaniq assotsiativ qoidalar, belief-tarmoqlar, genetik algoritmlar, sun'iy hayot (artificial live), biologik hisoblashlar (biological computing), neyron hisoblashlar (neural computing) va shu kabilar asosidagi amaliy sun'iy intellekt tizimlari (SIT) ning soni oshib borayotganligini kuzatish mumkin.

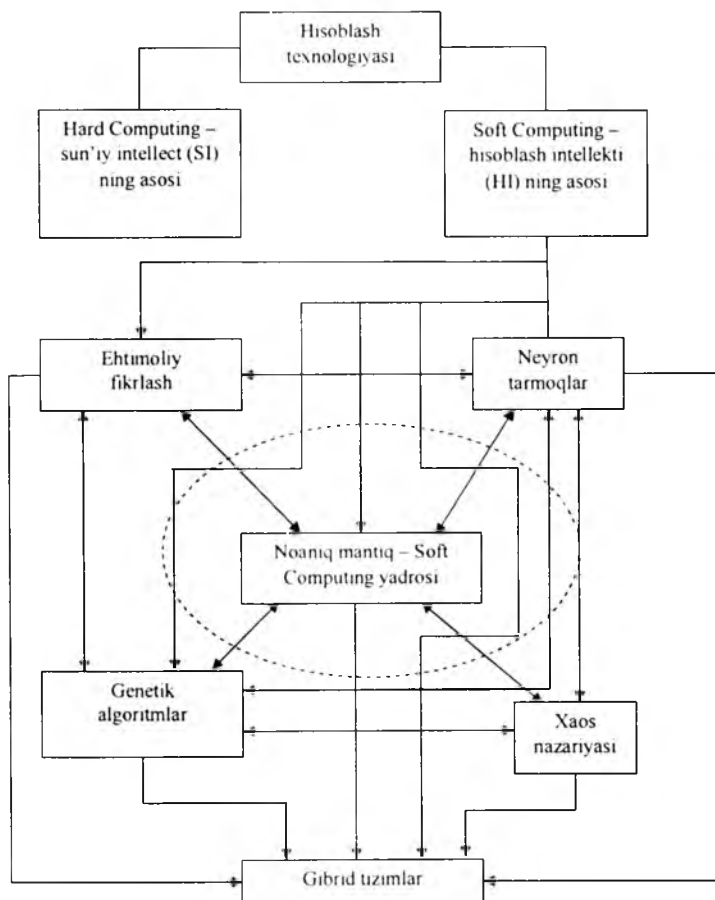
Bularning barchasi, sun'iy intellekt tizimlari sferasidagi tadqiqotlar va ishlanmalarning og'irlik markazi Soft Computing texnologiyasi tomonga siljayotganidan darak beradi.

1.1.1-rasmda hisoblashga oid Soft Computing texnologiyasining strukturasi tasvirlangan. Hisoblash intellektining asosiy komponentlari: noaniq mantiq, neyron tarmoqlar nazariyasi, ehtimoliy fikrlash, genetik algoritmlar, xaos nazariyasi. Noaniq mantiq, asosan, noaniqlilik va taqribiy fikrlash bilan; neyron tarmoqlar - o'rganish bilan, ehtimoliy fikrlash usullari esa aniqlanmaganlik bilan ish ko'radi. Umuman olganda, noaniq mantiq, neyron tarmoq va ehtimoliy fikrlash o'zaro bir-birini to'ldiruvchi yondashuvlar bo'lib, aslo muqobil emas [7-8]. Bu yondashuvlarning uyg'unligi gibrid intellektual tizimlarning keng spektrini yaratish imkonini beradi.

Soft Computing komponentlari tadrijiy hisoblashlar (evolutionary computing) va boshqalarda mustaqil qo'llanilishi (masalan, noaniq hisoblashlarda (neural computing)), shuningdek, juda kam hollarda aralash holda ishlatilishi mumkin [10]. Mustaqil qo'llanilishiga asoslanib, Soft Computing komponentlari (noaniq texnologiya, neyronli texnologiya, xaos-texnologiyasi va boshqalar) bugungi kunda inson faoliyatining sanoat, iqtisodiy va ijtimoiy sohalarida yangi axborot texnologiyalari sifatida keng qo'llanilmoqda.

Hisoblash intellektining yetakchi tashkil etuvchisi noaniq mantiq hisoblanadi. Soft Computingda u so'zli ifodalash va takliflarni aks ettiriluvchanligini ta'minlagan holda muhim rol o'ynaydi [5]. Noaniq mantiq sanoatning robototexnika, mayatnikli tizimlarni barqarorlatirish (inverted pendulum system), qarorlar qabul qilish va tashxislashning

murakkab tizimlari, ma'lumotlarni siqish, teleko'rsatuvlar va boshqa sohalarida muvaffaqiyatli qo'llanildi va qo'llanilib kelinmoqda.



1.1.1-rasm. Hisoblash intellektining strukturasi.

Lingvistik yoki noaniq raqamli ma'lumotlar ko'rinishidagi bilimlarni boshqarish tizimining tizimli protsessorini loyihalashda tizimning noaniq modeliga tayanish lozim. Noaniq to'plamlardan noaniq obyektlarni ifodalash uchun muhim bo'lgan approksimator kabi foydalanish mumkin bo'lib, agar operator amallarning qanday

turga mansubligini aniqlay olmasa, u bunday vaziyatlarda undan foydalanishi mumkin.

Biroq, noaniq mantiq bunday sof ko'rinishda intellektual tizimlarni qurishda har doim ham foydalanilavermaydi. Xususan, loyihalovchi tizim haqida yetarlicha aprior axborotlarga tayanmagan hollarda, noaniq qoidalar bazasini qurishning imkoni yo'q. Tizim murakkabligining ortib borishi bilan tizim xulqini monand tavsiflaydigan tegishlilik funksiyalari va qoidalarning aniq to'plamini belgilab olish bilan bog'liq bo'lgan qiyinchiliklar yuzaga keladi. Noaniq tizimlar shuningdek tajriba natijalari va tizim faoliyati sifatini yaxshilaydigan qoidalar to'plamini to'g'rilash bo'yicha qo'shimcha bilimlardan xalos bo'lishning yetishmasligidan ham zarar ko'radi.

Soft Computingning boshqa muhim komponenti neyron tarmoqlari (NT) hisoblanadi. Sun'iy neyron tarmoqlar parallel hisoblash modellari hisoblanadi va o'zida nochiziqli statik va dinamik tizimlarni mayda parallel amalga oshirilishini ifoda etadi. Bunday tarmoqlarning eng muhim belgisi ularning moslashuvchanlik tabiati bo'lib, unda an'anaiy "dasturlash" o'rnini "namuna bo'yicha o'rganish" egallaydi. Boshqa asosiy belgisi esa qurilgan parallelizmi bo'lib, u parallel raqamli kompyuterlar asosida tez ishlaydigan yechuvchi sxemalarni amalga oshirish imkonini beradi.

Sun'iy neyron tarmoqlari (SNT) timsollarni tanish, egri chiziq va funksiyalarni silliqlantirish, ma'lumotlarni siqish, assotsiativ xotira, nochiziqli noma'lum obyektlarni modellash tirish va boshqarish kabi xilma-xil muammolarni yechish uchun zarur bo'lgan hisoblash modellari hisoblanadi [6, 7].

Neyron tarmoqlar o'zlarining hisoblash samaradorligi va apparatli amalga oshirilishining osonligi bilan ajralib turadi. Ularning umumlashtirish xossasi – yangi timsollarni to'g'ri tasniflash qobiliyatiga ega. NT larning kamchiligi – yomon aks ettiruvchanlik: neyron tarmoqlarning kamchiligini ko'rsatgan holda ularni "qora quti" bilan solishtirishadi [5].

Tadriijiy hisoblash (evolutionary computing) – optimallashtirishga inqilobiy yondashuv. Tadriijiy hisoblash (TH) ning tarkibiy qismi bo'lgan genetik algoritmlar (GA) lar global optimallashtirishning algoritmlari hisoblanib, natural genetik mexanizmlariga asoslanadi [10–16]. Genetik algoritmlarning katta afzalliklaridan biri ularning

parallel ko'p o'lchamli qidiruv asosida samarali amalga oshirilishi hisoblanadi.

Genetik algoritmnı bajarish mexanikasi juda soddı. Yuqori hisoblash samarasi – genetik algoritmlarning asosiy yutuqlaridan biri. GA larning kamchiliklari muvofıqlıq muammosi va nazariy konstruksiyaning yo'qligi hisoblanadi. Bitli qatorlar sohasidagi haqiqiy (natural) o'zgaruvchilarni kodlashning zaruriyligi ham genetik algoritmlarning kuchsiz tomonlariga kiradi. 1.1.1-jadvalda Soft Computing komponentlarining solishtırma tavsıflari keltirilgan.

Hisoblash intellektining har bir tashkil etuvchisini qo'llashning o'ziga xos muammoli sohalari mavjud. Masalan, avtomobillarni to'xtash joyiga tartibli qo'yishning ma'lum masalasini, faqatgina, noaniq mantiqni qo'llab, yechish mumkin, NT, GA va boshqalarni qo'llashning imkoni yo'q.

1.1.1-jadval.

Soft Computing – texnologiyasi komponentlarining solishtırma tavsıflari

Tavsif	Noaniq to'plam	Sun'iy neyron tarmoqlar	Tadrijiy hisoblash va genetik algoritmlar
Kuchsiz tomonlari	Bilimlarni chiqishi	Izohlovchiligi «Qora quti» tabiati	Kodlash Hisoblash tezligi
Kuchli tomonlari	Izohlovchilik Shaffoflik Bosqichma-bosqichlik Modellashtirish Mantiqiy xulosa Aniqlikka intiluvchanlik	O'rganuvchanlik Xatolarga tolerantlik Egri chiziqlarni silliqlantirish Umumlashtirish qobiliyati Silliqlantirish qobiliyati	Hisoblash samaradorligi Global optimallashtirish

Soft Computingning noaniq mantiq, neyronli ishlov berish va ehtimoliy fikrlash kabi komponentlari o'zaro musobaqalashuvdan ko'ra, bir-birini to'ldirishi ko'rsatib o'tilgan edi. Bu tashkil etuvchilarni avtonom holatdan ko'ra aralash holatda qo'llash maqsadga muvofıqdir [17,18].

Soft Computing komponentlarini aralash qo'llashning quyidagi tamoyillari ma'lum:

- neyrokompyuting + noaniq mantiq (neyro-noaniq mantiq);
- noaniq mantiq + genetik algoritm;
- noaniq mantiq + xaos nazariyasi;
- neyron to'rlari + genetik algoritm;
- neyron to'rlari + xaos nazariyasi;
- neyron to'rlari + noaniq mantiq + genetik algoritm;
- noaniq mantiq + neyron tarmoqlar + genetik algoritm.

Soft Computing tashkil etuvchilarining boshqa kombinatsiyalari ham bo'lishi mumkin.

Ko'rinib turibdiki, neyron tarmoqlarning yomon aks ettirilgan qobiliyati bir tomondan, noaniq tizimlardagi bilimlarni o'zlashtirishning qiyinligi ikkinchi tomondan hisoblash intellektining tashkil etuvchilarini gibridlashtirishni belgilab beruvchi sabablar hisoblanadi.

Neyro-noaniq tizimlar, noaniq tizimlarning aks ettiruvchanlik xossalariga ega bo'lgan konneksionistik modellarning o'rganuvchanlik xossalarini uyg'unlashtirish orqali ushbu muammolarni yechishga intilayotgan gibrid tizimlar hisoblanadi. Dinamik ishchi muhitlar holatida noaniq tizimlardagi bilimlar bazasini avtomatik to'g'rilash shunchaki zarur bo'lib qoladi. Boshqa tomondan qaraganda, sun'iy neyron tarmoqlar misollar asosida o'qitish bo'yicha kutilgan yuqori aniqlik bilan boshqarish va optimallashtirish jarayonlari uchun bilimlarning ortiqchaligi bilan bog'liq bo'lgan muammolarni yechishda muvaffaqiyatli qo'llaniladi. Noaniq qoidalaridagi tegishlilik funksiyalarining egri chiziqlari shakllarini optimallashtirish. Shuningdek, foydalanilayotgan qoidalar sonini minimallashtirish uchun neyronli o'qitish tamoyilidan foydalanish talab etilgan aniqlikka erishish uchun yetarli bo'lib, bu neyro-noaniq yondashuvning mohiyatini bildiradi.

Qarorlar qabul qilishda inson tomonidan ishlatiladigan empirik, intuitiv strategiyani modellashtiruvchi mantiqiy xulosalar, shuningdek, keng spektrdagi funksiyalar (javob yuzasi) optimumini global qidirishni amalga oshirishga imkon beruvchi genetik algoritmlarga asoslangan noaniq tizimlar kombinatsiyasi samarali, robust adaptiv boshqarish tizimini yaratish imkoniyatini beradi.

Ko'pincha noaniq tizimlarning bilimlar bazasini noaniq qoidalaridagi tegishlilik funksiyalari LR-turidagi noaniq sonlar

ko'rinishida beriladi (masalan, trapetsiya, uchburchak va shu kabilar ko'rinishida). Bilimlar bazasini to'g'rilash, ya'ni tegishlilik funksiyalarining markazlari va ko'rinishlari qiymatlarini aniqlash uchun gradiyentli usullardan foydalanish o'zini oqlamaydi. Bunda samarali vositalar sifatida genetik algoritmlar yuzaga chiqadi.

Noaniq mantiq usullari va genetik algoritmlar kombinatsiyasi bilimlar bazasidagi qoidalar sonining noaniq bazasini hamda tegishlilik funksiyalarining turlari va markazlarining optimal qiymatlarini optimallashtirish imkonini beradi. Bunda genetik algoritmlar loyihalanayotgan noaniq tizimlar tegishlilik funksiyalari va munosabatlar matritsalarini qurish uchun foydalaniladi.

O'z navbatida, noaniq mantiq usullari va genetik algoritmlar bilan kombinatsiyalashgan holda noaniq to'plamlar nazariyasi ham genetik operatorlar va genetik algoritmlarning xulqini to'laligicha yaxshilash uchun ishlatilishi mumkin. Boshqacha aytganda, genetik algoritmlarning samaradorligini oshirish, ya'ni noaniq GA larni ishlab chiqish uchun noaniq vositalar (tools) ni yaratish mumkin.

Genetik algoritmlarning neyron tarmoqlar bilan kombinatsiyasi ham samarali natijalar beradi. Ma'lumki, sun'iy neyron tizimlarini ishlab chiqishning asosiy masalalaridan biri, neyron tarmoqlarining parametrlari (vazn, chegara va boshqalar) ni sozlash uchun o'qitishning mos usulini tanlash hisoblanadi. Bu usullardan eng mashhuri – xatolarning teskari tarqalishidir ("back propagation"). Afsuski, ushbu algoritmlar bilan ishlashning ba'zi qiyinchiliklari mavjud. Birinchidan, bu, o'qitishning samaradorligi neyron tarmoqlari vaznining tasodifiy aniqlanadigan boshlang'ich to'plamiga bog'liqligi bilan izohlanadi. Ikkinchidan, xatolarni teskari tarqalish usuli boshqa ixtiyoriy gradiyentli usul kabi lokal minimumlardan qochish imkonini bermaydi. Uchinchidan, agar o'rganish tezligi juda kichik bo'lsa, unda yechimni topish uchun ko'p vaqt talab etiladi. Nihoyat, to'rtinchidan, ko'rib chiqilayotgan usul faollashtirish funksiyalari differensiallanuvi bo'lishini talab etadi. Bu shart neyron tarmoqlarining ko'p turlari uchun bajarilmaydi. "Kuchli" usullar yaxshi qo'llanilmaganda ko'pgina masalalarni optimallashtirish uchun qo'llaniladigan genetik algoritmlar yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklardan holi bo'lgan neyron tarmoqlarni o'qitish uchun muvaffaqiyatli qo'llaniladi.

Sun'iy neyron tarmoqlaridagi neyronlarning modellari ko'pincha qo'llaniladigan chiziqli chegarali, sigmoidli va boshqalar kabi

neyrokomyuting uchun nihoyatda sermahsul hisoblanadi. Biroq, neyronlarning bunday modellari nihoyatda sodda ekanligini ta'kidlab o'tish joiz. Masalan, biologik neyronning akson reaksiyasi xaotik, ta'siri davriydir. Bu jihatdan qaraganda xulqi nochiziqli va xaotik bo'lgan neyronlarning monand modellarini qidirish nihoyatda mantiqlidir. Xaotik neyronning modeli xaotik neyron tarmog'ining tarkibiy elementi sifatida ishlatilishi mumkin. Agar biologik hisoblashlar (biological computation) ga yaqinroq bo'lgan, noaniq xaotik neyron tarmoqlaridan foydalanilsa, yanada monand natijalarni olish mumkin [9–13].

Noaniq signalli yo/yoki noaniq vaznli neyron tarmoqlari ko'rib chiqilayotgan bo'lsa, noaniq neyron tarmoqlarga ishlov berish uchun noaniq vazn va boshqalarni topish uchun (masalan, uchburchak, trapetsiya shaklida aks ettirilgan neyron tarmoqlarning noaniq vaznlarini qidirish uchun) to'g'ri fazzifikatsiya, xatoliklarning teskari tarqalish algoritmi ishlatiladi. Bunda qidirish masalasi, xatoliklarni teskari tarqalish usuli va intervalli arifmetikani qo'llashga asoslanadi. Birinchi holda, vaznning to'g'ri qiymatiga moslik jihatiga ko'ra algoritmning ishi muvaffaqiyatsiz bo'lishi mumkin. Har bir hol uchun xatolik gradiyenti (error measure) ni hisoblash zarur, biroq hosila olish juda qiyin (ayniqsa, chiqish, kirish signallari va vazn uchun noaniq tarmoq umumiy bo'lgan holda). Noaniq neyron tarmoqlarni o'rganishda qo'llaniladigan hamda noaniq mantiq, neyron tizimlar va genetik algoritmlar kombinatsiyasiga asoslangan noaniq-genetik algoritmlar yuqorida ko'rsatib o'tilgan kamchiliklardan holi va juda samarali natijalar beradi [10–20].

Xulosada shuni ta'kidlab o'tish joizki, Soft Computing komponentlarining turli kombinatsiyalari hisoblash intellekti (commutation intelligence), biologik hisoblashlar (biological computation) va sun'iy hayot (computational imitating live) ning asosi bo'lib qoladi.

1.2. Noaniq to'plam va noaniq mantiq

1.2.1. Noaniq to'plam

Asosiy tushunchalar va ta'riflar.

X to'plam, elementlari x orqali belgilangan universal to'plam bo'lsin. Elementlarning X to'plamdan olingan A ostto'plamga

tegishliligi ko'pgina hollarda, $\{0,1\}$ oraliqdagi x ga bog'liq bo'lgan xarakteristik funksiya $\mu_A(x)$ sifatida qaraladi, ya'ni

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{agar } x \in A \text{ bo'lsa,} \\ 0, & \text{agar } x \notin A \text{ bo'lsa.} \end{cases} \quad (1.2.1)$$

$\{0,1\}$ to'plam *baholar to'plami* deb ataladi.

Agar $\{0, 1\}$ ni to'plam emas, balki $[0, 1]$ haqiqiy interval baholar to'plami deb faraz qilsak, unda A noaniq to'plam bo'ladi. Bunday hollarda $\mu_A(x)$ *tegishlilik funksiyasi* deyiladi. $\mu_A(x)$ ning qiymati qanchalik 1 ga yaqin bo'lsa, x shunchalik A ga tegishli bo'ladi [21].

Noaniq to'plam A juftlik to'plam bilan tavsiflanishi mumkin:

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\} \quad (1.2.2)$$

Umumiy holda, *noaniq to'plam* $A \subseteq X$ deb, $(x, \mu_A(x))$ ko'rinishidagi juftlar to'plamiga aytiladi, bu yerda $x \in X$; $\mu_R = \max(\mu_A, \mu_B)$ (ba'zida $\mu_A(x): X \rightarrow L$ – panjara turidagi struktura).

Noaniq to'plam chekli va cheksiz bo'lishi mumkin. Agar X -chekli to'plam, ya'ni $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ bo'lsa, unda X dagi noaniq to'plam A quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i}. \quad (1.2.3)$$

Bu yerda «+» ishorasi elementlarning to'plamga kirishini bildiradi.

Agar X – cheksiz bo'lsa, unda

$$A = \int \frac{\mu_A(x)}{x}. \quad (1.2.4)$$

Misol. Noaniq to'plam quyidagi ko'rinishda keltirilgan bo'lsin:

$$A = \frac{0.1}{1} + \frac{0.3}{2} + \frac{0.5}{3} + \frac{0.7}{4} + \frac{0.8}{5} + \frac{0.9}{6} + \frac{0.95}{7} + \frac{1.0}{8} + \frac{0.97}{9} + \frac{0.9}{10} + \frac{0.8}{11} + \frac{0.7}{12} + \frac{0.5}{13} + \frac{0.3}{14} + \frac{0.1}{15}.$$

Unda ushbu to'plamning klassik varianti quyidagi ko'rinishlarga ega bo'ladi:

$$A = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15\},$$

yoki

$$A = \left\{ \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8} + \frac{1}{9} + \frac{1}{10} + \frac{1}{11} + \frac{1}{12} + \frac{1}{13} + \frac{1}{14} + \frac{1}{15} \right\}.$$

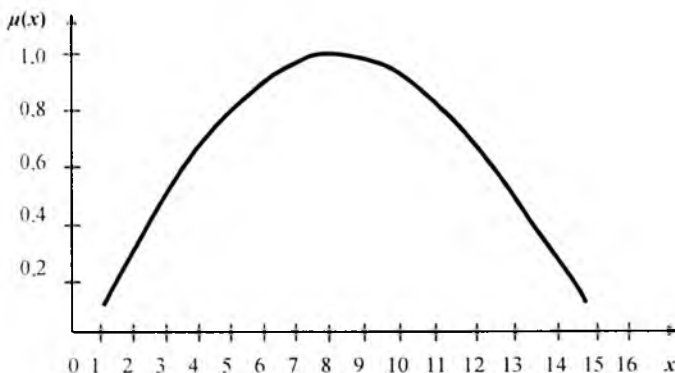
Ushbu noaniq to'plamning grafik tasviri 1.2.1-rasmda keltirilgan.

Noaniq to'plam analitik ko'rinishda ham keltirilishi mumkin.

Misol. $A = "$ soni 8 ga yaqin bo'lgan haqiqiy son bo'lsa, u quyidagicha tavsiflanadi:

$$A = \int_R \frac{1}{1 + (x+8)^2} / x.$$

Bu yerda: A – haqiqiy sonlar to'plami.



1.2.1-rasm. Noaniq to'plam.

Tabiiyki, biror bir haqiqiy son 8 ga qanchalik yaqin bo'lsa, uning "8 ga yaqin bo'lgan haqiqiy son" tushunchasiga mos kelish darajasi, ya'ni uning A noaniq to'plamga tegishliligi shunchalik yuqori bo'ladi. Ushbu dalilni quyidagi misol bilan tavsiflash mumkin: tegishlilik funksiyasi $\mu_A(x) = \frac{1}{1 + (x+8)^2}$ – 8 ga qanchalik yaqin bo'lsa, $\mu_A(x)$ shunchalik katta bo'ladi, $\mu_A(x) = 1$ dagi maksimumiga esa $x=8$ nuqtada erishadi.

Ushbu turdagi noaniq to'plam, ya'ni tegishlilik funksiyasi uning odatdagi (crisp) funksiyasi hisoblanadigan yoki tegishlilik darajasi oddiy son bo'lgan noaniq to'plam *birinchi tur noaniq to'plam* deb ataladi. Noaniq to'plamning tegishlilik funksiyasining o'zi ham noaniq to'plam bo'lishi mumkin. Bunday noaniq to'plam *ikkinchi tur noaniq to'plam* deyiladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu : X \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

m turdagi noaniq to'plam deb, tegishlilik funksiyasining qiymati $(m-1)$ turdagi noaniq to'plam bo'lgan X to'plamga aytiladi.

[22, 23] ishlarda tegishlilik funksiyalarining qiymatlari tasodifiy o'zgaruvchilar bo'lgan, noaniq to'plamlarning boshqa turlari ko'rib chiqilgan. Ushbu holda X dagi ehtimoliy to'plam A quyidagi xarakteristik funksiya bilan aniqlanadi:

$$\mu_A : X \times \Omega \ni (x, \omega) \rightarrow \mu(x, \omega) \in Q_c,$$

bu yerda $\mu_A(x)$ – har bir qayd etilgan $x \in X$ uchun (V, V_σ) -o'lchash funksiyasi hisoblanadi.

Noaniq to'plamlarning boshqa kengaytmalari ham mavjud. Agar $\forall x \in X, \exists! x^*$ bo'lib, bu uchun quyidagi shartlar qanoatlantirilsa:

$$\mu(x^*) \geq \mu(x),$$

$$\mu(x) \geq \mu(x^*)$$

unda x^* qiymat tegishlilik funksiyasi $\mu(x)$ ning mos ravishdagi maksimal va minimal qiymatlari deyiladi:

$$\mu(x^*) = \max_{x \in X} \mu(x),$$

$$\mu(x^*) = \min_{x \in X} \mu(x).$$

(1.2.5)

Agar yuqorida keltirilgan shartlarni qanoatlantiruvchi x^* mavjud bo'lmasa, unda quyidagi masalani ko'rib chiqish mumkin: X dan shunday $x_1, \dots, x_n$ ketma-ketlikni topingki, quyidagi tenglik bajarilsin:

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \mu(x_i) = \sup_{x \in X} \mu(x),$$

yoki

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \mu(x_i) = \inf_{x \in X} \mu(x),$$

(1.2.6)

bu yerda *inf* va *sup* mos ravishda eng katta quyi va eng kichik yuqori chegaralarni bildiradi.

Agar berilgan ikkita A va B noaniq to'plamlarning tegishlilik funksiyalari teng bo'lsa, ya'ni quyidagi shart bajarilsa, bu noaniq to'plamlar tengdir:

$$\forall x \in X, \mu_A(x) = \mu_B(x), A = B.$$

(1.2.7)

Ta'rif. To'plam tashuvchisi, o'tish nuqtasi va singleton.

Noaniq to'plam tashuvchisi $\mu_A(x) > 0$ shartni qanoatlantiruvchi x elementlardan tashkil topadi:

$$\sup A = \{x \in X, \mu(x) > 0\}. \quad (1.2.8)$$

$\mu_A(x) = \frac{1}{2}$ shart bajariladigan $x \in X$ element A noaniq to'plamning o'tish nuqtasi deyiladi.

Tashuvchisi, tegishlilik funksiyasi $\mu_A = 1.0$ bo'lgan X to'plamdagi bitta nuqta hisoblanadigan noaniq to'plam *singleton* deb ataladi.

Ta'rif. Noaniq to'plam balandligi, me'yoriy noaniq to'plam.

A noaniq to'plamning balandligi deb tegishlilik funksiyasining eng yuqori chegarasiga aytiladi:

$$hgt(A) = \sup_{x \in X} \mu_A(x). \quad (1.2.9)$$

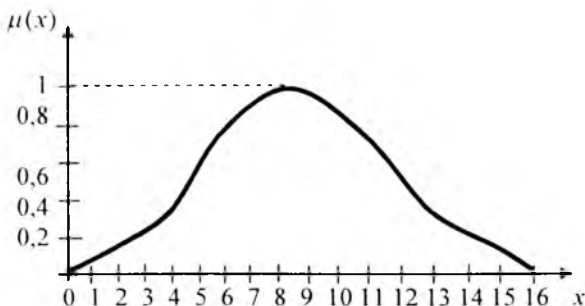
Agar quyidagi shart bajarilsa, berilgan A noaniq to'plam me'yoriy hisoblanadi:

$$\exists x \in X, \mu_A(x) = 1.$$

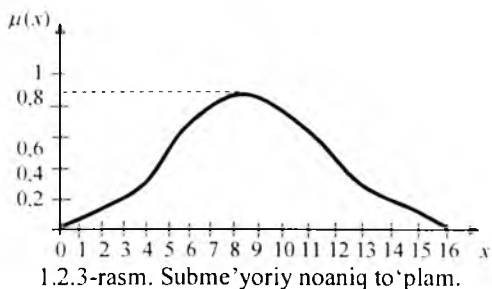
Ko'rinib turibdiki, A noaniq to'plamning balandligi 1 ga teng (1.2.2-rasm), ya'ni

$$hgt(A) = 1.$$

Agar $\sup_{x \in X} \mu_A(x) < 1$ bo'lsa, unda A noaniq to'plam *subme'yoriy to'plam* deb ataladi (1.2.3-rasm).



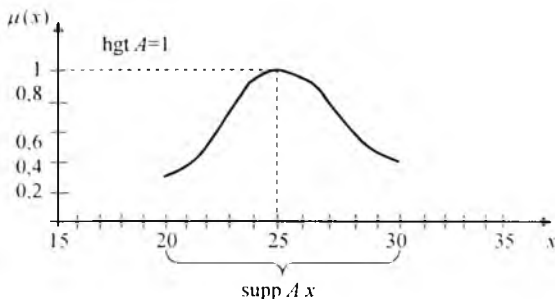
1.2.2-rasm. Me'yoriy noaniq to'plam.



$\forall x \in X, \mu_x(x) = 0$ shart bajariladigan to'plamlar *bo'sh to'plam* $\emptyset$ deyiladi.

Misol. Quyidagi noaniq to'plam berilgan bo'lsin (1.2.4-rasm):

$$A = \frac{0.3}{20} + \frac{0.5}{22} + \frac{1.0}{25} + \frac{0.8}{27} + \frac{0.4}{30}.$$



Bu yerda $x = \{15, 20, 22, 25, 27, 30, 33, 35\}$ - universum, $\sup A = \{20, 22, 25, 27, 30\}$. A -me'yoriy bo'sh to'plam, ya'ni $\exists 25 \in X, \mu_A(25) = 1$.

Ta'rif. α -darajali noaniq to'plam.

Tegishlilik qiymatlari $\alpha \in [0, 1]$ chegaradan kichik bo'lmagan elementlarning oddiy to'plamiga A to'plamning α -kesimi A^α deyiladi:

$$A^\alpha = \{x \in X, \mu_A(x) \geq \alpha\}. \quad (1.2.10)$$

Qat'iy α -kesim quyidagicha aniqlanadi:

$$A^\alpha = \{x \in X, \mu_A(x) > \alpha\}.$$

Misol. Quyidagi noaniq to'plam berilgan

$$A = \frac{0.2}{5} + \frac{0.4}{6} + \frac{0.6}{7} + \frac{0.8}{8} + \frac{0.9}{9} + \frac{1.0}{10} + \frac{0.9}{11} + \frac{0.8}{12} + \frac{0.6}{13} + \frac{0.4}{14} + \frac{0.2}{15}.$$

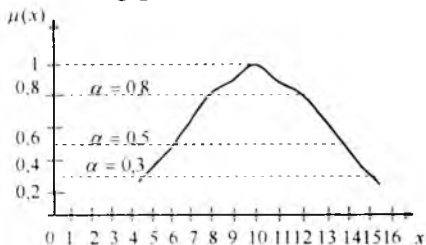
Agar $\alpha = 0,3$, $\alpha = 0,5$ va $\alpha = 0,8$ bo'lsa, unda α -kesim quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$A^{0,3} = \{6,7,8,9,10,11,12,13,14\},$$

$$A^{0,5} = \{7,8,9,10,11,12,13\},$$

$$A^{0,8} = \{9,10,11\}.$$

α -darajali to'plamlarning grafik tasviri 1.2.5-rasmda keltirilgan.



1.2.5-rasm. Noaniq to'plamning α -darajali to'plami.

α -darajali to'plam A^α quyidagicha aniqlanadi:

$$A^\alpha = \{(x, \mu_A(x) = \mu_A(x)) \mid x \in A^\alpha, \alpha \in [0, 1]\} \quad (1.2.11)$$

bu yerda μ_A - A noaniq to'plamning tegishlilik funksiyasi va μ_{A^α} - α -darajali to'plam A^α ning tegishlilik funksiyasi. Unda A^α α -darajali to'plam ko'rinishida quyidagicha yoziladi:

$$A^\alpha = \{x \mid \mu_A(x) \geq \alpha, x \in X\}. \quad (1.2.12)$$

Misol. A noaniq to'plam berilgan bo'lsin:

$$A = \frac{0.2}{30} + \frac{0.4}{35} + \frac{0.6}{40} + \frac{0.8}{45} + \frac{1.0}{50} + \frac{0.7}{55}.$$

Berilgan to'plamning 0,5 - darajali to'plami:

$$A^{0.5} = \frac{0.6}{40} + \frac{0.8}{45} + \frac{1.0}{50} + \frac{0.7}{55}.$$

Ta'rif. Noaniq to'plamning quvvati.

Faraz qilamiz, X -chekli to'plam va $A - X$ to'plamda aniqlangan noaniq to'plam bo'lsin. Unda noaniq to'plamning quvvati $|A|$ quyidagicha aniqlanadi:

$$|A| = \sum_{x \in X} \mu_A(x). \quad (1.2.13)$$

X - cheksiz to'plam bo'lgan hollarda $|A|$ har doim ham mavjud bo'lavermaydi. Biroq, agar A chekli tashuvchi bo'lsa, unda noaniq to'plamning quvvati $|A|$ quyidagicha aniqlanadi:

$$|A| = \sum_{x \in \sup pA} \mu_A(x). \quad (1.2.14)$$

Ta'rif. Noaniq to'plam uchun qo'shilish. Faqat va faqatgina $\forall x \in X, \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ shart bajarilsa, A to'plam V ga qo'shilgan deyiladi ($A \subseteq B$). Agar tengsizlik qat'iy bo'lsa, qo'shilish ham qat'iy hisoblanadi va $A \subset B$ kabi belgilanadi. Faqat va faqatgina $x \in A^\alpha$ bo'lganda, x qiymat A to'plamga α -daraja kiradi va X ning barcha elementlari $\bar{A}$ yoki V ga α -daraja bilan tegishli bo'lsa, har doim V ga kuchsiz qo'shiladi ($A - \langle_\alpha B$). Agar $x \in (\bar{A} \cup B)^\alpha \forall x \in X$ yoki $\forall x \in X, \max(1 - \mu_A(x), \mu_B(x)) \geq \alpha$ bo'lsa, matematik tarzda ($A - \langle_\alpha B$) bo'ladi.

Kuchsiz tenglama $A > - - < B$ quyidagicha aniqlanadi: $\mu_A(x)$ va $\mu_B(x)$ tegishlilikning belgilanishi, yo ikkalasi ham $\frac{1}{2}$ dan katta yoki teng, yo $\frac{1}{2}$ dan kichik yoki teng.

Faqat va faqatgina

$$\forall x \in X, \min[\max(1 - \mu_A(x), \mu_B(x)), \max(\mu_A(x), 1 - \mu_B(x))] \geq \frac{1}{2}$$

bo'lsa, $A > - - < B$ yoki faqat va faqatgina

$$\forall x \in X, \max[\min(1 - \mu_A(x), \mu_B(x)), \min(1 - \mu_B(x), 1 - \mu_A(x))] \geq \frac{1}{2} \quad \text{bo'lsa,}$$

$A > - - < B$.

Quyida noaniq to'plamlar bilan olib boriladigan amallar ($\cup, \cap$) uchun belgilar qatori berilgan.

1. Neytrallik

$$\min(1, \mu_A(x)) = \mu_A(x) \Rightarrow G \cap A = A,$$

$$\max(0, \mu_A(x)) = \mu_A(x) \Rightarrow \emptyset \cup A = A.$$

2. Kommutativlik

$$\min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \min(\mu_B(x), \mu_A(x)) = A \cap B = B \cap A,$$

$$\max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \max(\mu_B(x), \mu_A(x)) = A \cup B = B \cup A.$$

3. Assotsiativlik

$$\min(\min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \mu_C(x)) = \min(\mu_A(x), \min(\mu_B(x), \mu_C(x))) \Rightarrow (A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$$

$$\max(\max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \mu_C(x)) = \max(\mu_A(x), \max(\mu_B(x), \mu_C(x))) \Rightarrow (A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$$

4. Monotonlik

$$\mu_A(x) \leq \mu_C(x) \wedge \mu_B(x) \leq \mu_D(x) \Rightarrow \min(\mu_A(x),$$

$$\mu_B(x)) \leq \min(\mu_C(x), \mu_D(x)) \Rightarrow A \subset C \cap B \subset D \Rightarrow A \cap B \subset C \cap D,$$

$$\max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \leq \max(\mu_C(x),$$

$$\mu_D(x)) \Rightarrow A \subset C \cup B \subset D \Rightarrow A \cup B \subset C \cup D.$$

5. Idempotentlik

$$\min(\mu_A(x), \mu_A(x)) = \mu_A(x) \Rightarrow A \cap A = A,$$

$$\max(\mu_A(x), \mu_A(x)) = \mu_A(x) \Rightarrow A \cup A = A.$$

6. Distributivlik

$$\min(\mu_A(x), \max(\mu_B(x), \mu_C(x))) = \max(\min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \mu_C(x)),$$

$$\min(\mu_A(x), \mu_C(x)) \Rightarrow A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C),$$

$$\max(\mu_A(x), \min(\mu_B(x), \mu_C(x))) = \min(\max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \mu_C(x)),$$

$$\max(\mu_A(x), \mu_C(x)) \Rightarrow A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C).$$

7. Yutish

$$\min(\mu_A(x), \max(\mu_A(x), \mu_B(x))) = \mu_A(x) \Rightarrow A \cap (A \cup B) = A,$$

$$\max(\mu_A(x), \min(\mu_A(x), \mu_B(x))) = \mu_A(x) \Rightarrow A \cup (A \cap B) = A.$$

8. De Morgan qonuni

$$1 - \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \max(1 - \mu_A(x), 1 - \mu_B(x)) \Rightarrow \overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B},$$

$$1 - \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \min(1 - \mu_A(x), 1 - \mu_B(x)) \Rightarrow \overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}.$$

9. Ikkilik inkor

$$1 - (1 - \mu_A(x)) = \mu_A(x) \Rightarrow \overline{\overline{A}} = A.$$

10. Asosiy va bo'sh to'plamlar inkori

$$1 - 1 = 0 \Rightarrow \overline{G} = \emptyset,$$

$$1 - 0 = 1 \Rightarrow \overline{\emptyset} = G.$$

Ta'rif. Karteziyan ko'paytmasi.

Agar $A_1, \dots, A_n$ to'plamlar mos ravishda $U_1, \dots, U_n$ dagi noaniq to'plamlar hisoblansa, unda quyidagi tegishlilik funksiyalariga ega bo'lgan $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ fazodagi noaniq to'plam karteziyan ko'paytmasi hisoblanadi:

$$\mu_{A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \min\{\mu_{A_1}(u_1), \mu_{A_2}(u_2), \dots, \mu_{A_n}(u_n)\}, \quad (1.2.15)$$

yoki

$$\mu_{A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \mu_{A_1}(u_1), \mu_{A_2}(u_2), \dots, \mu_{A_n}(u_n). \quad (1.2.16)$$

Ta'rif. Noaniq bo'lish.

Agar A to'plam X ning oddiy ostto'plami bo'lsa, unda $(A, \overline{A})$ juftlik $A \neq \emptyset, A \neq X$ shartdagi A to'plamning bo'linmasi hisoblanadi. Agar A noaniq to'plam ($A \neq \emptyset, A \neq X$) bo'lsa, unda $(A, \overline{A})$ juftlik *noaniq bo'linma* deyiladi. Agar noaniq to'plamlar tizim $A_1, \dots, A_m$ ($A_i \neq \emptyset, A_i \neq X, i = \overline{1, m}$) kabi bo'lsa, ya'ni

$$\forall x \in X, \sum_{i=1}^n \mu_i(x) = 1,$$

unda bu tizim X to'plamning *noaniq bo'linmasi* deyiladi.

1.2.2. Noaniq to'plamlar ustida bajariladigan amallar

A va B to'plamlar tegishlilik funksiyalari mos ravishda μ_A va μ_B bo'lgan X to'plamdagi ikkita noaniq to'plam bo'lsin. Noaniq to'plamlar uchun qo'shish, kesishish va to'ldirish kabi nazariy-ko'plik amallari ularning tegishlilik funksiyalari orqali quyidagicha aniqlanadi.

Ta'rif. A va B noaniq to'plamlarni qo'shish.

Ikkita A va B noaniq to'plamlarni qo'shish quyidagicha amalga oshiriladi:

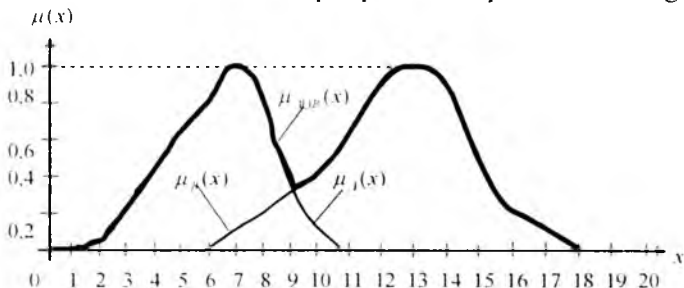
$$\forall x \in X, \mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \quad (1.2.17)$$

bu yerda $\mu_{A \cup B}$ - A va B uchun tegishlilik funksiyasi.

Misol.

$$\begin{aligned} A &= \frac{0,07}{2} + \frac{0,2}{3} + \frac{0,4}{4} + \frac{0,63}{5} + \frac{0,87}{6} + \frac{1,0}{7} + \frac{0,89}{8} + \frac{0,5}{9} + \frac{0,2}{10} + \frac{0,07}{11}, \\ B &= \frac{0,05}{6} + \frac{0,11}{7} + \frac{0,21}{8} + \frac{0,32}{9} + \frac{0,46}{10} + \frac{0,69}{11} + \frac{0,87}{12} + \frac{1,0}{13} + \frac{0,9}{14} + \frac{0,5}{15} + \frac{0,25}{16} + \frac{0,09}{18}, \\ A \cup B &= \frac{0,07}{2} + \frac{0,2}{3} + \frac{0,4}{4} + \frac{0,63}{5} + \frac{0,87}{6} + \frac{1,0}{7} + \frac{0,89}{8} + \frac{0,5}{9} + \frac{0,46}{10} + \frac{0,69}{11} + \frac{0,87}{12} + \\ &\quad + \frac{1,0}{13} + \frac{0,9}{14} + \frac{0,5}{15} + \frac{0,25}{16} + \frac{0,09}{18}. \end{aligned}$$

1.2.6-rasmda A va B noaniq to'plamlarni qo'shish keltirilgan.



1.2.6-rasm. A va B noaniq to'plamlarni qo'shish.

Ta'rif. A va B noaniq to'plamlarning kesishuvi.

Tegishlilik funksiyasi $\mu_{A \cap B}$ quyidagicha aniqlanadi:

$$\forall x \in X, \mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}. \quad (1.2.18)$$

Misol.

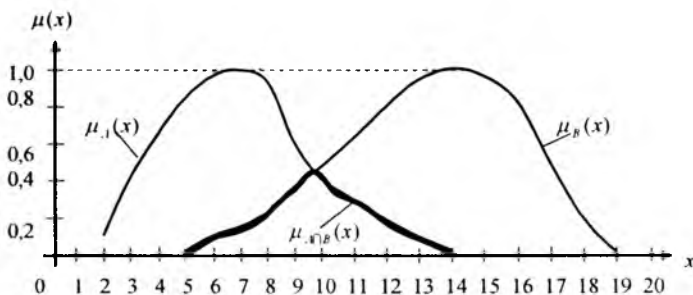
$$A = \frac{0,15}{2} + \frac{0,41}{3} + \frac{0,66}{4} + \frac{0,85}{5} + \frac{0,97}{6} + \frac{1,0}{7} + \frac{0,9}{8} + \frac{0,6}{9} + \frac{0,42}{10} + \frac{0,3}{11} + \frac{0,18}{12} + \frac{0,1}{13} + \frac{0,03}{14},$$

$$B = \frac{0,05}{5} + \frac{0,1}{6} + \frac{0,16}{7} + \frac{0,25}{8} + \frac{0,35}{9} + \frac{0,47}{10} + \frac{0,62}{11} + \frac{0,8}{12} + \frac{0,94}{13} + \frac{1,0}{14} +$$

$$+ \frac{0,97}{15} + \frac{0,83}{16} + \frac{0,5}{17} + \frac{0,2}{18} + \frac{0,07}{19},$$

$$A \cap B = \frac{0,05}{5} + \frac{0,1}{6} + \frac{0,16}{7} + \frac{0,25}{8} + \frac{0,35}{9} + \frac{0,42}{10} + \frac{0,3}{11} + \frac{0,18}{12} + \frac{0,1}{13} + \frac{0,03}{14}.$$

1.2.7-rasmda A va B noaniq to'plamlarning kesishuvi keltirilgan.



1.2.7-rasm. A va B noaniq to'plamlarning kesishuvi.

Ta'rif. A noaniq to'plamni to'ldirish.

A to'plamni to'ldirish $\bar{A}$ quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$\forall x \in X, \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x). \quad (1.2.19)$$

Misol.

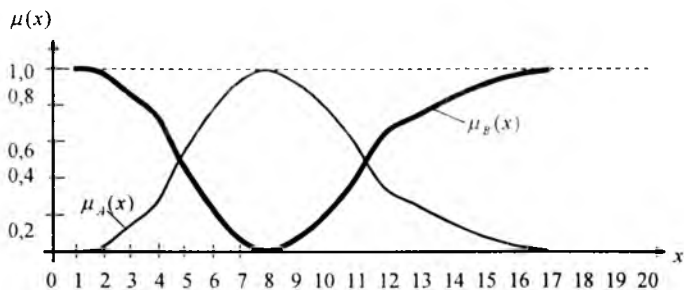
$$A = \frac{0}{1} + \frac{0,05}{2} + \frac{0,14}{3} + \frac{0,27}{4} + \frac{0,5}{5} + \frac{0,76}{6} + \frac{0,93}{7} + \frac{1,0}{8} + \frac{0,96}{9} + \frac{0,84}{10} + \frac{0,62}{11} +$$

$$+ \frac{0,37}{12} + \frac{0,25}{13} + \frac{0,16}{14} + \frac{0,09}{15} + \frac{0,03}{16} + \frac{0}{17},$$

$$\bar{A} = \frac{1,0}{1} + \frac{0,95}{2} + \frac{0,86}{3} + \frac{0,73}{4} + \frac{0,5}{5} + \frac{0,24}{6} + \frac{0,07}{7} + \frac{0}{8} + \frac{0,04}{9} + \frac{0,16}{10} + \frac{0,38}{11} +$$

$$+ \frac{0,63}{12} + \frac{0,75}{13} + \frac{0,84}{14} + \frac{0,91}{15} + \frac{0,97}{16} + \frac{1,0}{17}.$$

1.2.8-rasmda A noaniq to'plamni to'ldirish keltirilgan.



1.2.8-rasm. A noaniq to'plamni to'ldirish.

Noaniq to'plamlarni qo'shish (birlashish) va kesishishi uchun boshqa operatorlar ham ishlatilishi mumkin.

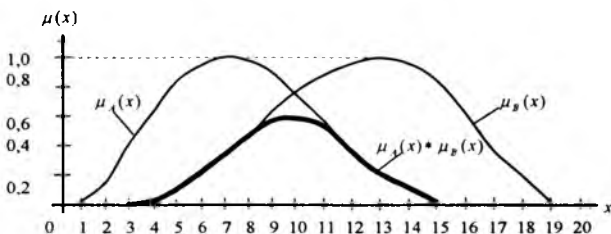
A va B noaniq to'plamlarning algebraik ko'paytmasi:

$$\forall x \in X, \mu_{A \cdot B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x). \quad (1.2.20)$$

Misol.

$$\begin{aligned} A &= \frac{0,1}{1} + \frac{0,24}{2} + \frac{0,4}{3} + \frac{0,63}{4} + \frac{0,82}{5} + \frac{0,94}{6} + \frac{1,0}{7} + \frac{0,98}{8} + \frac{0,91}{9} + \frac{0,76}{10} + \\ &\quad + \frac{0,57}{11} + \frac{0,35}{12} + \frac{0,2}{13} + \frac{0,1}{14} + \frac{0,04}{15}; \\ B &= \frac{0,02}{4} + \frac{0,09}{5} + \frac{0,2}{6} + \frac{0,32}{7} + \frac{0,46}{8} + \frac{0,61}{9} + \frac{0,76}{10} + \frac{0,88}{11} + \frac{0,96}{12} + \frac{1,0}{13} + \\ &\quad + \frac{0,96}{14} + \frac{0,85}{15} + \frac{0,62}{16} + \frac{0,37}{17} + \frac{0,2}{18} + \frac{0,09}{19}; \\ A * B &= \frac{0}{3} + \frac{0,01}{4} + \frac{0,06}{5} + \frac{0,18}{6} + \frac{0,32}{7} + \frac{0,45}{8} + \frac{0,56}{9} + \frac{0,58}{10} + \frac{0,5}{11} + \\ &\quad + \frac{0,34}{12} + \frac{0,2}{13} + \frac{0,96}{14} + \frac{0,03}{15} + \frac{0}{16}. \end{aligned}$$

1.2.9-rasmda A va B noaniq to'plamlarning algebraik ko'paytmasi keltirilgan.



1.2.9- rasm. A va B noaniq to'plamlarning algebraik ko'paytmasi.

A va B noaniq to'plamlarning chekli ko'paytmasi:

$$\forall x \in X, \mu_{A \odot B}(x) = \max\{0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}, \quad (1.2.21)$$

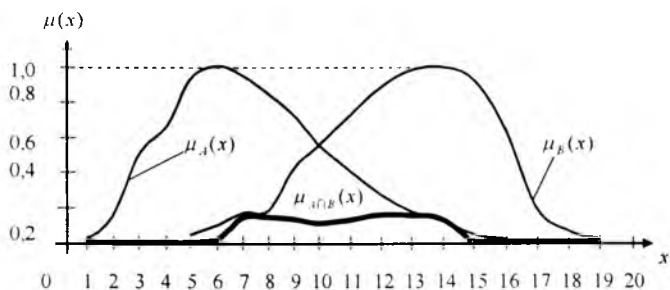
Misol.

$$A = \frac{0,03}{1} + \frac{0,15}{2} + \frac{0,5}{3} + \frac{0,77}{4} + \frac{0,93}{5} + \frac{1,0}{6} + \frac{0,96}{7} + \frac{0,85}{8} + \frac{0,71}{9} + \frac{0,55}{10} + \frac{0,4}{11} + \frac{0,27}{12} + \frac{0,18}{13} + \frac{0,11}{14} + \frac{0,05}{15} + \frac{0,01}{16}.$$

$$B = \frac{0,04}{5} + \frac{0,1}{6} + \frac{0,17}{7} + \frac{0,28}{8} + \frac{0,4}{9} + \frac{0,55}{10} + \frac{0,71}{11} + \frac{0,89}{12} + \frac{0,98}{13} + \frac{1,0}{14} + \frac{0,93}{15} + \frac{0,65}{16} + \frac{0,2}{17} + \frac{0,06}{18} + \frac{0,01}{19}.$$

$$A \cap B = \frac{0}{1} + \frac{0}{2} + \frac{0}{3} + \frac{0}{4} + \frac{0}{5} + \frac{0,1}{6} + \frac{0,13}{7} + \frac{0,13}{8} + \frac{0,11}{9} + \frac{0,1}{10} + \frac{0,11}{11} + \frac{0,16}{12} + \frac{0,16}{13} + \frac{0,11}{14} + \frac{0}{15} + \frac{0}{16} + \frac{0}{17} + \frac{0}{18} + \frac{0}{19}.$$

1.2.10-rasmda A va B noaniq to'plamlarning chekli ko'paytmasi keltirilgan.



1.2.10-rasm. A va B noaniq to'plamlarning chekli ko'paytmasi.

A va B noaniq to'plamlarning qat'iy (drastic) ko'paytmasi:

$$\mu_{A \odot B}(x) = \begin{cases} \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, & \text{agar } \mu_A(x) = 1 \text{ yoki } \mu_B(x) = 1 \text{ bo'lsa,} \\ 0, & \text{qolgan hollarda.} \end{cases} \quad (1.2.22)$$

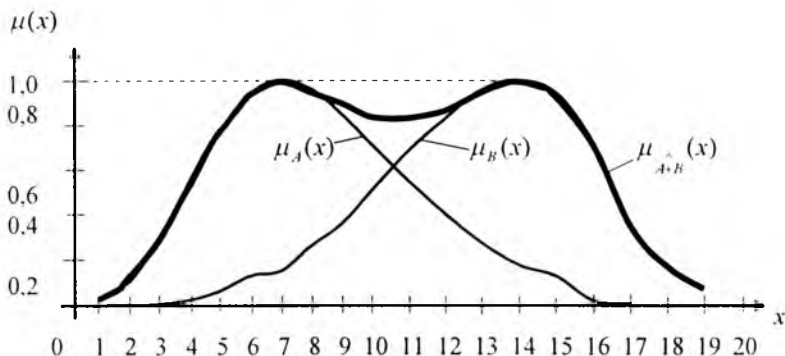
A va B noaniq to'plamlarning algebraik yig'indisi:

$$\forall x \in X, \mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x). \quad (1.2.23)$$

Misol.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{0,03}{1} + \frac{0,1}{2} + \frac{0,28}{3} + \frac{0,52}{4} + \frac{0,75}{5} + \frac{0,94}{6} + \frac{1,0}{7} + \frac{0,96}{8} + \frac{0,87}{9} + \frac{0,71}{10} + \frac{0,55}{11} + \\
 &\quad + \frac{0,4}{12} + \frac{0,28}{13} + \frac{0,19}{14} + \frac{0,12}{15} + \frac{0,06}{16} + \frac{0,02}{17}; \\
 B &= \frac{0}{1} + \frac{0}{2} + \frac{0}{3} + \frac{0,02}{4} + \frac{0,06}{5} + \frac{0,12}{6} + \frac{0,17}{7} + \frac{0,25}{8} + \frac{0,35}{9} + \frac{0,5}{10} + \frac{0,68}{11} + \\
 &\quad + \frac{0,82}{12} + \frac{0,95}{13} + \frac{1,0}{14} + \frac{0,95}{15} + \frac{0,62}{16} + \frac{0,35}{17} + \frac{0,17}{18} + \frac{0,06}{19}; \\
 A+B &= \frac{0,03}{1} + \frac{0,1}{2} + \frac{0,28}{3} + \frac{0,52}{4} + \frac{0,75}{5} + \frac{0,94}{6} + \frac{1,0}{7} + \frac{0,96}{8} + \frac{0,91}{9} + \frac{0,86}{10} + \\
 &\quad + \frac{0,86}{11} + \frac{0,88}{12} + \frac{0,96}{13} + \frac{1,0}{14} + \frac{0,95}{15} + \frac{0,62}{16} + \frac{0,35}{17} + \frac{0,17}{18} + \frac{0,06}{19}.
 \end{aligned}$$

1.2.11-rasmda A va B noaniq to‘plamlarning algebraik yig‘indisi keltirilgan.



1.2.11-rasm. A va B noaniq to‘plamlarning algebraik yig‘indisi.

A va B noaniq to‘plamlarning chekli yig‘indisi:

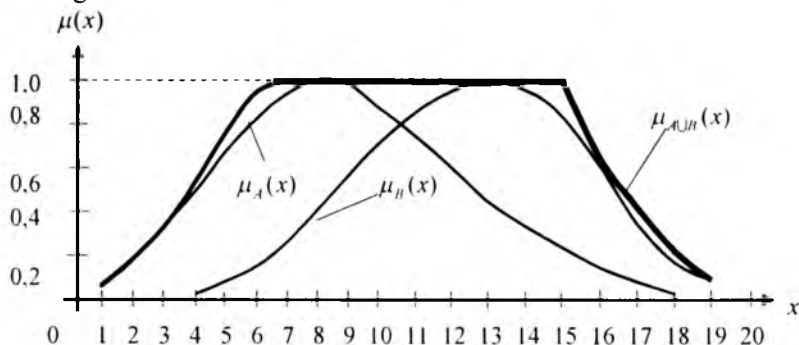
$$\forall x \in X, \mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}. \quad (1.2.24)$$

Misol.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{0,06}{1} + \frac{0,17}{2} + \frac{0,31}{3} + \frac{0,5}{4} + \frac{0,67}{5} + \frac{0,82}{6} + \frac{0,93}{7} + \frac{1,0}{8} + \frac{0,98}{9} + \frac{0,89}{10} + \frac{0,75}{11} + \\
 &\quad + \frac{0,6}{12} + \frac{0,45}{13} + \frac{0,33}{14} + \frac{0,23}{15} + \frac{0,14}{16} + \frac{0,08}{17} + \frac{0,03}{18};
 \end{aligned}$$

$$B = \frac{0,03}{4} + \frac{0,08}{5} + \frac{0,15}{6} + \frac{0,26}{7} + \frac{0,4}{8} + \frac{0,55}{9} + \frac{0,7}{10} + \frac{0,85}{11} + \frac{0,95}{12} + \frac{1,0}{13} + \frac{0,96}{14} + \frac{0,85}{15} + \frac{0,6}{16} + \frac{0,33}{17} + \frac{0,18}{18} + \frac{0,09}{19};$$

1.2.12-rasmda A va B noaniq to'plamlarning chekli yig'indisi keltirilgan.



1.2.12-rasm. A va B noaniq to'plamlarning chekli yig'indisi.

A va B noaniq to'plamlarning qat'iy (drastic) yig'indisi:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \begin{cases} \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, & \text{agar } \mu_A(x) = 0 \text{ yoki } \mu_B(x) = 0, \\ 0, & \text{qolgan hollarda.} \end{cases} \quad (1.2.25)$$

Ta'rif. Noaniq to'plamlarning chekli va simmetrik farqi.

Noaniq to'plamlarning chekli farqi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\forall x \in X, \mu_{A-B}(x) = \max(0, \mu_A(x) - \mu_B(x)), \quad (1.2.26)$$

bu yerda $A-B$ elementlari B dan ko'ra A da ko'proq yotuvchi noaniq to'plam.

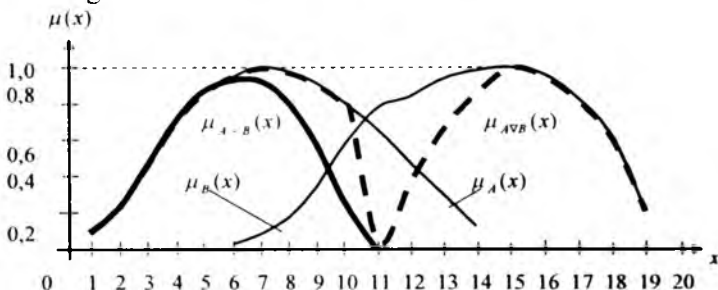
Noaniq to'plamlarning simmetrik farqi – bu elementlari B dan ko'ra A da ko'proq yotuvchi $A \nabla B$ noaniq to'plam. U quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\forall x \in X, \mu_{A \nabla B}(x) = |\mu_A(x) - \mu_B(x)|. \quad (1.2.27)$$

A va B noaniq to'plamlarning chekli va simmetrik farqlariga misollar.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{0,08}{1} + \frac{0,23}{2} + \frac{0,45}{3} + \frac{0,7}{4} + \frac{0,86}{5} + \frac{0,96}{6} + \frac{1,0}{7} + \frac{0,98}{8} + \frac{0,92}{9} + \\
 &\quad + \frac{0,82}{10} + \frac{0,67}{11} + \frac{0,47}{12} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,13}{14}, \\
 B &= \frac{0,03}{6} + \frac{0,08}{7} + \frac{0,18}{8} + \frac{0,34}{9} + \frac{0,55}{10} + \frac{0,7}{11} + \frac{0,84}{12} + \frac{0,94}{13} + \frac{0,99}{14} + \\
 &\quad + \frac{1,0}{15} + \frac{0,96}{16} + \frac{0,82}{17} + \frac{0,6}{18} + \frac{0,2}{19}, \\
 A|B &= \frac{0,08}{1} + \frac{0,23}{2} + \frac{0,45}{3} + \frac{0,7}{4} + \frac{0,86}{5} + \frac{0,93}{6} + \frac{0,92}{7} + \frac{0,8}{8} + \frac{0,58}{9} + \frac{0,27}{10} + \frac{0}{11} \\
 A \nabla B &= \frac{0,08}{1} + \frac{0,23}{2} + \frac{0,45}{3} + \frac{0,7}{4} + \frac{0,86}{5} + \frac{0,96}{6} + \frac{1,0}{7} + \frac{0,98}{8} + \frac{0,92}{9} + \frac{0,82}{10} + \\
 &\quad + \frac{0,03}{11} + \frac{0,36}{12} + \frac{0,65}{13} + \frac{0,86}{14} + \frac{1,0}{15} + \frac{0,96}{16} + \frac{0,82}{17} + \frac{0,6}{18} + \frac{0,2}{19}.
 \end{aligned}$$

1.2.13-rasmda A va B noaniq to'plamlarning chekli va simmetrik farqlari keltirilgan.



1.2.13-rasm. A va B noaniq to'plamlarning chekli va simmetrik farqlari.

Ta'rif. Noaniq to'plamning m -darajasi quyidagiga teng:

$$\mu_{A^m}(x) = [\mu_A(x)]^m, \quad \forall x \in X, \forall m \in R^+, \quad (1.2.28)$$

bu yerda R^+ – haqiqiy sonlarning musbat aniqlangan to'plami.

Ta'rif. Noaniq to'plamlarning konsentratsiyasi va cho'zilishi (yoyilishi).

A to'plam noaniq to'plam bo'lsin:

$$A = \{(x : \mu_A(x)) | x \in X\}.$$

Unda konsentratsiyalash operatori Con_m yordamida darajaga oshirish yo'li bilan hosil qilingan quyidagi noaniq to'plam A ning konsentratsiyasi deb ataladi:

$$\text{Con}_m A = \{(x : (\mu_A(x))^m) | x \in X\},$$

kengaytirish operatori $\text{dil}_n A = \{(x; \sqrt[n]{\mu_A(x)}) | x \in X\}$ yordamida ildizdan chiqarilgani esa – A ning *kengaytmasi* deyiladi.

Xulosa. Barcha $x \in X$ va $n > 1$ uchun $[\mu_A(x)]^n \leq \mu_A(x) \leq \sqrt[n]{\mu_A(x)}$ ifoda haqiqiy bo'lganligi sababli, $\text{Con}_n A \subset A \subset \text{dil}_n A$ ostto'plam ham haqiqiy hisoblanadi.

Misollar.

A noaniq to'plamning konsentratsiyasi: $n=2$

$$A = \frac{0,03}{1} + \frac{0,1}{2} + \frac{0,21}{3} + \frac{0,37}{4} + \frac{0,57}{5} + \frac{0,8}{6} + \frac{0,96}{7} + \frac{1,0}{8} + \frac{0,94}{9} + \frac{0,7}{10} +$$

$$+ \frac{0,42}{11} + \frac{0,27}{12} + \frac{0,17}{13} + \frac{0,09}{14} + \frac{0,03}{15},$$

$$A^2 = \frac{0,0009}{1} + \frac{0,01}{2} + \frac{0,044}{3} + \frac{0,137}{4} + \frac{0,325}{5} + \frac{0,64}{6} + \frac{0,92}{7} + \frac{1,0}{8} + \frac{0,884}{9} +$$

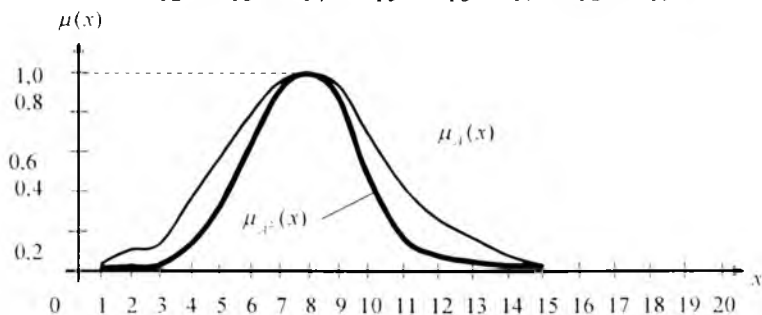
$$+ \frac{0,49}{10} + \frac{0,174}{11} + \frac{0,07}{12} + \frac{0,03}{13} + \frac{0,01}{14} + \frac{0,0009}{15}.$$

1.2.14-rasmda A noaniq to'plamning konsentratsiyasi keltirilgan.

Noaniq to'plamning cho'zilishi: $n=2$

$$A = \frac{0,03}{2} + \frac{0,06}{3} + \frac{0,13}{4} + \frac{0,23}{5} + \frac{0,4}{6} + \frac{0,61}{7} + \frac{0,82}{8} + \frac{0,96}{9} + \frac{1,0}{10} + \frac{0,94}{11} +$$

$$+ \frac{0,74}{12} + \frac{0,51}{13} + \frac{0,33}{14} + \frac{0,23}{15} + \frac{0,16}{16} + \frac{0,1}{17} + \frac{0,05}{18} + \frac{0,02}{19},$$

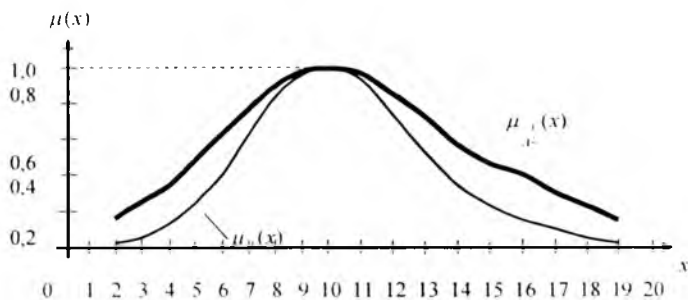


1.2.14-rasm. A noaniq to'plamning konsentratsiyasi.

$$A^2 = \frac{0,17}{2} + \frac{0,25}{3} + \frac{0,36}{4} + \frac{0,48}{5} + \frac{0,63}{6} + \frac{0,78}{7} + \frac{0,9}{8} + \frac{0,98}{9} + \frac{1,0}{10} + \frac{0,97}{11} +$$

$$+ \frac{0,86}{12} + \frac{0,72}{13} + \frac{0,57}{14} + \frac{0,48}{15} + \frac{0,4}{16} + \frac{0,3}{17} + \frac{0,22}{18} + \frac{0,15}{19}.$$

1.2.15-rasmda A noaniq to'plamning cho'zilishi keltirilgan.



1.2.15-rasm. A noaniq to'plamning cho'zilishi.

Quyida konsentratsiya va cho'zilish amallaridan foydalanib, noaniq to'plamlarni o'zgartirishga misollar keltirilgan [24]:

$$A = \int \frac{\mu_A(x)}{x},$$

$$\text{juda } A = \int \frac{[\mu_A(x)]^2}{x},$$

$$\text{juda juda } A = \int \frac{[\mu_A(x)]^4}{x},$$

$$\text{ko'proq yoki kamroq } A = \int \frac{\sqrt{\mu_A(x)}}{x},$$

$$\text{bir ozgina } A = \int \frac{\sqrt[4]{\mu_A(x)}}{x},$$

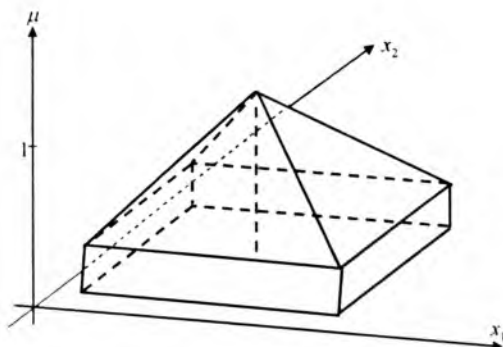
$$\text{emas } A = \int 1 - \frac{\mu_A(x)}{x},$$

$$\text{juda ham emas } A = \int 1 - \frac{[\mu_A(x)]^2}{x}.$$

Ta'rif. Noaniq nuqtalar, noaniq intervallar (oraliqlar) va noaniq sohalar.

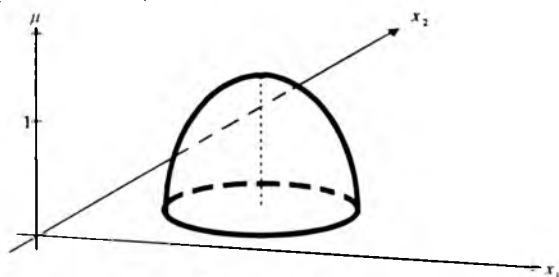
Haqiqiy R to'g'ri chizig'idagi qavariq ostto'plamda noaniq nuqta bor bo'lsin.

[24] adabiyotda ko'rsatilganidek, komponentlar uchun noaniq nuqtalar ularning noaniqligini aks ettiruvchi simmetrik intervallar (giperpiramidal aks ettirish holatida) bilan beriladi (1.2.16-rasm).



1.2.16-rasm. Noaniq nuqta.

Elliptik giperparaboloidal aks ettirish holatlarida noaniqlik, matritsa orqali fazoning barcha yoʻnalishlariga nisbatan eʼtiborga olinadi. Bunday matritsa matematik statistikadagi kovariatsion matritsaga oʻxshab, bitta asosiy kuzatilayotgan x_0 nuqta uchun muhim rol oʻynaydi (1.2.17-rasm).



1.2.17-rasm. Noaniq nuqta.

Agar intervalning chegaralari meʼyoriy qavariq toʻplam boʻlsa, unda bunday interval *noaniq interval* deyiladi.

Noaniq intervallar yadroni shakllantirishda aniq intervalni tanlash yordamida ham aniqlanishi mumkin, bunda tegishlilik funksiyasi nolgacha kamayadi. Yana intervalning ikki uchi (chegarasi) sifatida ikkita noaniq sonni tanlash orqali ham noaniq intervalni belgilash mumkin. Umuman, R^k fazoda noaniq sohani qurish uchun noaniq oʻtish hududi bilan oʻrab olingan aniq sohani tanlash zarur, bunda tegishlilik funksiyasi nolgacha monoton kamayadi. Noaniq sohani aks ettirishning muqobil usuli – bu uning chegarasini shakllantiruvchi

noaniq giper yuzani aniqlashdir. Bunday noaniq giper yuza o'zining yadrosida aniq giper yuzaga ega bo'lib, yadrodan uzoqlashgani sari tegishlilik funksiyasining qiymati barcha yo'nalishlar bo'ylab monoton kamayadi.

t -me'yorga asoslangan amallar. t -me'yor – bu $[0, 1]$ dagi t ning binar amali, ya'ni $[0,1]$ dan olingan $[0,1]$ binar funksiya bo'lib, kommutativ, assotsiativ va monoton kamaymaydigan hamda neytral va 0 -element sifatida 1 ga ega. Bunda ixtiyoriy $x, y, z, u, v \in [0,1]$ da t -me'yor uchun quyidagi shart bajarilishi kerak [24]:

$$xty = ytx,$$

$$xt(ytz) = (xty)tz.$$

Agar $x \leq u$ va $y \leq v$ bo'lsa, unda $xty \leq utv$;

$$xt_1 = x \text{ va } xt_0 = 0.$$

Har bir t -me'yor uchun noaniq to'plamlar ustida $\cap$, kesishish amalini bajarish mumkin:

$$\text{barcha } x \in X \text{ uchun } \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \mu_B(x). \quad (1.2.29)$$

barcha kesishish amallari mos keluvchi t -me'yorlardan xuddi shunday shaklda ishlab chiqiladi. t -me'yorga mos keluvchi $A \cap B$ uchun t_0 amali mavjud:

$$u, v \in [0,1] \text{ uchun } ut_0 v = \min\{u, v\}. \quad (1.2.30)$$

Quyidagi t_1 bo'lgan t -me'yordan algebraik ko'paytma ishlab chiqiladi:

$$u, v \in [0,1] \text{ uchun } ut_1 v = uv \quad (1.2.31)$$

Chekli ko'paytma quyidagicha xarakterlanadi:

$$u, v \in [0,1] \text{ uchun } ut_2 v = [u + v - 1]^+ \quad (1.2.32)$$

va t -me'yor orqali qat'iy (drastic) ko'paytma, t_3 bilan belgilanib aniqlanadi:

$$ut_3 v = \begin{cases} \min\{u, v\}, & \text{agar } u, v \in [0,1] \text{ uchun } u = 1 \text{ yoki } v = 1 \text{ bo'lsa,} \\ 0, & \text{boshqa holda} \end{cases} \quad (1.2.33)$$

$\cap$, kesishish amaliga ega (1.2.19) to'ldirishni qo'llab, ikkilik t -me'yorga asosan ba'zi $\cup$, birlashish amallarini bog'lash mumkin:

$$A \cup B = (\overline{A} \cap \overline{B}). \quad (1.2.34)$$

t -me'yor asosidagi kesishish va birlashtirish amallarining asosiy g'oyasi min ni t -me'yorga almashtirishdan iborat. Ushbu g'oya shuningdek, karteziyan ko'paytmalarida ham ishlatilishi mumkin.

Bunda t -me'yorga asoslanuvchi noaniq karteziyan ko'paytmasi ishlatiladi:

$$\mu_{A \otimes_R B}(u, v) = \mu_A(u) \mu_B(v), \forall u, v \in X.$$

Ko'rinib turibdiki, noaniq to'plamlar ustida bajariladigan amallar uchun keng spektrdagi operatorlar mavjud ekan. Qaysi vaziyatlarda qanday operatorlardan foydalaniladi degan savol o'zida katta qiziqish uyg'otadi. Mos operatorlarni tanlashning sakkiz mezonini ma'lum. Ular: aksiomatik kuch; empirik yaroqlilik; moslashish imkoniyati; hisoblash samarasi; kompensatsiya; kompensatsiyalash chegarasi; amallar xarakteri; tegishlilik funksiyalarini darajalashning talab etilgan darajasi.

1.2.3. Noaniq nisbat

Noaniq nisbat va noaniq chegaralanish. «Nisbat» atamasi bitta X universumda beriladigan tasvirlarning ba'zi turlarini belgilash uchun ishlatiladi. Bunday hollar uchun tasvir $\Gamma: X \rightarrow X$ bo'lib, bu to'plamdagi shunday tasvir bo'lib, o'zida $\{X, \Gamma\}$ juftlik bilan aniqlanishini namoyon etadi, bunda $\Gamma \subseteq X^2$.

x^2 to'plamning elementlari tartibga soluvchi juftlar hisoblanganligi sababli, nisbat – bu tartibga soluvchi juftlar to'plami deyish mumkin. Chunki har bir juft x^2 to'plamning faqat ikkita elementini o'zaro birlashtiradi, bunday nisbat *hinur* deb ataladi. Agar x^n to'plamning elementlari tartibga soluvchi n -ar juftlik bo'lsa, unda bunday nisbat *n-ar nisbat* deyiladi. Xususiyl hol – ternar nisbat – tartibga soluvchi uchlikdan iborat to'plam.

Noaniq nisbat tushunchasi – bu aniq nisbatlarni noaniq to'plamlar nazariyasiga umumlashtirishdir. U elementlar o'rtasidagi o'zaro ta'sir ko'p yoki kam kuchli bo'lgan vaziyatlarni modellashtirishi mumkin.

Nisbatlarning har xil turlarini farqlash mumkin. Masalan, tartibning ekvivalentlik nisbati, ustunlik va shu kabilar.

Ta'rif. Noaniq nisbat [25,26].

$x_1, \dots, x_n$ – n universumlar bo'lsin. $x_1, x_2, \dots, x_n$ dagi n -ar noaniq nisbat R to'plam hisoblanadi va quyidagicha ifodalanadi:

$$R_{x_1, \dots, x_n} = \left\{ \mu_{R_{x_1, \dots, x_n}}(x_1, \dots, x_n) / (x_1, \dots, x_n) \mid (x_1, \dots, x_n) \in X_1 \times \dots \times X_n \right\}. \quad (1.2.35)$$

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, oddiy nisbat – noaniq nisbatning xususiyl holidir.

X to'plamdagi noaniq nisbat R ning tashuvchisi deb, quyidagi ko'rinishga ega bo'lgan, dekart ko'paytmasi $X \times X$ ning ostto'plamiga aytiladi:

$$\text{supp } R = \{(u, v) \in X \times X, \mu_R(u, v) > 0\}.$$

Noaniq nisbatning tashuvchisini X to'plamdagi barcha (u, v) juftliklarni bog'lab turuvchi nisbat sifatida tushunish kerak. Bundagi juftliklar uchun noaniq nisbatning bajarilish darajasi nolga teng emas.

Noaniq nisbatning darjalari to'plami ham noaniq to'plamlarga o'xshash tarzda aniqlanadi, ya'ni

$$R_\alpha = \{(u, v) \in X \times X, \mu_R(u, v) \geq \alpha\}.$$

Noaniq nisbatlar ustida bajariladigan amallarni ko'rib chiqishga o'tamiz. Ularning ba'zilar noaniq to'plar ustida bajariladigan amallarga o'xshash, lekin ayrimlari faqatgina noaniq nisbatlar uchun o'rinni.

$X \times X$ dagi P va Q noaniq nisbatlar kesishuvi deb, quyidagi tegishlilik funksiyasi bilan aniqlanadigan $P \cap Q$ noaniq nisbatga aytiladi:

$$\mu_{P \cap Q}(u, v) = \mu_P(u, v) \wedge \mu_Q(u, v) = \min\{\mu_P(u, v), \mu_Q(u, v)\}, \\ \forall u, v \in X \times X.$$

$X \times X$ dagi P va Q noaniq nisbatlar birlashuvi deb, quyidagi tegishlilik funksiyasi bilan aniqlanadigan $P \cup Q$ noaniq binar nisbatga aytiladi:

$$\mu_{P \cup Q}(u, v) = \mu_P(u, v) \vee \mu_Q(u, v) = \max\{\mu_P(u, v), \mu_Q(u, v)\}, \quad \forall (u, v) \in X \times X.$$

$R \subseteq X \times X$ noaniq nisbatning qo'shimchasi deb, quyidagi tegishlilik funksiyasiga ega bo'lgan R nisbatga aytiladi:

$$\mu_{R^c}(u, v) = 1 - \mu_R(u, v), \quad \forall u, v \in X \times X.$$

Nisbat R ga teskari nisbat deb, quyidagi tegishlilik funksiyasiga ega bo'lgan R^{-1} nisbatga aytiladi:

$$\mu_{R^{-1}}(u, v) = \mu_R(v, u), \quad \forall u, v \in X \times X.$$

Ko'rinib turibdiki, R^{-1} matritsa R ga transponirlangan matritsa hisoblanadi.

Ta'rif. Noaniq chegaralanish.

$v = (v_1, \dots, v_n) \in X = X_1 \times \dots \times X_n$ dagi o'zgaruvchi bo'lsin.

$R(v)$ bilan belgilanadigan noaniq chegaralanish v o'zgaruvchining qiymatiga yumshoq chegaralanish kabi ta'sir etuvchi R noaniq

nisbatdir. Ushbu holda v o'zgaruvchi $(v, x, R(v))$ uchlik kabi qaralishi mumkin, bunda v – o'zgaruvchining nomi.

R nisbatning $X_{j_1}, \dots, X_{j_k}$ dagi proyeksiyasi quyida berilgan ifoda bilan aniqlanadigan nisbat hisoblanadi, bu yerda $(j_1, \dots, j_k) - (1, 2, \dots, n)$ ning ost ketma-ketligi,

$$proj(R; X_{j_1}, \dots, X_{j_k}) = \int_{X_{j_1} \times \dots \times X_{j_k}} \sup_{X_{j_1}, \dots, X_{j_k}} \mu_R(X_{j_1}, \dots, X_{j_k}) / (X_{j_1}, \dots, X_{j_k}), \quad (1.2.36)$$

bu yerda $j_1, \dots, j_k - (1, 2, \dots, n)$ da $(i_1, \dots, i_k)$ gacha to'ldiruvchi ost ketma-ketlik.

Proyeksiyalar shuningdek *marginal noaniq chegaralanishlar* deb ham ataladi. Aksincha: agar $R - X_{j_1} \times \dots \times X_{j_k}$ dagi noaniq to'plam bo'lsa, unda $X_1 \times \dots \times X_n$ dagi silindrik kengayish – bu $X_1 \times \dots \times X_n$ dagi $C(R)$ noaniq to'plam bo'lib, u quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$C(R) = \int_{X_1 \times \dots \times X_n} \frac{\mu_R(x_{j_1}, \dots, x_{j_k})}{(x_{j_1}, \dots, x_{j_k})}.$$

Agar $R(v_1, \dots, v_n) = R(v_1) \times \dots \times R(v_n)$ bo'lsa, n -ar noaniq chegaralanish $R(v_1, \dots, v_n)$ *bo'laklanuvchi chegaralanish* deyiladi, bunda x karteziyan ko'paytmasini belgilab beradi, $R(v_j) - X$ dagi R ning proyeksiyasi, ya'ni

$$\mu_R(X_{j_1}, \dots, X_{j_n}) = \min_{i=1, n} \mu_{proj[R; X_{j_i}]}(X_{j_i}).$$

Silindrik kengayish atamalarida bu formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$R = \bigcap_{i=1, n} C(proj[R; X_{j_i}]).$$

Agar va faqat agar R o'zining proyeksiyasi bilan bog'langan bo'lsa, unda u *bo'laklanuvchi* hisoblanadi. Agar R bo'laklanuvchi bo'lsa, unda uning barcha marginal noaniq chegaralanishlari ham bo'laklanuvchidir. Agar o'zgaruvchilar $v_1, \dots, v_n$ ning chegaralanishlari $R(v_1, \dots, v_n)$ bo'laklanuvchi noaniq chegaralanish hisoblansa, unda o'zgaruvchilar *o'zaro ta'sirlashmaydigan o'zgaruvchilar* deyiladi.

Misol. Agar quyidagilar berilgan bo'lsa, noaniq nisbat $R = A \cdot B$ ni hisoblaymiz:

$$A = \frac{0,1}{4} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,4}{6},$$

$$B = \frac{0,33}{10} + \frac{0,45}{11} + \frac{0,78}{12}.$$

min amalining o'rniga **max** va **prod** amallarini ishlatamiz.

$$\mu_R = \max(\mu_A, \mu_B).$$

$$R = A \times B = \frac{0.33}{(4,10)} + \frac{0.45}{(4,11)} + \frac{0.78}{(4,12)} + \frac{0.33}{(5,10)} + \frac{0.45}{(5,11)} + \frac{0.78}{(5,12)} + \frac{0.4}{(6,10)} + \frac{0.45}{(6,11)} + \frac{0.78}{(6,12)}.$$

$$R = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.45 & 0.78 \\ 0.33 & 0.45 & 0.78 \\ 0.4 & 0.45 & 0.78 \end{bmatrix}.$$

$$\mu_R = (\mu_A \times \mu_B).$$

$$R = A \times B = \frac{0.033}{(4,10)} + \frac{0.045}{(4,11)} + \frac{0.078}{(4,12)} + \frac{0.099}{(3,10)} + \frac{0.135}{(5,11)} + \frac{0.234}{(5,12)} + \frac{0.132}{(6,10)} + \frac{0.180}{(6,11)} + \frac{0.312}{(6,12)}.$$

$$R = \begin{bmatrix} 0.033 & 0.045 & 0.078 \\ 0.099 & 0.135 & 0.234 \\ 0.132 & 0.180 & 0.312 \end{bmatrix}.$$

Binar noaniq nisbat. Binar noaniq nisbat – bu klassik binar nisbatni umumlashtirishdir.

$X \times Y$ dagi binar nisbat R – bu $X \times Y$ dagi noaniq to'plamdur. $R - X \times Y$ dagi binar noaniq nisbat bo'lsin. Nisbat R ning $dom(R)$ bilan belgilanadigan domeni, rangi $ran(R)$ mos ravishda quyidagi formulalar bilan aniqlanadi:

$$\mu_{dom(R)}(x) = \sup_y \mu_R(x, y), \forall x \in X,$$

$$\mu_{ran(R)}(y) = \sup_x \mu_R(x, y), \forall y \in Y.$$

Ta'rif. Sup-Star kompozitsiyasi. Agar R va S lar $U \times V$ va $X \times Y$ ning noaniq nisbatlari bo'lsa, R va S kompozitsiyasi noaniq nisbat hisoblanib, $R \circ S$ bilan belgilanadi va quyidagicha aniqlanadi:

$$R \circ S = \left\{ \left[(x, z), \sup_{y \in Y} (\mu_R(x, y) * \mu_S(y, z)) \right] \mid x \in X, y \in Y, z \in Z \right\}, \quad (1.2.37)$$

bu yerda $*$ uchburchakli me'yorlar sinfidagi ixtiyoriy operator bo'lishi mumkin, masalan: minimum, algebraik ko'paytma, cheklangan ko'paytma yoki qat'iy (drastic) ko'paytma [27].

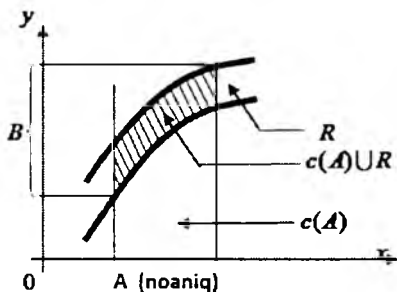
(1.2.37) tenglama quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin: $\mu_{R \circ S}(x, z) - X$ ni Z bilan bog'lab turuvchi zanjirlar to'plami kuchidir. Har bir zanjir $x-y-z$ shaklga ega. Bunday zanjirning kuchi

eng kuchsiz bog'lanishning kuchiga teng. x va z o'rtasidagi nisbatning kuchi x va z o'rtasidagi eng kuchli bog'lanishning kuchi hisoblanadi.

A to'plam X dagi noaniq to'plam bo'lsin, unda (1.2.37) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$\mu_{AoR}(y) = \sup \min(\mu_A(x), \mu_R(x, y)).$$

Biz $B = AoR$ ni A dan R orqali induksiyalab olingan noaniq to'plam hisoblanishini aytib o'tamiz. Bu induksiya hammaga ma'lum bo'lgan aniq bir qoidani umumlashtiradi: agar $x=a$ va $u=f(x)$ bo'lsa, unda $y=f(a)$ bo'ladi. Bu 1.2.18-rasmda ko'rsatilgan.



1.2.18-rasm. Induksiyalangan noaniq to'plam.

Natijada $B = \text{proj}[C(A) \cap R; Y]$ ga ega bo'lamiz.

Noaniq nisbat chekli universumda aks ettirilishi mumkin. Agar bog'langan universumlar X va Y chekli bo'lsa, X^*Y dagi noaniq nisbat R matritsa ko'rinishida $[R]$ kabi yozilishi mumkin, uning termi $[R]_{ij}$ quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu_R(x_i, y_j) = r_{ij}, \quad i := \overline{1, n}, \quad j := \overline{1, m}, \quad \text{rae } |X| = n \quad \text{va} \quad |Y| = m.$$

$[S]_{jk} = s_{jk}$, $k = \overline{1, p}$, $p = |Z|$ ni e'tiborga olgan holda chekli noaniq nisbatlar kompozitsiyasi matritsali ko'paytma $[RoS]_{jk} = \sum r_{ij} s_{jk}$ kabi qaralishi mumkin, bunda jamlash **max** amali bilan, ko'paytirish esa **min** amali bilan bajarilgan.

Agar $R_{ij}S$ quyidagicha ko'rinishda yozilsa:

$$\text{proj}[C(R) \cap C(S); X \times Z],$$

(bu yerda R va S mos ravishda $X \times Y$ va $Y \times Z$ da berilgan), unda boshqa kompozitsiyalar kesishish uchun ishlatiladigan operatorning modifikatsiyalari orqali kiritilishi mumkin.

$\min$ ni $*$ ga o'zgartirib, $R*S$ ni quyidagi ifoda orqali chiqaramiz:

$$\mu_{R \circ S}(x, z) = \sup(\mu_R(x, y) * \mu_S(y, z)).$$

Biz boshqa turdagi muqobil kompozitsiyalar: *inf-max*, *sup-prod* va boshqalarni uchratishimiz mumkin.

AGAR-UNDA noaniq nisbati. A va B to'plamlar X va Y universumlardagi noaniq ostto'plamlar bo'lsin.

X va Y ning turli sohalarida berilgan A va B noaniq ostto'plamlarni bog'lash uchun noaniq shartli tasdiq tushunchasi (lingvistik implikasiya) kiritiladi: «AGAR A – UNDA B » da $A \Rightarrow B$.

Nisbat R ning olingan implikasiyalari A va B ostto'plamlarning karteziyan ko'paytmasi atamalarida ifodalanadi va $R = A \times B$ kabi belgilanadi hamda uning tegishlilik funksiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu_R(x, y) = \mu_{A \times B}(x, y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)], x \in X, y \in Y. \quad (1.2.38)$$

Misol.

1. AGAR A – UNDA B noaniq implikasiyasi berilgan. Agar A va B ostto'plamlar berilgan bo'lsa, **min** kompozitsiya amalidan foydalanib, $R = A * B$ noaniq nisbat hisoblansin.

$$A = \frac{0,1}{20} + \frac{0,3}{21} + \frac{0,4}{22},$$

$$B = \frac{0,33}{60} + \frac{0,45}{65} + \frac{0,78}{70},$$

$$R = A \times B = \frac{0,1}{(20,60)} + \frac{0,1}{(20,65)} + \frac{0,1}{(20,70)} + \frac{0,3}{(21,60)} + \frac{0,3}{(21,65)} + \frac{0,3}{(21,70)} + \frac{0,33}{(22,60)} + \frac{0,4}{(22,65)} + \frac{0,4}{(22,70)}.$$

Qo'yilgan noaniq nisbatni ham uchratish mumkin. Bunday hollarda noaniq shartli tasdiq qo'yilgan hisoblanadi, ya'ni AGAR A – UNDA B AGAR B – UNDA C shakliga ega nisbat. Bunda noaniq nisbat R quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$R = A \times (B \times C) = A \times B \times C. \quad (1.2.39)$$

Noaniq implikasiya ikki implikasiyadan tashkil topishi mumkin. Bu sodda implikasiyalar «yoki» («yo bo'lmasa»), «va» hamda shu kabi bog'lovchilardan foydalanib bog'lanadi.

Misol.

Quyidagi implikasiya berilgan bo'lsin:

$$\text{AGAR } A_1 - \text{UNDA } B_1,$$

$$\text{yoki (yo bo'lmasa) AGAR } A_2 - \text{UNDA } B_2,$$

bu yerda $A_1, A_2 - X$ dagi noaniq ostto'plamlar, B_1, B_2 esa $- Y$ dagi noaniq ostto'plamlar.

Natijaviy noaniq nisbat R xuddi individual noaniq nisbatlarning birlashmasi $R_i (i=1,2)$ kabi aniqlanadi:

$$R = \bigcup_{i=1,2} R_i = \bigcup_{i=1,2} A_i \times B_i. \quad (1.2.40)$$

Tegishlilik funksiyasi R quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu_R(x, y) = \max \{ \min [\mu_{A_1}(x), \mu_{B_1}(y)], \min [\mu_{A_2}(x), \mu_{B_2}(y)] \}. \quad (1.2.41)$$

Bu bir emas, balki ikkidan ortiq implikasiya bilan ishlanadigan hollarda kengaytirilishi mumkin.

Noaniq nisbat $R = A \times B$ va noaniq ostto'plam A ning qiymati A berilgan bo'lsin. Nisbat R xulosaning kompozitsion qoidasini qo'llash orqali mos B' qiymatni chiqarish uchun ishlatiladi:

$$B' = A' \circ R = A' \circ (A \times B).$$

Tegishlilik funksiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu_{B'}(y) = \max_x \min [\mu_A(x), \mu_R(x, y)].$$

Ternar noaniq nisbatli hollar uchun formula quyidagi ko'rinishga ega:

$$C' = A' \circ (B' \circ R) = A' \circ (B' \circ (A \times B \times C)).$$

$$\mu_{C'}(z) = \max_x \min \left[\mu_A(x), \max_y \min [\mu_B(y), \mu_R(x, y, z)] \right]. \quad (1.2.42)$$

Misol.

AGAR $A - \text{UNDA } B$, AGAR $B - \text{UNDA } C$ noaniq implikasiya berilgan. Noaniq nisbat $R = A \times B \times C$ ni hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} A &= \frac{0.3}{5} + \frac{0.5}{6} + \frac{0.8}{7}, B = \frac{0.3}{15} + \frac{0.5}{16} + \frac{0.8}{17}, C = \frac{0.2}{25} + \frac{0.4}{26} + \frac{0.6}{27}; \\ R &= A \times B \times C = \frac{0.2}{5,15,25} + \frac{0.3}{5,15,26} + \frac{0.3}{5,15,27} + \frac{0.2}{5,16,25} + \frac{0.3}{5,16,26} + \frac{0.3}{5,16,27} + \\ &+ \frac{0.2}{5,17,25} + \frac{0.3}{5,17,26} + \frac{0.3}{5,17,27} + \frac{0.2}{6,15,25} + \frac{0.4}{6,15,26} + \frac{0.3}{6,15,27} + \frac{0.2}{6,16,25} + \\ &+ \frac{0.4}{6,16,26} + \frac{0.5}{6,16,27} + \frac{0.2}{6,17,25} + \frac{0.4}{6,17,26} + \frac{0.5}{6,17,27} + \frac{0.2}{7,15,25} + \frac{0.3}{7,15,26} + \\ &+ \frac{0.3}{7,15,27} + \frac{0.2}{7,16,25} + \frac{0.4}{6,16,26} + \frac{0.6}{6,16,27} + \frac{0.2}{7,17,25} + \frac{0.4}{7,17,26} + \frac{0.6}{6,17,27}. \end{aligned}$$

Ta'rif. Noaniq graf.

Noaniq nisbat tushunchasi bilan noaniq graf tushunchasi chambarchas bog'langan. Faraz qilamiz, E – tugunlarning oddiy to'plami. Noaniq graf quyidagicha aniqlanadi [27]:

$$G(x_i, x_j) = \left\{ \frac{(x_i, x_j), \mu_G(x_i, x_j)}{(x_i, x_j)} \in E \times E \right\}.$$

Agar E -noaniq to'plam bo'lsa, unda noaniq graf noaniq nisbatga o'xshash tarzda aniqlanadi.

Misol.

Agar $E = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ berilgan bo'lsa, unda noaniq grafni quyidagicha yozish mumkin:

$$G(x_i, x_j) = \left\{ \begin{aligned} &[(x_1, x_2), 0.3], [(x_1, x_3), 0.6], [(x_1, x_4), 1], [(x_2, x_1), 0.4], \\ &[(x_3, x_1), 0.2], [(x_3, x_2), 0.5], [(x_4, x_3), 0.8] \end{aligned} \right\}.$$

1.2.4. Noaniq tahlil

Noaniq funksiya. Dastlab Zodaning kengayish tamoyilini ta'riflaymiz. Ushbu tamoyil noaniq to'plamlar uchun klassik matematik usullarni umumlashtirishga mo'ljallangan bo'lib, noaniq to'plamlar nazariyasidagi eng muhim konsepsiya hisoblanadi [26-27].

Faraz qilamiz, X universum, A - X dagi noaniq to'plam, f esa Y dagi X ning tasviri bo'lsin, bunda $y=f(x)$. Unda kengayish tamoyili Y dagi B noaniq to'plamni aniqlash imkonini beradi:

$$B = f(A) = \{(y, \mu_B(y)) | y = f(x), x \in X\},$$

$$\text{bu yerda } \mu_B(y) = \begin{cases} \sup_{x \in f^{-1}(y)} \mu_A(x), & \text{agar } f^{-1}(y) \neq \emptyset \text{ bo'lsa,} \\ 0, & \text{boshqa hollarda.} \end{cases}$$

Misol.

$$A\{(-1, 0.3), (0, 0.6), (1, 1), (2, 0.2)\}, f(x) = x^2.$$

Kengayish tamoyilini qo'llab, quyidagini topamiz:

$$B = f(A) = \{(0, 0.6), (1, 1), (4, 0.2)\}.$$

Ta'rif. Noaniq funksiya.

Funksiya (aniq) $f: R \rightarrow R$ berilgan bo'lsin. Biz uning grafigini olishimiz mumkin [28]:

$$\{(x, y) \in R^2 | y = f(x)\} \quad (1.2.43)$$

Noaniq to'plam F ning yadrosi sifatida tegishlilik funksiyasining qiymati, masalan, grafikdan masofaning uzoqlashishi bilan monoton kamaytirish orqali olinishi mumkin. Bu noaniq to'plam F o'zida noaniq funksiyani namoyon etadi. Yaqqol funksiyalar f uchun biz F ni, har biri yadro sifatida $\{f(x)\}$ ni va tegishlilik funksiyasi sifatida esa quyidagi ifodani qabul qiluvchi $Y(x)$ noaniq sonlar oilasi (x parametrlil) sifatida aks ettirishimiz mumkin:

$$\mu_{F(x)}(y) = \mu_F(x, y). \quad (1.2.44)$$

Grafigi quyidagi ifoda orqali aniqlanadigan, yaqqol bo'lmagan f funksiyalar bilan ishlash holatida noaniq yaqqol bo'lmagan funksiyalarga o'tishda soha chegarasi (aniq) sifatida chastotaviy-ehtimolli akslantirishdan foydalanishimiz mumkin:

$$\{(x, y) \in R^2 \mid f(x, y) = 0\} \quad (1.2.45)$$

Noaniq funksiyalarning uchta asosiy turi mavjud:

- noaniq xossalarga ega bo'lgan yoki noaniq chegaralanishlarni qanoatlantiruvchi oddiy funksiyalar;

- argumentlarining noaniqliklarini shunchaki aks ettiruvchi, lekin o'zi qo'shimcha noaniqlikni bermaydigan funksiyalar (bu yerda aniq element tasviri funksiyaning aniq qiymati hisoblanadi);

- aniq argumentning yomon aniqlangan funksiyalari: biror bir elementning tasviri funksiya ta'sirida yoyilib ketadi.

f funksiya W dagi V dan olingan oddiy funksiya, W va V esa ikki universumlar bo'lsin:

$$x \in V \rightarrow f(x) \in W.$$

A va B to'plamlar V va W dagi ikki noaniq to'plamlar bo'lsin, faqat va faqatgina $\forall x \in V, \mu_B(f(x)) \geq \mu_A(x)$ shart bajarilsa, f funksiya *noaniq soha B ning noaniq domeni A ga ega funksiya* deyiladi.

Aniq funksiyaning noaniq kengayishini ko'rib chiqamiz.

f funksiya W dagi V dan olingan aniq funksiya bo'lsin. V dagi X noaniq to'plamning obrazi kengayish tamoyili orqali aniqlanadi:

$$\mu_{f(x)}(y) = \sup_{x \in f^{-1}(y)} \mu_X(x), \quad (1.2.46)$$

$$\mu_{f(x)}(y) = 0, \text{ agar } f^{-1}(y) = \emptyset \text{ bo'lsa,}$$

bu yerda $f^{-1}(y)$ — y antetsedentlar to'plami.

Faraz qilamiz, X va Y — universumlar va $P(Y)$ — Y dagi barcha noaniq to'plamlar to'plami.

Agar faqat va faqatgina $\mu_{\tilde{f}(x)}(y) = \mu_R(x, y), \forall (x, y) \in X \times Y$ shart bajarilsa, $\tilde{f}: X \rightarrow P(Y)$ noaniq funksiya deyiladi.

Ta'rif. Noaniq funksiya ekstremumi.

Faraz qilamiz, $\tilde{f}(x)$ chekli ordinar (noaniq emas) D sohada aniqlangan.

$\tilde{f}(x)$ ning noaniq maksimumi quyidagicha aniqlanadi:

$$\tilde{M} = \max_{x \in D} \tilde{f}(x) = \left\{ \left(\sup_{x \in D} \tilde{f}(x), \mu_{\tilde{M}}(x) \right) \mid x \in D \right\}. \quad (1.2.47)$$

Noaniq funksiyalarni integrallash

Ta'rif. Noaniq funksiyalarni integrallash. $\tilde{f}(x) - \{a, b\} \subset R$ da aniqlangan noaniq funksiya, bunda $\forall [a, b] \tilde{f}(x)$ noaniq son, f_a^- va f_a^+ mos ravishda $\tilde{f}(x)$ ning α -kesimini quyi va yuqori chegaralarini bildiradi. Integral $\tilde{f}(x)$ b[a, b] xuddi noaniq to'plam sifatida aniqlanadi:

$$\tilde{I}(a, b) = \left\{ \left(\int_a^b f_a^-(x) dx, \int_a^b f_a^+(x) dx, \alpha \right) \right\}. \quad (1.2.48)$$

Zodaning kengayish tamoyiliga asosan

$$\mu_{\tilde{f}(y)}(y) = \sup_{g \in Y} \inf_{x \in [a, b]} \mu_{f(x)}(g(x)), y \in R,$$

bu yerda $y = \left\{ g: [a, b] \rightarrow \frac{R}{g} \right\}$

Faraz qilamiz, noaniq funksiya LR – noaniq son ko'rinishida keltirilgan [29]

$$\tilde{f}(x) = (f(x), s(x), t(x))_{LR}. \quad (1.2.49)$$

Unda

$$\int_D f(x) dx = \int_4^8 2x dx = 2x \Big|_4^8.$$

Hisoblash natijalari quyida keltirilgan.

(a, b)	$\int_a^b 2x dx$	$\min(\mu_s(a), \mu_s(b))$
(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 qiymati uchun tegishlilik funksiyasining maksimal qiymatini topib, quyidagini olamiz:

$$\int_D f\{(0,4), (2,7), (4,1), (6,8), (8,2)\}.$$

Noaniq differensiallash

Ta'rif. Noaniq differensiallash.

« $\tilde{x}_0$ noaniq nuqtadagi funksiya hosilasi» noaniq to'plamining tegishlilik funksiyasi kengayish tamoyiliga muvofiq quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu(y) = \sup_{f(\tilde{x}_0)} \mu_{\tilde{x}_0}(x). \quad (1.2.50)$$

Misol.

$$f(x) = \frac{3}{5}x^5, \\ \tilde{x}_0 = \{(-1,3), (0,1), (1,5)\}, \\ f'(x) = 3x^4.$$

Haqiqiy funksiya $f(x)$ ning $\tilde{x}_0$ nuqtadagi qidirilayotgan hosilasi quyidagicha bo'ladi:

$$f'(x_0) = \{(0,1), (3,6)\}.$$

Noaniq hosilaning quyidagi xossalari keltirib o'tamiz.

Agar f' va g' uzluksiz va ikkalasi ham kamayuvchi yoki o'sib boruvchi bo'lsa, unda

$$f'(\tilde{x}_0) \oplus g'(\tilde{x}) = (f' + g')(x'_0),$$

$$(f \cdot g)'(\tilde{x}) = (f'g + fg')(\tilde{x}_0) \subseteq [f'(\tilde{x}_0) \otimes g(\tilde{x}_0)] \oplus [f(\tilde{x}_0) \otimes g'(\tilde{x}_0)].$$

Agar f , g , f' va g' uzluksiz, f va g musbat, f' va g' kamaymaydigan (f va g manfiy, f' va g' o'smaydigan) bo'lsa, unda

$$(f \cdot g)'(\tilde{x}_0) = [f'(\tilde{x}_0) \otimes g(\tilde{x}_0)] + [f(\tilde{x}_0) \cdot g'(\tilde{x}_0)].$$

R_0 dan olingan F noaniq funksiyaning x nuqtadagi hosilasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu_{f^*(x_0)}(y) = \sup \left\{ \frac{\alpha}{y} = (f_\alpha^q)'(x_0), q \in \{+, -\} \right\},$$

bu yerda barcha $\alpha \in [0,1]$ uchun f_α^+ , f_α^- ning mavjudligi, chegaralanganligi va differensiallanuvchanligi taxmin qilinadi.

Ta'rif. Noaniq tenglama.

Umumiy holda, *noaniq tenglamalar* deb, koeffitsiyentlari va/yoki o'zgaruvchilari noaniq son hisoblanuvchi tenglamalarga aytiladi.

Amaliyotda ko'pincha oddiy matematik termlari va noaniq matematik nisbatli tenglamalar hamda noaniq sonli va oddiy matematik nisbatli tenglamalar uchraydi.

Agar f_1 va f_2 – matematik termlar ($x \in R^1$ elementlardan tuzilgan konstruksiyali) va bog'lovchi amallar: $+, \times, -, :$, Q –noaniq nisbat bo'lsa, unda $f_1 Q f_2$ *noaniq nisbatli noaniq tenglama* deyiladi.

Misol uchun Q qiymati $Q \triangleq$ «taqribiy teng» bo'lishi mumkin.

Agar f_1 va f_2 noaniq termlar $(\otimes, \ominus, \max, \min)$ amallar bilan bog'liq bo'lgan $\mu_A \in F(R^1)$, $i \in N$ elementlardan tuzilgan konstruksiyali), R oddiy matematik nisbat hisoblansa, unda α -kesimlardan foydalanib, quyidagi tenglamani aniqlash mumkin:

$$(\bigcup_{\alpha} f_1 \alpha) R (\bigcup_{\alpha} f_2 \alpha) = (\bigcup_{\alpha} [\delta_{f_1}, \gamma_{f_1}]) R (\bigcup_{\alpha} [\delta_{f_2}, \gamma_{f_2}]). \quad (1.2.51)$$

bu yerda $\delta_{f_1} \Delta_{f_1}(\alpha)$; $\delta_{f_2} \Delta_{f_2}(\alpha)$; $\gamma_{f_1} \Delta_{f_1}(\alpha)$; $\gamma_{f_2} \Delta_{f_2}(\alpha)$; $\delta_f(\alpha) = \mu_f^{-1}(\alpha)$, $\gamma_f(\alpha) = \mu_f^{-1}(\alpha)$, $\mu_f^{-1}(\alpha)$ – mos ravishda $\mu_f(x)$ ning o'suvchi va kamayuvchi qismlari uchun teskari funksiyalar hisoblanadi.

Agar $\mu_1 > 0$, $\mu_x > 0$, $\mu_c > 0$, $f_1 = \mu_c$, $f_2 = \mu_A \ominus \mu_x$ bo'lsa, unda $\mu_c = \mu_A \ominus \mu_x$, $\mu_c = \mu_A \ominus \mu_x \Leftrightarrow \bigcup_{\alpha} [\delta_c, \gamma_c] = \bigcup_{\alpha} [\delta_A \delta_x, \gamma_A \gamma_x]$.

Shunday qilib, $f_1(x) R f_2(x)$ turdagi tenglamani yechish uchun uni (1.2.51) ko'rinishiga keltirish va δ_x, γ_x ga nisbatan yechish zarur.

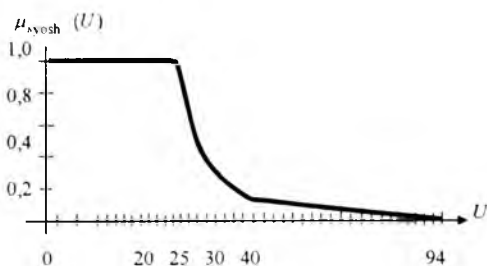
1.2.5. Lingvistik va noaniq o'zgaruvchilar

Lingvistik o'zgaruvchilar xossalari aniqlash. So'nggi yillardagi amaliy tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, tizimlarni EHM da modellashtirish va tahlil qilishning raqamli ma'lumotlarni aniq qayta ishlashga asoslanadigan oddiy usullari real texnologik jarayonlarning yirik murakkabliklarini qamrab ola olmaydi. Bu holatdan kelib chiqqan holda, real texnologik jarayonlarning xulqi haqida xulosalar chiqarish uchun ma'lum tizimlarni matematik tahlil qilishda kerak

bo'ladigan o'lchash aniqliklariga bo'lgan an'anaviy talablardan voz kechishga to'g'ri keladi.

“Inson-EHM” konturida operator tomonidan qarorlarni qabul qilinishi bilan bog'liq bo'lgan boshqarishning ma'lum sinfdagi masalalari yuzaga kelishi bilan aniqlik va determinanlanganlikdan voz kechish zaruriyati tug'iladi. Bunday konturlarda dialogni o'rnatish uchun tabiiy tilga yaqin bo'lgan tildan foydalanish kerak. Bu til inson tushunchasi va tasavvuriga yaqin noaniq kategoriyalarni tavsiflay oladi. Shu sababli birinchi marta L.Zoda tomonidan kiritilgan lingvistik o'zgaruvchi tushunchasidan foydalanish maqsadga muvofiqdir [28,30]. Bunday lingvistik o'zgaruvchilar, aniq determinanlangan tavsif mavjud bo'lmagan hollarda predmetlar va hodisalarning so'zli tavsiflarini monand aks ettirish imkonini beradi. Shuni ham e'tiborga olish zarurki, ko'p hollarda lingvistik tavsiflangan noaniq kategoriyalar aniq tavsiflardan kam axborot bermaydi.

Misol sifati aytish mumkinki, “Temur 25 yoshda” iborasi “Temur yosh” iborasi kabi tasvirlanishi mumkin (1.2.19-rasm). Shuning uchun yosh so'zini “yoshni” belgilovchi o'zgaruvchining lingvistik qiymati sifatida qarash mumkin. Shuningdek, lingvistik qiymat 25 kabi son qiymatni ham qabul qilishi mumkin. Agar lingvistik qiymatlarni 17, 24, 31 sonli qiymatlar bilan solishtiradigan bo'lsak, unda lingvistik qiymat **juda yosh, ozgina kattaroq yoshli, deyarli o'rta yoshli** kabilarni qabul qilishi mumkin.



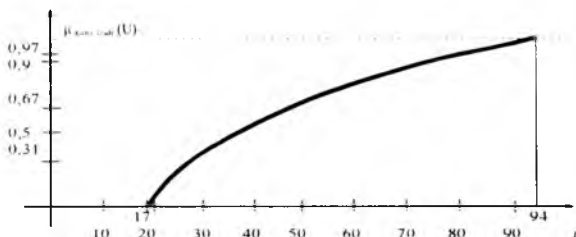
1.2.19. –rasm. «Yosh» lingvistik qiymat.

Lingvistik o'zgaruvchilarning qiymatlar to'plami termni, ya'ni ushbu o'zgaruvchilar to'plamini tashkil etadi. Bu to'plam, umuman olganda, cheksiz sondagi elementlardan iborat, lekin amaliyotda u albatta chekli. Masalan, “yosh” lingvistik o'zgaruvchisining to'plamini

quyidagicha yozish mumkin: $T(\text{yosh}) = \text{juda yosh} + \text{deyarli yosh} + \text{yosh} + \text{deyarli o'rta yosh} + \text{o'rta yoshi} + \dots + \text{katta yosh} + \text{katta yoshdan ozroq katta yosh} + \text{juda katta yosh (qari)}$.

«+» ishorasi bu yerda birlashuvni ifodalaydi. Shuni ta'kidlab o'tish joizki, **yosh** lingvistik o'zgaruvchisi holatida (17, 24, 31, 38, ..., 94 qiymatlarini qabul qiluvchi **yosh** sonli o'zgaruvchisi) **yosh** lingvistik o'zgaruvchisining *asosiy o'zgaruvchisi* deyiladi. Ushbu holda **katta yosh** lingvistik qiymat (1.2.20-rasm) *asosiy o'zgaruvchining* qiymatiga qo'yilgan noaniq chegaraning nomi sifatida aks ettiriladi. Aynan ushbu chegaralanishni **katta yosh** lingvistik qiymatning mohiyati deb hisoblaymiz.

Asosiy o'zgaruvchining qiymatiga qo'yilgan noaniq chegaralanish, *asosiy o'zgaruvchining* har bir qiymatiga $[0,1]$ intervaldagi biror son to'g'ri keladigan birgalikdagi funksiya bilan xarakterlanadi. Bu funksiya intervaldagi qiymatlarni noaniq chegaralanish bilan birgalikdaligini ifodalaydi. Matematik va konseptual funksiyalar yuqorida kiritilgan tegishlilik funksiyasi bilan aynan bir xildir.



1.2.20-rasm. «Katta yosh» lingvistik qiymati.

Agar X – noaniq o'zgaruvchining nomi bo'lsa, unda bu nom bilan belgilangan chegaralanishni noaniq o'zgaruvchi X ning mohiyatini ochib berishi mumkin. Agar noaniq o'zgaruvchi **yoshning katta yosh** qiymati bilan berilgan chegaralanish o'zida quyidagi ko'rinishga ega bo'lgan noaniq ostto'plamlar to'plamini namoyon qilsa,

$$R(\text{katta yosh}) = \int_{17}^{94} \left\{ 1 - \left[1 - \frac{(u - 17)}{77} \right]^2 \right\} / u, \quad u \in U,$$

unda ushbu noaniq to'plamni **katta yosh** o'zgaruvchisining mohiyati deb hisoblash mumkin.

Lingvistik o'zgaruvchi tushunchasining boshqa bir muhim jihati uning ikkita qoidaga mos kelishidan iborat: sintaksik (o'zgaruvchi qiymati nomini bildiradigan grammatika shaklida berilgan bo'lishi mumkin) va semantik (har bir qiymatning mohiyatini hisoblaydigan algoritmik amal ko'rinishida belgilanadi). Shunday qilib, ushbu qoidalar lingvistik o'zgaruvchilar strukturalari tavsifining katta qismini tashkil etadi.

Lingvistik o'zgaruvchi tushunchasini muhokama qilish dastlabki xarakterga ega bo'lganligi uchun ham u norasmiy tushunchadir. Ushbu tushunchani matematik ifodalash uchun o'zgaruvchi va noaniq o'zgaruvchi bilan bog'liq bo'lgan ba'zi ta'rif va tushuntirishlarni berib ketish zarur.

Ta'rif. Oddiy o'zgaruvchi.

Oddiy (aniq) o'zgaruvchi [31] uchta parametr $(X, U, R(X:u))$ bilan xarakterlanadi, bunda X -o'zgaruvchining nomi; U -universal to'plam (chekli va cheksiz); u - U elementlar to'plamining umumiy nomi (barcha elementlar uchun yagona); $R(X;u)$ -to'plamning ostto'plami, bunda U o'zida X o'zgaruvchilar bilan berilgan u elementlar qiymatiga qo'yilgan chegarani aks ettiradi.

Bundan tashqari, o'zgaruvchining $x = u + R(X:u)$ vazifa tenglamasi quyidagiga ekvivalent tarzda yoziladi:

$$x = u, u \in R(X:u).$$

Bu tenglama x o'zgaruvchi $R(X:u)$ chegaralanishni hisobga olgan holda u qiymatni bildirishini aks ettiradi. Shunday qilib, vazifa tenglamasi faqat va faqatgina $u \in R(X:u)$ bo'lganda qanoatlantiriladi.

Aytib o'tilganlarni yosh o'zgaruvchisiga doir misol orqali aks ettirish mumkin. Bu yerda U sifatida 0, 1, 3, ..., butun sonlar to'plami, $R(x; u)$ uchun esa 17, 24, 31, ..., 94 lar olinishi mumkin.

Ta'rif. Noaniq o'zgaruvchi.

Noaniq o'zgaruvchi [31] $(\bar{X}, U, R(x;\bar{u}))$ uchlik bilan xarakterlanadi, bu yerda $\bar{X}$ -o'zgaruvchining nomi; $R(x;\bar{u})$ - $\bar{X}$ bilan berilgan o'zgaruvchi qiymatiga qo'yilgan noaniq chegaralanish. Cheklanmagan oddiy (aniq) u o'zgaruvchi $\bar{X}$ o'zgaruvchi uchun asosiy hisoblanadi.

$\bar{X}$ uchun vazifa tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$x = u + R(\bar{X};u)$$

va x o'zgaruvchiga u qiymat $R(x;u)$ chegaralanish bilan berilganligini bildiradi. Ushbu tenglikni qanoatlantiruvchi darajani $R(x;u)$ chegarali

u qiymatning mosligi deb atash qabul qilingan va $C(u)$ ko'rinishida yoziladi.

Ta'rifga binoan

$$C(u) = \mu_{R(X;u)}(u), u \in U,$$

bu yerda $\mu_{R(X;u)} - u$ ning $R(x;u)$ ga tegishlilik darajasi.

Oddiy va noaniq o'zgaruvchilarga ta'rif berib, yanada yuqoriroq darajali o'zgaruvchi bo'lgan lingvistik o'zgaruvchiga shakllantirilgan ta'rif berishga o'tamiz. Shundan kelib chiqqan holda quyidagi ta'rifni keltiramiz.

Ta'rif. Lingvistik o'zgaruvchi.

Lingvistik o'zgaruvchi [31] $((x), T(x), U, G, M)$ to'plam bilan xarakterlanadi, bu yerda x – o'zgaruvchining nomi; $T(x)$ – x o'zgaruvchilar to'plami – termni bildiradi, ya'ni x o'zgaruvchilar lingvistik qiymati nomlarining to'plam bo'lib, ularning har biri u asosiy o'zgaruvchilardan tashkil topgan universal to'plam U dan olingan qiymatli x o'zgaruvchi hisoblanadi; G – x o'zgaruvchi qiymatiga x nomini beruvchi sintaksik qoida (odatda grammatika shakliga ega bo'ladi); M – har bir x noaniq o'zgaruvchiga mos keluvchi mohiyat $M(X)$ ni beradigan semantik qoida, ya'ni universal to'plam U ning noaniq ostto'plami.

Sintaksik qoida G natijasida berilgan aniq nom X term deb ataladi. Doimo bir-birini o'rnida qo'llaniladigan bir yoki bir nechta so'zlardan tashkil topadigan term *atomar term* deb ataladi. Bir yoki bir nechta atomar termlardan tashkil topgan term *tarkibiy term* deyiladi. Tarkibiy termning bir nechta komponentlari kompetensiyasi (ya'ni tarkibiy term komponentlari zanjirini qo'shib yozish natijasi) ostterm hisoblanadi. Bu erda $X_1, X_2 - T = X_1 + X_2 + \dots$ dagi termlar.

$M(X)$ -term mohiyati noaniq o'zgaruvchi X bilan belgilanadigan asosiy o'zgaruvchi u ga qo'yilgan chegaralanish $R(x;u)$ kabi aniqlanadi:

$$M(X) \triangleq R(x;u), \quad (1.2.52)$$

o'z navbatida $R(x;u)$ va $M(x)$ ni X nomga ega bo'lgan U to'plamning noaniq ostto'plamlari sifatida qarash mumkin.

Vazifa tenglamasi (lingvistik o'zgaruvchi holatida) G grammatika bilan berilgan $T(x)$ nomdagi X -term ko'rinishini qabul qiladi va bundan X termga berilgan mohiyat quyidagi tenglik bilan ifodalanishi kelib chiqadi:

$$M(X) = R(T(x)\text{dagi term}). \quad (1.2.53)$$

Boshqa so'z bilan aytganda X termning mohiyati, (1.2.53) tenglamaning o'ng qismiga muvofiq X termga berilgan qiymatga nisbatan semantik qoida M ni qo'llash yo'li bilan olinadi. Bundan tashqari, (1.2.52) ifodadan $M(x)$ qiymat X term bilan belgilangan bir xil chegaralanish ekanligi kelib chiqadi.

Shuni alohida ta'kidlab o'tish joizki, $T(x)$ dagi elementlar soni cheksiz bo'lishi mumkin bo'lib, $T(x)$ to'plam elementlari natijasi va ularning mohiyatini hisoblash uchun term-to'plam elementlarini ko'rib chiqish amalini emas, balki algoritmi qo'llash zarur.

Agar lingvistik o'zgaruvchining term-to'plami $T(x)$ va to'plamning har bir elementiga mos mohiyatni beruvchi funksiya M ni algoritmik tarzda berish mumkin bo'lsa, unda ushbu lingvistik o'zgaruvchini strukturalangan deyishimiz mumkin. Ushbu fikrdan kelib chiqqan holda, strukturalangan lingvistik o'zgaruvchi bilan bog'liq bo'lgan sintaksik va semantik qoidalarga mos ravishda $T(x)$ to'plam elementlari natijasi va $T(x)$ dagi har bir term uchun mohiyatni hisoblash amallarining algoritmlari sifatida qarash mumkin.

Biroq, amaliyotda kam sonli termlardan tashkil topgan term-to'plamlar bilan ishlashga to'g'ri keladi va bunda $T(x)$ term-to'plam elementlarini shunchaki sanab chiqish hamda har bir element va uning mohiyati o'rtasidagi to'g'ridan-to'g'ri moslikni o'rnatish maqsadga muvofiqdir.

1.2.6. Noaniq arifmetika

Noaniq sonlar va ular bilan amalga oshiriladigan amallar. Dastlab noaniq sonlar va ular ustida bajariladigan amallarning asosiy ta'riflarini ko'rib chiqamiz [30,32-34].

Ta'rif. Noaniq son. Noaniq son A – bu $\mu_A : R \rightarrow [0,1]$ tegishlilik funksiyasi bilan xarakterlanadigan noaniq to'plamdir. Noaniq son A quyidagicha keltirilishi mumkin

$$A = \int_R \frac{\mu_A(x)}{x}, \quad (1.2.54)$$

bu yerda $\int$ – haqiqiy sonlarni noaniq to‘plam A ga kiritish belgisi.

Ta’rif. Noaniq sonning qavariqligi. Agar $x, y, z \in R$ va $x \leq y \leq z$ haqiqiy sonlar uchun quyidagi shart o‘rinli bo‘lsa, unda noaniq son A haqiqiy to‘g‘ri chiziqda qavariq bo‘ladi:

$$\mu_A(y) \geq \min(\mu_A(x), \mu_A(z)). \quad (1.2.55)$$

Ta’rif. Noaniq sonning me’yoriyligi. Agar $\max_x \mu_A(x) = 1$ bo‘lsa, noaniq son A haqiqiy o‘qda me’yoriy son deyiladi.

Ta’rif. Noaniq sonlar chegarasi. Agar A sonlar uchun quyidagi munosabatlar bajarilsa,

$$\forall \delta \mu_A = 0; \mu(a - \delta) = 0, \mu(a + \delta) = 0, \quad (1.2.56)$$

unda u *tegishlilik funksiyasining chegarasi* deyiladi. Agar bunday chegaralar ikkita: yuqori (b) va quyi (a) bo‘lsa, unda noaniq sonni quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$A = \int \frac{\bar{a}x - a}{x} + \int \frac{b - x}{\bar{a}x} \quad (1.2.57)$$

Umumlashtirish tamoyili. Haqiqiy sonlar o‘qi R da A va B noaniq sonlar berilgan bo‘lsin. Quyidagi ifodadan foydalanib, A va B sonlar usti $*$ amalini bajarish mumkin:

$$A * B = \int_R \frac{\min(\mu_A(x), \mu_B(y))}{(x * y)} \quad (1.2.58)$$

Gipotetik $*$ amali o‘rniga arifmetik $+, -, \times, \div$ ni qo‘llab, A va B noaniq sonlar ustida to‘rtta arifmetik amallarni bajarish mumkin:

$$A + B = \int_R \frac{\min(\mu_A(x), \mu_B(y))}{(x + y)}, \quad (1.2.59)$$

$$A - B = \int_R \frac{\min(\mu_A(x), \mu_B(y))}{(x - y)}, \quad (1.2.60)$$

$$A \times B = \int_R \frac{\min(\mu_A(x), \mu_B(y))}{(x \times y)}, \quad (1.2.61)$$

$$A \div B = \int_R \frac{\min(\mu_A(x), \mu_B(y))}{(x : y)}. \quad (1.2.62)$$

(1.2.57) dan foydalanib, quyidagi ifodani hosil qilish mumkin:

$$A * B = \left(\int_a^a \frac{\mu_A(x)}{x} + \int_a^b \frac{\mu_A(x)}{x} \right) * \left(\int_a^a \frac{\mu_B(x)}{x} + \int_b^b \frac{\mu_B(x)}{x} \right) = \int_a^{\sigma^a b} \frac{\mu_{A*B}(x)}{x} + \int_{\sigma^a b}^b \frac{\mu_{A*B}(x)}{x}, \quad (1.2.63)$$

bu yerda a'', b'' lar ma'lum amaldan kelib chiqqan holda a, b, a', b' dan olinadi; $\mu_{A*B}(x)$ ma'lum amal va me'yorlashtirish μ ga bog'liq tarzda aniqlanadi. $A + B$ ni hisoblaymiz:

$$A + B = \left(\int_a^a \frac{\mu_A(x)}{x} + \int_a^b \frac{\mu_A(x)}{x} \right) * \left(\int_a^a \frac{\mu_B(x)}{x} + \int_b^b \frac{\mu_B(x)}{x} \right) = \int_a^c \frac{\mu_C(x)}{x} + \int_c^b \frac{\mu_C(x)}{x} = C. \quad (1.2.64)$$

$$\bar{c} = \bar{a} + \bar{b}, \quad a'' = a + a', \quad b = b + b'. \quad (1.2.65)$$

bu yerda μ_C ni $\mu_C = k_1 x + k_2$ ko'rinishida aniqlaymiz. Me'yorlashtirishdan kelib chiqqan holda $a'' \leq x \leq \bar{c}$ uchun yozamiz:

$$A + B = \int_{a''}^c \left(\left(\frac{x - a''}{\bar{c} - a''} \right) / x \right) + \int_c^b \left(\left(\frac{b'' - x}{b'' - c} \right) / x \right) = C. \quad (1.2.66)$$

Qolgan arifmetik amallar uchun ham shunga o'xshash tarzda quyidagilarni olish mumkin [4]:

$$A - B = \int_{a''}^c \left(\left(\frac{x - a''}{\bar{c} - a''} \right) / x \right) + \int_c^b \left(\left(\frac{b'' - x}{b'' - c} \right) / x \right) = C, \quad (1.2.67)$$

$$\text{bu yerda} \quad a'' = a - b', \quad b'' = b - a', \quad \bar{c} = \bar{a} + \bar{b}. \quad (1.2.68)$$

Tegishlilik funksiyasini $\mu_C = k_1 \sqrt{x} + k_2$ ko'rinishida qabul qilib, quyidagini hosil qilamiz:

$$A \times B = \int_{a''}^c \left(\left(\frac{\sqrt{x} - \sqrt{a''}}{\sqrt{c} - \sqrt{a''}} \right) / x \right) + \int_c^b \left(\left(\frac{\sqrt{b''} - \sqrt{x}}{\sqrt{b''} - \sqrt{c}} \right) / x \right) = C, \quad (1.2.69)$$

$$\text{bu yerda} \quad a'' = a \times d', \quad b'' = b \times b', \quad \bar{c} = \bar{a} \times \bar{b}. \quad (1.2.70)$$

Tegishlilik funksiyasi μ_C ni $\mu_C = \frac{k_1}{x} + k_2$ ko'rinishida qabul qilib, quyidagini hosil qilamiz:

$$A : B = \int_{a''}^c \left(\left(\frac{(x - a'')\bar{c}}{(\bar{c} - a'')x} \right) / x \right) + \int_c^b \left(\left(\frac{(b'' - x)\bar{c}}{(b'' - c)x} \right) / x \right) = C, \quad (1.2.71)$$

$$\text{bu yerda} \quad a'' = d' : a, \quad b'' = b' : b, \quad \bar{c} = \bar{b} : \bar{a}. \quad (1.2.72)$$

Misollar.

$$A = \text{taqribiy } 6 = \widetilde{6}; \quad B = \text{taqribiy } 8 = \widetilde{8},$$

$$\widetilde{6} = \int_5^6 \frac{(x-5)}{x} + \int_6^7 \frac{(7-x)}{x};$$

$$x = 5 \text{ bo'lganda : } \tilde{6} \Big|_{x=5} = \int_5^6 (x-5) \Big|_{x=5} = 5 - 5 = 0;$$

$$x = 5,5 \text{ bo'lganda : } \tilde{6} = \int_5^6 (x-5) \Big|_{x=5,5} = 5,5 - 5 = 0,5;$$

$$x = 6 \text{ bo'lganda : } \tilde{6} \Big|_{x=6} = 6 - 5 = 1;$$

$$x = 6,5 \text{ bo'lganda : } \tilde{6} \Big|_{x=6,5} = \int_6^7 (7-x) \Big|_{x=6,5} = 7 - 6,5 = 0,5;$$

$$x = 7 \text{ bo'lganda : } \tilde{6} \Big|_{x=7} = 7 - 7 = 0.$$

$$\text{Natija, } \tilde{6} = \left\{ \frac{0}{5}; \frac{0,5}{5}; \frac{1}{6}; \frac{0,5}{6,5}; \frac{0}{7} \right\}.$$

$x=6,7,8,9$ va 10 bo'lganda $\tilde{8}$ uchun yuqoridagiga o'xshash tarzda quyidagini olamiz:

$$\tilde{8} = \left\{ \frac{0}{6}; \frac{0,5}{7}; \frac{1}{8}; \frac{0,5}{9}; \frac{0}{10} \right\}.$$

Noaniq sonlarning grafiklari 1.2.21-rasmda keltirilgan. Bu sonlarning yuqori, quyi chegaralari va uchlari quyidagicha: $\tilde{6}$ uchun $a=5$, $b=7$, $\bar{a}=6$; $\tilde{8}$ uchun $a'=6$, $b'=10$, $\bar{b}=8$. $\tilde{6}$ va $\tilde{8}$ ustida bajariladigan barcha to'rt amal quyida keltirilgan.

Qo'shish. Dastlab (1.2.65) ga muvofiq, $(\tilde{6} + \tilde{8})$ yig'indining chegaralari va uchlarini hisoblaymiz: $a'' = a + a' = 5 + 6 = 11$; $b'' = b + b' = 7 + 10 = 17$; $\bar{c} = \bar{a} + \bar{b} = 6 + 8 = 14$. (1.2.66) ni e'tiborga olgan holda quyidagicha yozish mumkin:

$$\tilde{6} + \tilde{8} = \int_{11}^{14} \left(\left(\frac{x-11}{3} \right) / x \right) = \int_{14}^{17} \left(\left(\frac{17-x}{3} \right) / x \right) = 1\tilde{4}.$$

Turli xil $x : x = 12,5$; $x = 15,5$ larda $1\tilde{4}$ ni hisoblab, $1\tilde{4} = \left\{ \frac{0}{11}; \frac{0,5}{12,5}; \frac{1}{14}; \frac{0,5}{15,5}; \frac{0}{17} \right\}$ ni olish mumkin. Uning grafigi 1.2.21-rasmda tasvirlangan.

Ayirish. (1.2.68) ga muvofiq $\bar{8}-\bar{6}$ ayirmaning chegaralari va uchlari $a''=a'-a=6-5=1$, $b''=b'-b=10-7=3$; $\bar{c}=\bar{b}-\bar{a}=8-6=2$ kabi aniqlanadi.

(1.2.68) ni hisobga olgan holda $\bar{8}-\bar{6}=\int_1^2((\frac{x-1}{3-2})/x)+\int_2^1((\frac{3-x}{3-2})/x)=\bar{2}$ ni hosil qilish mumkin.

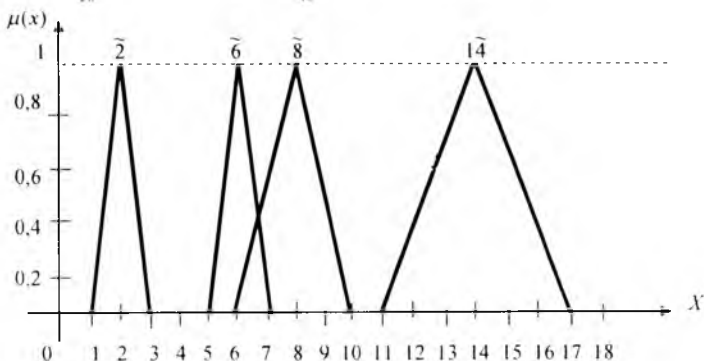
Tegishlilik funksiyasining $x=1,5$ va $x=2,5$ nuqtalardagi qiymatlari mos ravishda 0,5 va 0,5.

Unda $\bar{2}=\left\{\frac{0}{1}, \frac{0,5}{1,5}, \frac{1}{2}, \frac{0,5}{2,5}, \frac{0}{3}\right\}$ bo'lib, u 1.2.21-rasmda grafik tarzda keltirilgan.

Ko'paytirish. (1.2.70) ifoda orqali chegara va uchlarni aniqlaymiz: $\bar{6} \times \bar{8} : a''=a \times a'=5 \times 6=30$; $b''=b \times b'=7 \times 10=70$;
 $\bar{c}=\bar{a} \times \bar{b}=6 \times 8=48$.

(1.2.69) ni hisobga olgan holda tegishlilik funksiyasi $M_{6 \times 8}$ ni quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{aligned}\bar{8} \times \bar{6} &= \int_{30}^{133}((\frac{\sqrt{x}-\sqrt{30}}{\sqrt{48}-\sqrt{30}})/x)+\int_{48}^{70}((\frac{\sqrt{70}-\sqrt{x}}{\sqrt{70}-\sqrt{48}})/x)= \\ &= \int_{20}^{133}((\frac{\sqrt{x}-5,48}{1,75})/x)+\int_{48}^{70}((\frac{0,37-\sqrt{x}}{1,44})/x)=\bar{48}.\end{aligned}$$



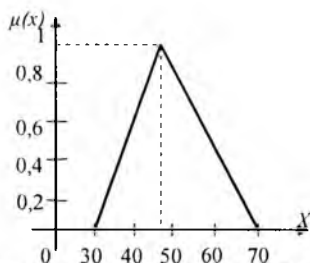
1.2.21-rasm. Noaniq sonlar:

TAQRIBAN 2; TAQRIBAN 6; TAQRIBAN 8; TAQRIBAN 14.

Tegishlilik funksiyasining $x=34$; $x=39$; $x=53$; $x=58$ nuqtalardagi qiymatlari mos ravishda 0,24; 0,53; 0,76; 0,52. Shunga ko'ra:

$$\tilde{6} \times \tilde{8} = \left\{ \frac{0}{30}, \frac{0,24}{34}, \frac{0,53}{39}, \frac{0,8}{44}, \frac{1}{48}, \frac{0,76}{53}, \frac{0,52}{58}, \frac{0,26}{64}, \frac{0}{70} \right\} = \tilde{48},$$

va uning grafigi 1.2.22-rasmda keltirilgan.



1.2.22-rasm. Noaniq son: TAQRIBAN 48.

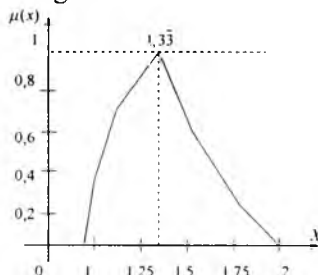
Bo'lish. (1.2.22) ga muvofiq $\tilde{8}$ ni $\tilde{6}$ ga bo'lish natijasining chegaralari va uchlari $a'' = a : b = 6 : 7 = 0,86$; $b'' = b : a' = 10 : 5 = 2,0$; $\bar{c} = \bar{b} : \bar{a} = 8 : 6 = 1,33$. Tegishlilik funksiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} \tilde{8} : \tilde{6} &= \int_{0,86}^{1,33} \left(\frac{(x - 0,86) \cdot 1,33}{(1,33 - 0,86) \cdot x} \right) / x + \int_{1,33}^{2,0} \left(\frac{(2,0 - x) \cdot 1,33}{(2,0 - 1,33) \cdot x} \right) / x = \\ &= \int_{0,86}^{1,33} \left(\frac{(x - 0,86) \cdot 1,33}{0,47 \cdot x} \right) / x + \int_{1,33}^{2,0} \left(\frac{(2,0 - x) \cdot 1,33}{0,67 \cdot x} \right) / x = \tilde{1,33}. \end{aligned}$$

Tegishlilik funksiyasining $x=1,0$; $x=1,4$; $x=1,55$; $x=1,77$ nuqtalardagi qiymatlarini hisoblab, mos ravishda 0,39; 0,70; 0,60; 0,26 qiymatlarni olish va quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$\tilde{8} : \tilde{6} = \left\{ \frac{0}{0,86}, \frac{0,39}{1,0}, \frac{0,70}{1,14}, \frac{1}{1,33}, \frac{0,60}{1,55}, \frac{0,26}{1,77}, \frac{0}{2,0} \right\}.$$

Bu natija 1.2.23-rasmda grafik tarzda aks ettirilgan.



1.2.23-rasm. TAQRIBAN 1,33 noaniq soni.

Quyida noaniq sonlar ustida amalga oshiriladigan boshqa usullar ko'rib chiqiladi. U usullar umumlashtirish tamoyili asosidagi amallar bilan solishtirganda ancha sodda hisoblashlar bilan farqlanuvchi darajali to'plamlardan foydalanishga asoslangan [26,31,34]. Bunda qo'shimcha ravishda quyidagi ta'rifdan foydalanish zarur [34]: agar $(x_1 \rangle y_1, x_2 \rangle y_2) \Rightarrow x_1 * x_2 \rangle y_1 * y_2$ bo'lsa, R ustidagi $*$ binar amal *o'sib boruvchi amal* deyiladi. Agar $(x_1 \rangle y_1, x_2 \rangle y_2) \Rightarrow x_1 * x_2 \langle y_1 * y_2$ bo'lsa, $*$ amal *kamayuvchi amal* deyiladi.

Agar A va B noaniq sonlar μ_A va μ_B tegishlilik funksiyalari bilan berilgan bo'lsa, unda ular ustida $*$ umumlashtirish amali bajarish natijasi quyidagi tegishlilik funksiyasi bilan beriladigan $C = A * B$ noaniq sonidir:

$$\mu_C(z) = \sup_{z=x*y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)). \quad (1.2.73)$$

Barcha to'rtta arifmetik amallarni quyidagi tarzda keltirish mumkin:

Qo'shish.

$$\mu_{A+B}(z) = \sup_{z=x+y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) = \sup_x \min(\mu_A(x), \mu_B(z-x)). \quad (1.2.74)$$

Ayirish.

$$\mu_{A-B}(z) = \sup_{z=x-y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) = \sup_x \min(\mu_A(x), \mu_B(z-x)). \quad (1.2.75)$$

Ko'paytirish.

$$\mu_{A \cdot B}(z) = \sup_{z=x \cdot y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) = \sup_x \min(\mu_A(x), \mu_B(z:x)), \quad x \neq 0, \quad (1.2.76)$$

Bo'lish.

$$\begin{aligned} \mu_{A:B}(z) &= \sup_{z=x:y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) = \sup_x \min(\mu_A(x), \mu_B(z:x)) = \\ &= \sup_x \min(\mu_A(x/z), \mu_B(y)). \end{aligned} \quad (1.2.77)$$

Agar A va B noaniq sonlarni quyidagi ko'rinishda keltirish mumkin bo'lsa,

$$A = \left\{ \frac{\omega_1}{x_{11}}, \frac{\omega_2}{x_{21}}, \frac{\omega_l}{x_{l1}} \right\}, \quad B = \left\{ \frac{\omega_1}{y_{11}}, \frac{\omega_2}{y_{21}}, \frac{\omega_l}{y_{l1}} \right\},$$

unda ular ustida bajariladigan $*$ umumlashtirish amali natijasi noaniq son bo'ladi:

$$C = A * B = \left\{ \frac{\omega_1}{(x_{11} * y_{11})}; \frac{\omega_2}{(x_{21} * y_{21})}; \frac{\omega_i}{(x_{i2} * y_{i2})} \right\}. \quad (1.2.78)$$

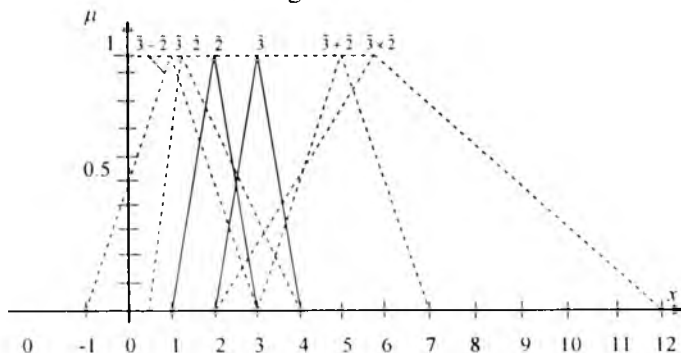
Bu * amali o'suvchi yoki kamayuvchi bo'lganda o'rinli. Ayirish va bo'lish amallari bunday emas, ammo ularni quyidagicha yozish mumkin [34]:

$$A - B = A + (-B); \quad A : B = A \times (B^{-1}). \quad (1.2.79)$$

Misollar.

Ikkita $\tilde{2} = \left\{ \frac{0}{1}; \frac{0,5}{1,5}; \frac{1}{2}; \frac{0,5}{2,5}; \frac{0}{3} \right\}$ va $\tilde{3} = \left\{ \frac{0}{2}; \frac{0,5}{2,5}; \frac{1}{3}; \frac{0,5}{3,5}; \frac{0}{4} \right\}$ noaniq sonlar berilgan.

Quyida ular ustida to'rtta arifmetik amallar (+, -, ×, ÷) bajarilgan. Natijalar 1.2.24-rasmda tasvirlangan.



1.2.24-rasm. Umumlashtirilgan arifmetik amallarni bajarish natijalari.

Qo'shish.

$$\tilde{3} + \tilde{2} = \left\{ \frac{0}{(2+1)}; \frac{0,5}{(2,5+1,5)}; \frac{1}{(3+2)}; \frac{0,5}{(3,5+2,5)}; \frac{0}{(4+3)} \right\} = \left\{ \frac{0}{3}; \frac{0,5}{4}; \frac{1}{5}; \frac{0,5}{6}; \frac{0}{7} \right\}.$$

Ko'paytirish.

$$\tilde{3} \times \tilde{2} = \left\{ \frac{0}{2}; \frac{0,5}{3,75}; \frac{1}{6}; \frac{0,5}{8,75}; \frac{0}{12} \right\};$$

Ayirish.

$$-\tilde{2} = \left\{ \frac{0}{(-3)}; \frac{0,5}{(2,5)}; \frac{1}{(-2)}; \frac{0,5}{(1,5)}; \frac{0}{(-1)} \right\};$$

$$\bar{3} - \bar{2} = \bar{3} + (-\bar{2}) = \left\{ \frac{0}{(2-3)}, \frac{0,5}{(2,5-2,5)}, \frac{1}{3-2}, \frac{0,5}{(3,5-1,5)}, \frac{0}{(4-1)} \right\} = \left\{ \frac{0}{(-1)}, \frac{0,5}{0}, \frac{1}{1}, \frac{0,5}{2}, \frac{0}{3} \right\}.$$

Bo'lish.

$$\begin{aligned} \bar{2}^{-1} &= \left\{ \frac{0}{(1:1)}, \frac{0,5}{(1:1,5)}, \frac{1}{(1:2)}, \frac{0,5}{(1+2,5)}, \frac{0}{(1:3)} \right\} = \\ &= \left\{ \frac{0}{1}, \frac{0,5}{0,66}, \frac{1}{0,5}, \frac{0,5}{0,4}, \frac{0}{0,33} \right\} = \left\{ \frac{0}{0,33}, \frac{0,5}{0,4}, \frac{1}{0,5}, \frac{0,5}{0,66}, \frac{0}{1} \right\}. \\ \bar{3} : \bar{2} &= \bar{3} \times (2)^{-1} = \left\{ \frac{0}{0,66}, \frac{0,5}{1}, \frac{1}{1,5}, \frac{0,5}{2,33}, \frac{0}{4} \right\}. \end{aligned}$$

Qo'shimcha ayirish va bo'lish amallari. Noaniq tenglamalarni yechishda qarama-qarshi va teskari noaniq sonlarni hisoblashga to'g'ri keladi [34]. Yuqorida ko'rib o'tilgan, $A+A'=0$ umumlashtirish tamoyiliga asoslangan amallar qarama-qarshi son A' ($A+A'=0$ bo'ladigan) va teskari son A' ($A \times A'=1$) larni topish imkonini bermaydi. Shuningdek, quyidagi tengsizliklar ham o'rinli

$$(A - B) + B \neq A; (A : B) \times B \neq A.$$

Quyidagi tenglamani aniq yechish uchun qo'shimcha ayirish (- -) va qo'shimcha bo'lish (/) amallaridan foydalaniladi:

$$AX + B = D, \quad (1.2.80)$$

bu yerda A, B, D – noaniq sonlar, X – noma'lum.

Xususiyl holda (1.2.80) ning yechimi quyidagicha:

$$X = D - B. \quad (1.2.81)$$

B va D to'plamlarning tashuvchilari mos ravishda $S_B = [b_1, b_2]$ va $S_D = [d_1, d_2]$ intervallar hisoblanadi. X to'planning qo'shimcha ayirish bilan aniqlanadigan tashuvchisi:

$$S_X = [d_1 - b_1, d_2 - b_2]. \quad (1.2.82)$$

tegishlilik funksiyasi orqali ifodalanishi esa:

$$\mu_X(X) = \inf \begin{cases} 1, & \text{agar } \mu_A(z-x) < \mu_B(z) \text{ bo'lsa} \\ \mu_B(z), & \text{agar } \mu_B(z-x) \geq \mu_B(z) \text{ bo'lsa} \end{cases} \quad (1.2.83)$$

Ayirishning ko'rib chiqilgan amali kamayuvchi tashuvchisi intervali uzunligini ayiriluvchinikidan katta bo'lgan holda aniqlangan.

Qo'shimcha bo'lish. $AX = D$ tenglamaning yechimi $X = D/A$ to'plam bo'ladi. Agar A va D to'plamlar tashuvchilari $S_A = [a_1, a_2]$ va $S_D = [d_1, d_2]$ bo'lsa, unda X to'planning tashuvchisi quyidagicha aniqlanadi:

$$S_X = [d_1, d_2] / [a_1, a_2] = \begin{cases} [d_1 : a_1, d_2 : a_2], & \text{agar } S_A > 0; S_D > 0 \text{ bo'lsa} \\ [d_1 : a_2, d_2 : a_1], & \text{agar } S_A > 0; S_D < 0 \text{ bo'lsa} \\ [d_2 : a_1, d_1 : a_2], & \text{agar } S_A < 0; S_D > 0 \text{ bo'lsa} \\ [d_2 : a_2, d_1 : a_1], & \text{agar } S_A < 0; S_D < 0 \text{ bo'lsa} \end{cases} \quad (1.2.84)$$

yoki tegishlilik funksiyasi bo'yicha:

$$\mu_X(X) = \inf_t \begin{cases} 1, & \text{agar } \mu_A(\frac{t}{X}) < \mu_D(t) \text{ bo'lsa} \\ \mu_D(t), & \text{agar } \mu_A(\frac{t}{X}) \geq \mu_D(t) \text{ bo'lsa} \end{cases} \quad (1.2.85)$$

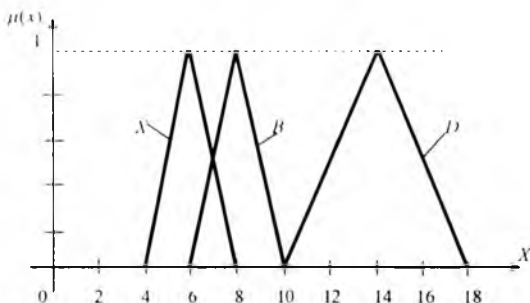
Bu amal ixtiyoriy A va D noaniq sonlar uchun emas, balki interval-tashuvchilari ma'lum shartlarni qanoatlantiruvchi sonlar uchun aniqlangan [34].

Misollar. Tegishlilik funksiyasi 1.2.25-rasmda tasvirlangan quyidagi tenglamani

$$B = \tilde{8} = \left\{ \frac{0}{6}; \frac{0,5}{7}; \frac{1}{8}; \frac{0,5}{9}; \frac{0}{10} \right\} \text{ va } D = I\tilde{4} = \left\{ \frac{0}{10}; \frac{0,5}{12}; \frac{1}{14}; \frac{0,5}{16}; \frac{0}{18} \right\} \text{ bo'lganda}$$

yeching:

$$X + B = D. \quad (1.2.86)$$



1.2.25-rasm. Qo'shimcha ayirish amali uchun to'plamlarning tegishlilik funksiyalari.

B va D lar uchun interval-tashuvchilar $S_B = [6, 10]$; $S_D = [10, 18]$ bo'ladi. (1.2.82) ga muvofiq $S_X = [4, 8]$. (1.2.83) formulaga muvofiq, 1.2.26-rasmda grafigi tasvirlangan $\mu_X(X)$ tegishlilik funksiyasini aniqlash mumkin.

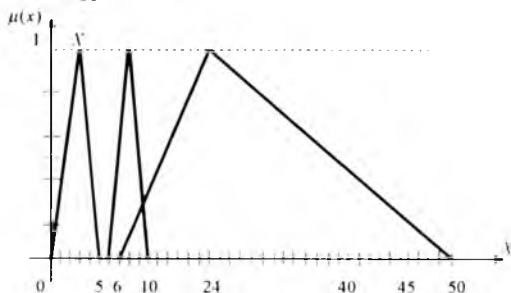
Mos ravishda $X = \left(\frac{0}{4}; \frac{0,5}{5}; \frac{1,0}{6}; \frac{0,5}{7}; \frac{0}{8}\right)$, $A = \tilde{8} = \left\{\frac{0}{6}; \frac{0,5}{7}; \frac{1,0}{8}; \frac{0,5}{9}; \frac{0}{10}\right\}$

va $D = 2\tilde{4} = \left\{\frac{0}{6}; \frac{0,5}{14}; \frac{1,0}{24}; \frac{0,5}{36}; \frac{0}{50}\right\}$ bo'lganda quyidagi tenglamani yeching:

$$AX = D. \quad (1.2.87)$$

Tegishlilik funksiyalari μ_A va μ_B ning tasviri 1.2.26-rasmda keltirilgan. A va D to'plamlarning uchun interval-tashuvchilari $S_A = [6,10]$; $S_D = [6,50]$ bo'ladi. (1.2.84) ga muvofiq $S_X = [6:6,50:10] = [1,5]$.

(1.2.85) dan kelib chiqqan holda, 1.2.26-rasmda keltirilgan tegishlilik funksiyasi $\mu_X(x)$ ning qiymatini aniqlash mumkin.



1.2.26-rasm. Qo'shimcha bo'lish amali uchun to'plamlarning tegishlilik funksiyalari.

Tenglamani yechimi $X = \left\{\frac{0}{1}; \frac{0,5}{2}; \frac{1,0}{3}; \frac{0,5}{4}; \frac{0}{5}\right\}$ hisoblanadi.

LR – turdagi noaniq sonlar. Agar:

1) $L(x) = L(-x)$,

2) $L(0) = 1$,

3) L – $[0, \infty]$ intervalda o'smaydigan bo'lsa, L yoki R orqali belgilanadigan funksiya noma'lum sonning funksiyasi hisoblanadi.

Misollar.

a) $L(x) = \begin{cases} 1, & x \in [-1, 1]; \\ 0, & \text{aks holda;} \end{cases}$

b) $L(x) = \max(0; 1 - |x|^p)$, $p \geq 0$;

v) $L(x) = \theta^{-x^p}$, $p > 0$;

$$g) L(x) = \frac{1}{(1+|x|^p)}, \quad p \geq 0;$$

$$\text{Agar } \mu(x) = \begin{cases} x \leq m, \alpha > 0 \text{ uchun } L(\frac{m-x}{\alpha}); \\ x \geq m, \beta > 0 \text{ uchun } R(\frac{x-m}{\beta}); \end{cases} \quad \text{bo'lsa, } M \text{ noaniq soni}$$

LR – turdagi noaniq son deyiladi. Bu erda L – chap tashkil etuvchi; R – o'ng tashkil etuvchi; m – mos ravishda *chap* va *o'ng tashkil etuvchilar tarqalishining* o'rtacha qiymati deyiladi.

Tarqalish nolga teng bo'lganda M oddiy son hisoblanadi. Tarqalishning oshib borishiga ko'ra M ko'proq noaniq bo'lib boraveradi. L - R turdagi sonning yozilishi: $M = (m, \alpha, \beta)_{LR}$.

L - R turdagi noaniq son bilan algebraik ta'sirlarni ko'rib chiqamiz.

1-teorema [26]. M_k , N – uzluksiz tegishlilik funksiyasiga ega bo'lgan ikkita noaniq son bo'lsin; $*$ – uzluksiz o'sib boruvchi binar amal; $[\lambda_M, \rho_M]$ – M noaniq sonning tegishlilik funksiyasi kamaymaydigan interval ($\lambda_M = \rho_M$ bo'lishi mumkin); $[\lambda_N, \rho_N]$ – N uchun o'xshash interval. chunki $\forall x \in [\lambda_M, \rho_M], \forall y \in [\lambda_N, \rho_N]$ uchun $\mu_{M^*N}(x) = \mu_N(y) = \omega$.

Agar M^*N noaniq to'planning tegishlilik funksiyasi umumlashtirish tamoyiliga binoan uzluksiz tegishlilik funksiyasi bilan aniqlanadigan noaniq son bo'lsa, unda ushbu noaniq sonning tegishlilik funksiyasi ixtiyoriy $t \in [\lambda_{M^*N}, \rho_{M^*N}]$ nuqtada $\mu_{M^*N}(t) = \omega$ formula bo'yicha aniqlanadi.

Noaniq sonlarni qo'shish. $M = (m, \alpha, \delta)_{LR}$ va $N = (n, \gamma, \delta)_{LR}$ noaniq sonlarning o'sib boruvchi qismlarini ko'rib chiqamiz.

x va y yagona moddiy sonlar bo'lsin, unda ular uchun quyidagi o'rinli bo'ladi:

$$L(\frac{m-x}{\alpha}) = \omega = L(\frac{n-y}{\gamma}),$$

bu yerda $\omega \in [0, 1]$ kesmada qayd etilgan kattalik.

Bu quyidagiga ekvivalent:

$$x = m - \alpha L^{-1}(\omega), \quad y = n - \gamma L^{-1}(\omega). \quad (1.2.88)$$

(1.2.88) dan quyidagi ifodalar kelib chiqadi:

$$z = x + y = m + n - (\alpha + \gamma) L^{-1}(\omega) \quad \text{va} \quad L(\frac{m+n-z}{\alpha+\gamma}) = \omega.$$

Xuddi shunday tarzda M va N ning kamayuvchi qismlari uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$R\left(\frac{z - (m + n)}{\beta + \delta}\right) = \omega.$$

Bundan, teoremani hisobga olgan holda quyidagini olamiz:

$$(m, \alpha, \delta)_{LR} \oplus (n, \gamma, \beta)_{LR} = (m + n, \alpha + \gamma, \beta + \delta)_{LR}. \quad (1.2.89)$$

Umumiy holda:

$$(m, \alpha, \delta)_{LR} \oplus (n, \gamma, \beta)_{LR} = (m + n, l, l)_{L^*R^*},$$

bu yerda $L^* = (\alpha L^{-1} + \gamma L^{-1})^{-1}$, $R^* = (\beta L^{-1} + \delta L^{-1})^{-1}$.

Noaniq sonni inkor etish formulasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$-(m, \alpha, \delta)_{LR} = (-m, \beta, \alpha)_{RL}. \quad (1.2.90)$$

Noaniq sonlarni namoyon etayotgan L va R funksiyalarning o'rnini almashtirishini sezishimiz mumkin. (1.2.89) va (1.2.90) ifodalardan ayirish formulasini keltirib chiqarish mumkin:

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} - (-n, \gamma, \delta)_{RL} = (m - n, \alpha + \delta, \beta + \gamma)_{LR}.$$

Ko'paytirish. Oldingi holatga o'xshash tarzda quyidagini hosil qilish mumkin:

$$z = xy = mn + (my + n\alpha)L^{-1}(\omega) + \alpha\gamma(L^{-1}(\omega))^2. \quad (1.2.91)$$

(1.2.91) tenglama $L^{-1}(\omega)$ ga nisbatan ikkinchi tartibli tenglama hisoblanadi va $z \leq \min$ bo'lgan holda bitta musbat ildizga ega. Teoremadan foydalanib, μ_{MON} ko'paytmaning tegishlilik funksiyasi M_{MON} ni aniqlash mumkin. Odatda bu ko'paytma L - R turdagi noaniq son bo'lmaydi. Agar α va β larning qiymati m va n ga nisbatan solishtirganda kichik bo'lsa va (yoki) 1 ning atrofida yotsa, unda $\alpha\gamma(L^{-1}(\omega))^2$ a'zoni e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Bunda tenglama soddalashadi va quyidagi taqribiy formulalarni hosil qilish mumkin:

$$(M > 0, N > 0 \text{ uchun}) (m, \alpha, \beta)_{LR} (n, \gamma, \delta)_{LR} = (mn, my + n\alpha, m\delta + n\beta)_{LR},$$

$$(M < 0, N > 0 \text{ uchun}) (m, \alpha, \beta)_{LR} (n, \gamma, \delta)_{LR} = (mn, n\alpha - m\delta, n\beta - m\gamma)_{LR},$$

$$(M < 0, N < 0 \text{ uchun}) (m, \alpha, \beta)_{LR} (n, \gamma, \delta)_{LR} = (mn, -n\beta - m\delta, -n\alpha - m\gamma)_{LR}.$$

Agar tarqalish o'rtacha qiymat bilan solishtirganda kichik bo'lmasa, unda boshqa taqribiy formulalarni ishlatish mumkin. Masalan, agar $M > 0$ va $N > 0$ bo'lsa,

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} (n, \gamma, \delta)_{LR} = (mn, m\gamma + n\alpha - \alpha\gamma, m\delta + n\beta + \beta\delta)_{LR}.$$

Bu tenglik bilan aniqlanadigan tegishlilik funksiyasi uch nuqta $(m, n, 1)$ da μ bilan mos keladi:

$$[(m-\alpha)(n-\gamma), L(I)] \quad [(m+\beta)(n+\delta), R(I)].$$

Skalyar kattalikka ko'paytirish. Quyidagi formulalar o'rinli:

$$\forall \lambda, \lambda \neq 0 \quad \lambda \in R: \lambda \quad (m, \alpha, \beta)_{LR} = (\lambda m, \lambda \alpha, \lambda \beta)_{LR},$$

$$\forall \lambda, \lambda \neq 0 \quad \lambda \in R: \lambda \quad (m, \alpha, \beta)_{LR} = (\lambda m, -\lambda \alpha, -\lambda \beta)_{LR}.$$

Bo'lish. L - R va R - L turdagi musbat noaniq sonlar uchun quyidagi taqribiy natijalar olingan:

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} \quad (n, \gamma, \delta)_{LR} \approx \left(\frac{m}{\bar{n}}, \frac{\delta m + \alpha n}{n^2}, \frac{\gamma m + \beta n}{n^2} \right)_{LR}.$$

Noaniq sonlarni solishtirish [26,35]. Noaniq sonlarni solishtirishda ikki turdagi savollar yuzaga keladi:

- berilgan noaniq sonlar oilasidan qaysi noaniq qiymat katta (kichik)?

- « $\bar{m}$ ni qiymati $\bar{n}$ dan katta (kichik)» fikrning haqiqiylik qiymati nimaga teng?

Boshqacha so'z bilan aytganda, « $\bar{m}$ ni qiymati $\bar{n}$ dan katta (kichik)» bo'lish imkoniyati qanday?

Birinchi savolga javob berish uchun quyidagi funksiyalarga qo'llanilgan umumlashtirish tamoyilidan foydalanamiz:

$$z(m, n) = \max\{m, n\};$$

$$t(m, n) = \min\{m, n\}.$$

Agar $\mu_1(m)$, $\mu_2(n)$ — $\bar{m}$ va $\bar{n}$ noaniq sonlarning tegishlilik funksiyalari bo'lsa, unda umumlashtirish tamoyiliga binoan quyidagini hosil qilamiz:

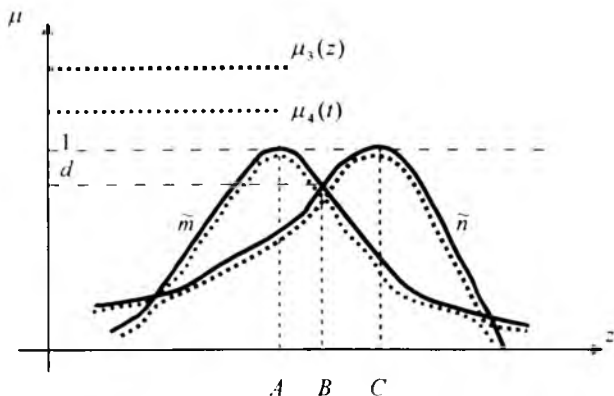
$$\mu_3(z) = \sup_{z = \max\{m, n\}} \min\{\mu_1(m), \mu_2(n)\},$$

$$\mu_4(t) = \sup_{z = \min\{m, n\}} \min\{\mu_1(m), \mu_2(n)\}.$$

μ_3 va μ_4 tegishlilik funksiyali $\bar{z}$ va $\bar{t}$ noaniq to'plamlar qavariq me'yoriy sonlar bo'lib, umuman olganda, $\bar{m}$ va $\bar{n}$ dan yaxshi hisoblanadi (1.2.27-rasm).

Ikkinchi savolga javob berishga harakat qilamiz. “ $\bar{n}$ ni qiymati $\bar{m}$ dan katta (kichik)” fikrning haqiqiylik darajasi $v(\bar{n})\bar{m}$ kabi yoziladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$v(\bar{n})\bar{m} = \max_{n \geq m} \min\{\mu_1\}.$$



1.2.27-rasm. Ikki noaniq sonlarni solishtirish.

1.2.27-rasmida keltirilgan holat uchun quyidagilarni tekshirish murakkab emas:

$$v(\tilde{n})\tilde{m} = \min\{\mu_1(A); \mu_2(B)\} = \min\{1; 1\} = 1,$$

$$v(\tilde{m})\tilde{n} = \min\{\mu_1(C); \mu_2(D)\} = d.$$

d soni $\tilde{m}$ va $\tilde{n}$ sonlarining bir-biridan farqlanish darajasini xarakterlaydi. C nuqta ordinatasi 1 ga qanchalik yaqin bo'lsa, sonlardan qaysi biri katta degan savolga javob berish shunchalik qiyinlashadi.

$\tilde{m}$ va $\tilde{n}$ lar mos ravishda $(L-R)$ va $(R-L)$ turdagi noaniq sonlar $\tilde{m} = (m, \alpha, \beta)$, $\tilde{n} = (n, \gamma, \delta)$ bo'lsin, unda C va d quyidagi tenglamadan topiladi:

$$\frac{(C - m)}{\beta} = \frac{(n - C)}{\gamma},$$

bundan

$$C = \frac{(\beta n + \gamma m)}{(\beta + \gamma)}, \quad d = R\left[\frac{n - m}{\delta + \gamma}\right]. \quad (1.2.92)$$

Shunday qilib, noaniq to'plamning balandligi (cho'qqisi) ikki noaniq sonlar kesishuvi hisoblanadi va 1.2.92-formula bo'yicha aniqlanadi (biz $m(n)$ holatni ko'rib chiqayotganligimizni eslatib o'tamiz). Demak, $\tilde{m}$ va $\tilde{n}$ larni solishtirish uchun ham $v(\tilde{n})\tilde{m}$ ham $v(\tilde{m})\tilde{n}$ belgilar zarur. Agar masalan, $v(\tilde{m})\tilde{n} = 1$ bo'lsa, bu yoki $\tilde{m}$ ni $\tilde{n}$ dan katta ekanligini yoki ikkala noaniq son bir-biridan farqlanadigan, lekin nihoyatda yaqin ekanligini bildiradi. Bunday hollarda τ kabi

chegara qiymatni tanlashga to'g'ri keladi va agar $v(\tilde{n})\tilde{m} \leq \tau$ bo'lsa, $\tilde{m}$ ni $\tilde{n}$ dan τ darajada katta ekanligi kelib chiqadi. Bu $\tilde{m} >_{\tau} \tilde{n}$ kabi belgilanadi. (L-R) turdagi noaniq sonlar uchun qoida quyidagi ko'rinishda aniqlanishi mumkin:

$$\tilde{n} > \tilde{m} \Leftrightarrow n - m \geq \beta + \gamma: (\tau = R(I)),$$

$$m > n \Leftrightarrow m - n \geq \alpha + \delta: (\tau = L(I)),$$

qisqalik talab etilgan joylarda $>_{\tau}$ o'rniga $>$ ishlatilgan. « n katta m dan» uchun boshqa ta'rifni ham keltirish mumkin:

$$\tilde{n} \geq \tilde{m} \Leftrightarrow \max(\tilde{m}, \tilde{n}) = \tilde{n} \text{ va } \min(\tilde{m}, \tilde{n}) = \tilde{m}.$$

Misollar.

1. Agar $n \geq m$ bo'lsa, noaniq son $\tilde{n}$ noaniq son $\tilde{m}$ dan katta:

$$n - \underline{n} \geq m - \underline{m}, \quad (1.2.93)$$

$$n + \bar{n} \geq m + \bar{m}.$$

2. Agar $m \geq n$ bo'lsa, noaniq son $\tilde{m}$ noaniq son $\tilde{n}$ dan kichik:

$$m - \underline{m} \leq n - \underline{n}, \quad (1.2.94)$$

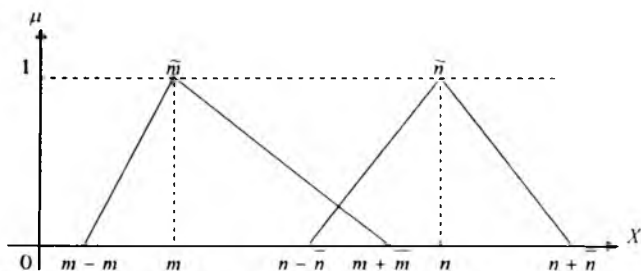
$$m + \bar{m} \leq n + \bar{n}.$$

3. Agar $m = n$ bo'lsa, noaniq son $\tilde{n}$ noaniq son $\tilde{m}$ ga teng:

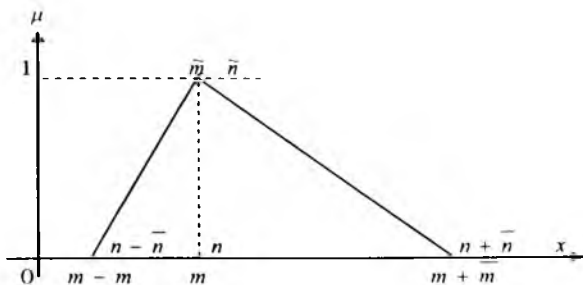
$$n - \underline{n} = m - \underline{m}, \quad (1.2.95)$$

$$n + \bar{n} = m + \bar{m}$$

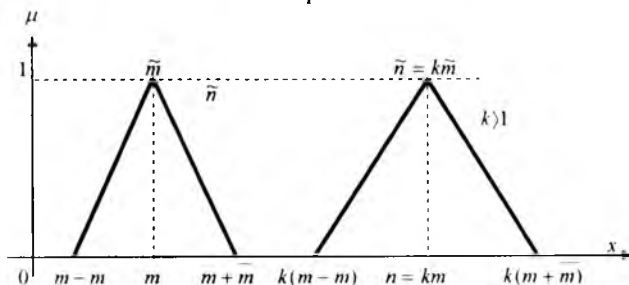
(1.2.28÷1.2.30-rasmlarga qarang).



1.2.28-rasm. Noaniq sonlarni solishtirish.



1.2.29-rasm. Noaniq sonlarni solishtirish.



1.2.30-rasm. Noaniq sonlarni solishtirish.

Misollar. ($L-R$) turidagi ikkita noaniq sonlar berilgan:

- a) $A = (1,5,2)_{LR}$, $B = (3,8,4)_{LR}$,
- b) $A = (8,10,6)_{LR}$, $B = (6,9,5)_{LR}$,
- c) $A = (20,35,30)_{LR}$, $B = (18,20,25)_{LR}$,
- d) $A = (4,7,6)_{LR}$, $B = (8,10,5)_{LR}$,
- e) $A = (2,8,6)_{LR}$, $B = (4,8,6)_{LR}$.

Bu sonlarni qo'shish, ayirish, ko'paytirish va bo'lish amallari bajarilsin.

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) $(6,16,12)_{LR}$,	$(-2,14,14)_{LR}$,	$(8,48,36)_{LR}$,	$(0.5,2.75,2.5)_{LR}$.

1.2.7. Noaniq mantiq

Noaniq mantiqning asosiy turlari va xossalari [30,36,37]. Eng keng tarqalgan ta'riflardan biriga muvofiq, mantiq fikrlash usullarini tahlil qilishdir. Ushbu usullarni o'rganishda, mantiqda birinchi navbatda u yoki bu fikrlardagi dalillarning tarkibi emas, ularning shakli muhim o'rin tutadi. Alohida qo'yim yoki xulosalarning haqiqiyligi yoki yolg'onligi mantiqni qiziqtirmaydi. U faqatgina xulosaning haqiqiyligi qo'yimlarning haqiqiyligidan kelib chiqishi yoki chiqmasligi qiziqtiradi. Fikrlashning to'g'ri usullarini tizimli shakllantirish va kataloglashtirish – mantiqning asosiy masalalaridan biridir.

Mantiqda oddiy mulohazalardan ularni turli usullar bilan qo'shish orqali murakkabroq mulohazalarni keltirib chiqarish mumkin. Kelgusida biz faqatgina bitta haqiqiy-funksional kombinatsiyani ko'rib chiqamiz, unga ko'ra yangi mulohazalarning haqiqiyligi yoki yolg'onligi tarkibiy mulohazalarning haqiqiyligi yoki yolg'onligidan kelib chiqadi.

Mulohazalar ustida olib boriladigan eng sodda amallardan biri *inkor etish*dir. Masalan, agar A mulohaza bo'lsa, unda A ni inkor etish $\neg A$ kabi belgilanadi va " A emas" deb o'qiladi.

Mulohazalar ustida olib boriladigan haqiqiy-funksional amallardan boshqasi VA *mantiqiy ko'paytirish* (*kon'yunksiya*) amali bo'lib, $A \& B$ kabi belgilanadi. Mulohaza faqat va faqatgina ikkala mulohaza A va B haqiqiy bo'lgandagina haqiqiy bo'ladi.

A va B mulohazalar ustidagi *mantiqiy qo'shuv* (*diz'yunksiya*) amali YOKI bog'lovchisiga to'g'ri keladi va $A \vee B$ kabi belgilanadi. Odatdagi tilda YOKI bog'lovchisi ikki: ayiruvchi va bog'lovchi ma'nolarda ishlatiladi. Mantiqiy amallarda esa bog'lovchi ma'nosini bildiradi.

Keyingi haqiqiy-funksional amal *o'tish*dir: AGAR A bo'lsa, UNDA B . A haqiqiy bo'lib, xulosa B esa yolg'on bo'lganda berilgan mulohaza yolg'on bo'ladi. AGAR A bo'lsa, UNDA B ning belgilanishi: $A \subset B$. Bu ifoda *implikatsiya* deyiladi.

«Qachon va faqat qachonki B bo'lsa A » ifodasi odatda $A \equiv B$ orqali ifodalanadi. Bunday ifoda *ekvivalentlik* deyiladi. Ravshanki, $A \equiv B$ haqiqiy bo'lishi uchun faqat va faqatgina A va B haqiqiy qiymatlarga ega bo'lishi kerak.

Quyida mulohazalar ustida bajariladigan barcha amallarning haqiqiylik jadvali keltirilgan.

A	V	$\neg A$	$A \& B$	$A \vee B$	$A \supset B$	$A \equiv B$
H	H	YO	H	H	H	H
YO	H	H	YO	H	H	YO
H	YO	YO	YO	H	YO	YO
YO	YO	H	YO	YO	H	H

$\&, \vee, \supset, \equiv$ belgilar *propozitsional bog'lovchilar* deyiladi. Ushbu bog'lanishlar yordamida tuzilgan har qanday mulohaza uni tashkil etuvchi mulohazalarning haqiqiylik qiymatlariga bog'liq holda bir oz haqiqiy qiymatga ega bo'ladi. *Propozitsional shakl* deb propozitsional bog'lanishlardan yordamida A, B, C va shu kabi propozitsional harflardan tuzilgan ifodaga aytiladi.

Har qanday propozitsional shakl grafik tarzda haqiqiylik jadvali ko'rinishida ifodalanadigan biror bir haqiqiylik funksiyasini belgilab beradi. n argumentlarning *haqiqiylik funksiyasi* deb, argumentlari hamda o'zi H (haqiqiy) va YO (yolg'on) haqiqiylik qiymatlarini qabul qiluvchi funksiyalarga aytiladi.

Propozitsional harflari qanday qiymatlarni qabul qilishidan qat'iy nazar haqiqiy bo'lgan propozitsional shakllar *tavtologiya* deyiladi. Faqat va faqatgina mos keluvchi funksiyasi VA qiymatni qabul qiluvchi propozitsional shakl *tavtologiya* hisoblanadi.

Masalan, quyidagilar propozitsional tavtologiya hisoblanadi:

1) $\neg(A \& \neg A)$ – qarshi fikrni inkor etish qonuni;

2) $((A \vee B) \rightarrow (\neg A \rightarrow B))$ va $(\neg B \rightarrow A)$ – inkor etish va implikasiya orqali berilgan diz'yunksiya ifodasi.

3) $((A \rightarrow B) \& A) \rightarrow B$.

O'z navbatida, propozitsional harflarining barcha mumkin bo'lgan haqiqiylik qiymatlarida yolg'on bo'lgan propozitsional shakl *qarama-qarshilik* (ziddiyat) deyiladi, masalan, propozitsional shakl $(A \equiv \neg A)$ yoki $(A \& (\neg A))$.

Shuni ta'kidlab o'tish kerak-ki, implikasiya *bo'lish qoidasi* (modus-ponens) deb ataladigan muhim xossaga ega: AGAR $(A \rightarrow B)$ haqiqiy va A haqiqiy bo'lsa, UNDA B haqiqiy. Boshqacha aytganda, bu qoida *gipotetik sillogizmning birinchi shakli* deb ataladi. Sillogizm

deganda ikki fikrning zaruri natijasi bo'lgan uchinchi bir deduktiv aqliy xulosa tushuniladi. Bu xossa murakkab texnologik jarayonlarni modellashirishda muhim rol o'ynaydi.

Shu paytgacha qadar binar (bul) mantiq ko'rib chiqildi. Mantiq fikrlashning asosi sifatida uchta tashkil etuvchi: haqiqiylikning qiymati; operator; xulosa amallari bilan farqlanadi.

Noaniq mantiqning ta'rif. Noaniq mantiq haqiqiylikning qiymati lingvistik o'zgaruvchi bo'lgan nazariy-to'plamli ko'p o'lchamli mantiqning kengaygan shaklidir.

Noaniq mantiqda $\vee, \neg, \wedge, \rightarrow$ turdagi operatorlar ham haqiqiylik jadvalidan foydalanib (ya'ni Zodaning kengayish tamoyilini qo'llab) aniqlanadi.

Ushbu mantiqda haqiqiylik fazosi haqiqiy interval $[0,1]$ hisoblanadi. *Ko'p qiymatli yoki noaniq* deb nomlanadigan ushbu mantiq noaniq to'plamlar nazariyasiga asoslanadi. Ko'p qiymatli mantiq haqiqiylikning semantik funksiyasini ta'riflaymiz. P mulohaza, $v(P)$ esa uning haqiqiylik qiymati bo'lsin, unda $v(P) \in [0,1]$.

P mulohaza uchun inkor etish qiymati $v(\neg P) = 1 - v(P)$ kabi aniqlanadi. Bundan, $v(\neg \neg P) = v(P)$.

Aloqa-implikatsiyasi $\rightarrow$ doimo quyidagicha aniqlanadi:

$$v(P \rightarrow Q) = v(\neg P \vee Q),$$

ekvivalentlik esa

$$v(P \leftrightarrow Q) = v[P \rightarrow Q \wedge (Q \rightarrow P)]$$

Ularning ajratuvchi diz'yunksiyasi, inkor etish yoki Sheffer aloqasi $/, \downarrow$ va $\rightarrow$ inkor etishlar kon'yunksiyasi (umumiy nomga ega emas) mos ravishda ekvivalentlik inkori $\leftrightarrow$, kon'yunksiya $\wedge$, diz'yunksiya $\vee$ va $\rightarrow$ implikatsiya kabi aniqlanadi. Tavtologiya va qarama-qarshilik mos ravishda quyidagicha bo'ladi:

$$v(P) = v(P \vee \neg P), \quad v(P) = v(P \wedge \neg P)$$

Umumiy holda:

$$v(PQ) = v((P \vee \neg P) \vee (Q \vee \neg Q)), \quad v(PQ) = v((P \wedge \neg P) \wedge (Q \wedge \neg Q))$$

Noaniq mantiqning asosiy bog'lanishlarini eng ko'p uchraydigan ikkita noaniq to'plamlar nazariyasida aniqlaymiz.

$(\mathcal{R}(x), \cup, \cap, -)$ ga asoslangan mantiq. Bu holda diz'yunksiya va kon'yunksiya quyidagicha aniqlanadi:

$$v(P \vee Q) = \max(v(P), v(Q)), v(P \wedge Q) = \min(v(P), v(Q))$$

$\wedge$ va $\vee$ – kommutativ, assotsiativ, idempotent, distributiv va uchinchisini istisno qilish qoidasini qanoatlantirmasligi aniq, ya'ni $v(P \vee \neg P) \neq 1$ va $v(P \wedge \neg P) \neq 1$, lekin singdirish qonunini qanoatlantiradi:

$$v((P) \vee (P \wedge Q)) = v(P); (v((P) \wedge (P \vee Q))) = v(P),$$

shuningdek De-Morgan qonunini ham:

$$v(\neg(P \wedge Q)) = v(\neg P \vee \neg Q); v(\neg(P \vee Q)) = v(\neg P \wedge \neg Q).$$

Ekvivalentlik quyidagicha aniqlanadi:

$$v[(\neg(P \vee Q) \wedge (P \vee \neg Q))] = v[(P \wedge Q) \vee (\neg P \wedge \neg Q)].$$

Diz'yunksiyalarni istisno qilish qonuni:

$$v[(\neg(P \wedge Q) \vee (P \wedge \neg Q))] = v[(P \vee Q) \wedge (\neg P \vee \neg Q)].$$

Bu yerda $(p)=p$ va $v(Q)=q$ deb faraz qilingan.

Mulohazalardagi kvantorlar:

$$v(\exists x P(x)) = \sup(v(P(x))) \quad v(\forall x P(x)) = \inf(v(P(x)))$$

bu yerda x – fikrlash sohasi elementi.

Quyida 16 ta bog'lanishlar uchun ifodalar keltirilgan:

PQ	$P \vee Q$	$P \vee Q$	$P \wedge Q$	P
pq	$\max(p, 1-p, q, 1-q)$	$\max(p, q)$	$\max(p, 1-q)$	P
PQ	$P \rightarrow Q$	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	$P \text{ ex } Q$	$\neg Q$	$Q \rightsquigarrow P$
pq	$\max(1-p, 1-q)$	$\max(\min(1-p, q), \min(p, 1-q))$	$1-q$	$\min(p, 1-q)$
PQ	$\neg P$	$P \rightsquigarrow Q$	$P \downarrow Q$	PQ
pq	$1-p$	$\min(1-p, q)$	$\min(1-p, 1-q)$	$\min(p, 1-p, q, 1-q)$

$(\mathcal{R}(x), \cup, \cap, -)$ ga asoslangan ko'p qiymatli mantiqni odatda *K-standart ketma-ketlikli mantiq* deb atashadi. Bu mantiqda bog'lanishlar quyidagi xossalar bilan qanoatlantiriladi:

Implikatsiya $v(P \rightarrow (Q \rightarrow R)) = v((P \wedge Q) \rightarrow R)$;

tavtologiya va qarama-qarshilik

$$v(P \rightarrow P) = v(P);$$

$$v(P \rightarrow P) = v(P);$$

$$v(P \rightarrow P) = v(P);$$

$$v(P \leftrightarrow P) = v(P) ,$$

$$v(P \rightarrow P) = v(P) ,$$

$$v(P \rightarrow P) = v(\neg P) ,$$

$$v(P \leftrightarrow \neg P) = v(P) ,$$

Sheffer va Pirs bogʻlanishlari

$$v(\neg P) = v(P / P) , \quad v(P \rightarrow Q) = v(P / (Q / Q)) , \quad vP = v(P / (P / P)) ,$$

Koʻp qiymatli mantiq mulohazalarni standart hisoblashning (kengayish tamoyili jihatidan) buzilgan koʻrinishi (noaniqlik jihatidan) hisoblanishi [26] ishda koʻrsatib oʻtilgan. Ushbu mantiqda har bir R mulohazaga meʼyorlashtirilganlikka koʻra $[0,1]$ dagi noaniq mantiq qoʻyiladi, yaʼni $\{\mu_r(0), \mu_r(1)\}$ juftlik mos ravishda yolgʻonlik va haqiqiylik darajalari kabi aks ettiriladi. Shu sababli mulohazalarni standart hisoblashlarning mantiqiy bogʻlanishlari haqiqiylik funksiyalari hisoblanadi, yaʼni ular funksiyalar koʻrinishida beriladi va ularni buzish mumkin.

Shuni taʼkidlab oʻtish joizki, ushbu mantiq Klin va Dayneslardan mustaqil ravishda taklif etilgan.

$(\mathcal{R}(x), \cup, \cap, -)$ **ga asoslangan mantiq**. Bu holda dizʼyunksiya va konʼyunksiya quyidagicha aniqlanadi:

$$v(P \vee Q) = \min(1, v(P) + v(Q)) , \quad v(P \wedge Q) = \max(0, v(P) + v(Q) - 1) ,$$

$\vee$ va $\wedge$ - kommutativ, assotsiativ, idempotent emas, distributiv emas va quyidagi qonunni qanoatlantiradi:

$$v(\neg(P \wedge Q)) = v(\neg P \vee \neg Q) ,$$

De-Morgan qonunini ham

$$v(\neg(P \vee Q)) = v(\neg P \wedge \neg Q) ,$$

Shuningdek, uchinchisini istisno etish qonunini ham

$$v(P \vee \neg P) = 1 , \quad v(P \wedge \neg P) = 0 ,$$

Quyida 16 ta bogʻlanishlarning baholari berilgan.

Bu yerda $\vee, \rightarrow, \leftrightarrow, \wedge, /, ex, \Rightarrow, \downarrow$ mos ravishda $\vee, \Rightarrow, \leftrightarrow, \wedge, /, ex, \approx \Rightarrow, \downarrow \downarrow$ orqali belgilanadi. Tautologiya va qarama-qarshilik quyidagi xossalar bilan qanoatlantiriladi:

$$v(P \Rightarrow P) = v(P), \quad v(P \Rightarrow P) = v(P), \quad v(P \Rightarrow P) = v(P), \\ v(P \leftrightarrow P) = v(P), \quad v(P \Rightarrow P) = v(P), \quad v(P \leftrightarrow P) = v(\neg P).$$

Zodaning belgilashlarida implikasiya $\Rightarrow$ noaniq to'plamlarni oddiy qo'shishga, $\approx \Rightarrow$ lar esa simmetrik Δ va cheklangan $\parallel$ farqlarga mos keladi. Bu mantiq Lukasevich mantig'i ($\mathcal{L}$) nomi bilan ma'lum.

Shuni alohida ta'kidlab o'tish kerak-ki, bu ikkita noaniq to'plamlar nazariyasi va ular asosida qurilgan mantiq bugungi kunda yagona ma'lum mantiq hisoblanmaydi. Shundan kelib chiqqan holda, asosiy ma'lum bo'lgan ko'p qiymatli mantiqlarni semantik tahlilini berish va uni noaniq to'plamlar ustida bajariladigan amallarni shakllantirish uchun zarur bo'lgan noaniq "kuchli" to'plamlar nazariyasidan ma'lumotlar keltirishdan boshlash maqsadga muvofiqdir.

PQ	$P \cdot Q$	$P \vee Q$	$Q \Rightarrow P$	P
pq	1	$\min(1, p + q)$	$\min(1, p + 1 - q)$	p
PQ	$P \Rightarrow Q$	Q	$P \leftrightarrow Q$	$P \wedge Q$
pq	$\max(1, 1 - p + q)$	q	$1 - p - q $	$\min(0, p + q - 1)$
PQ	$P \parallel Q$	$P \text{ ex } Q$	$\neg Q$	$Q \approx \Rightarrow P$
pq	$\min(1, 1 - p + 1 - q)$	$ p - q $	$1 - q$	$\max(0, p - q)$
PQ	$\neg P$	$P \approx \Rightarrow Q$	$P \downarrow \downarrow Q$	PQ
pq	$1 - p$	$\max(0, q - p)$	$\max(0, 1 - p - q)$	0

A va B lar U aniq universumdagi noaniq ost to'plamlar bo'lsin. Noaniq to'plamlar nazariyasida quyidagi shart bajarilgandagina A to'plam B ning ost to'plami hisoblanishi an'anaga aylangan:

$$\mu_A \leq \mu_B, \text{ ya'ni } \forall x \in U, \mu_A(x) \leq \mu_B(x).$$

Kuchli noaniq to'plamning ta'rif. Agar [38] implikatsiyalashning noaniq operatori $\rightarrow$ va U universumdan B noaniq to'plam berilgan bo'lsa, unda B dan olingan noaniq "kuchli" to'plam $\mathfrak{R}B$ quyidagi ko'rinishli tegishlilik funksiyasi bilan beriladi:

$$\mu_{\mathfrak{R}B} A = \bigwedge_{x \in I} (\mu_A(x) \rightarrow \mu_B(x))$$

Unda A quyidagi daraja bilan B ning ost to'plami hisoblanadi:

$$\pi(A \subseteq B) = \mu_{\mathfrak{R}B} A.$$

Implikatsiyalash operatorining ta'rifi. Agar [38] implikatsiyalashning noaniq operatori $\rightarrow$ berk birlik interval $[0,1]$ da berilgan bo'lsa, unda

$$a \leftarrow b, b \rightarrow a,$$

$$a \leftrightarrow b = (a \rightarrow b) \wedge (a \leftarrow b) = (a \rightarrow b) \wedge (b \rightarrow a).$$

Noaniq to'plamlar ekvivalentligi ta'rifi. A va B noaniq to'plamlar ekvivalentligi darajasini aniqlashda quyidagi ifoda o'rinni [28]:

$$\pi(A \equiv B) = \pi(A \subseteq B) \wedge \pi(A \supseteq B);$$

$$\pi(A \equiv B) = \bigwedge_{x \in I} (\mu_A(x) \leftrightarrow \mu_B(x))$$

Noaniq implikatsiyalash. Amaliy maqsadlarda ko'pincha mantiqiy o'zgaruvchilari haqiqiy interval $I=[0,1]$ ni 10 ta ost intervallarga bo'lib, ya'ni $v_I=[0,0.1,0.2, \dots, 1]$ to'plamdan foydalanuvchi ko'p qiymatli mantiq bilan ishlash maqsadga muvofiqdir.

Tahlil qilinayotgan, [39] da keltirilgan implikatsiyalash amallari quyidagi ko'rinishlarga ega:

1) S^+ mantiq:

$$a \xrightarrow{S^+} b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a \neq 1 \text{ yoki } b = 1 \text{ bo'lsa;} \\ 0, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

2) S -mantiq («standart ketma-ketlik»):

$$a \xrightarrow{S} b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a \leq b \text{ bo'lsa;} \\ 0, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

3) G -mantiq («Gedel ketma-ketligi»):

$$a \xrightarrow{G} b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a \leq b \text{ bo'lsa;} \\ 0, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

4) $G43$ -mantiq:

$$a \xrightarrow{G43} b = \min(1, b/a), \quad a = 0, \quad a \xrightarrow{G43} b = 1 \text{ bo'lganda};$$

5) $\mathfrak{I}$ -mantiq (Lukasevich mantiqi):

$$a \xrightarrow{\mathfrak{I}} b = \min(1, 1 - a + b);$$

6) KD -mantiq:

$$a \xrightarrow{KD} b = (1 - a) \vee b = \max(1 - a, b).$$

O'z navbatida, $ALII$ - $ALII$ mantiqlari implikatsiyaning quyidagi amallari bilan tavsiflanadi [37]:

7) $ALII$ - mantiq:

$$a_l \rightarrow b = \begin{cases} 1-a, & \text{agar } a < b \text{ bo'lsa;} \\ 1, & \text{agar } a = b \text{ bo'lsa;} \\ b, & \text{agar } a > b \text{ bo'lsa.} \end{cases}$$

ALI1

8) *ALI2* - mantiq:

$$a_l \rightarrow b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a \leq b \text{ bo'lsa;} \\ (1-a) \wedge b, & \text{agar } a > b \text{ bo'lsa.} \end{cases}$$

ALI2

9) *ALI3* - mantiq:

$$a_l \rightarrow b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a \leq b \text{ bo'lsa;} \\ b/[a + (1-b)] & \text{aks holda.} \end{cases}$$

ALI3

Implikatsiyalash amallarini o'n bitta belgili mantiq uchun implikativ o'tishlar jadvali ko'rinishida tasvirlash qulay. Bunday jadval yuqorida ko'rib chiqilgan $\vec{s}^*(1)-(9)$ mantig'i uchun quyidagi ko'rinishga ega (chiziqning ustki qismida gorizontaal bo'yicha chiqish mantiqiy qo'yimlar qiymatlari, vertikal bo'yicha esa kirishlarning haqiqiyliklari berilgan):

$\vec{s}^*$	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	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	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	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	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	0.5	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	0.2	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	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	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.3	0	0.8	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1
0.4	0	0.7	0.8	0.9	1	1	1	1	1	1	1
0.5	0	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1	1	1	1	1
0.6	0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1	1	1	1
0.7	0	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1	1	1
0.8	0	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1	1
0.9	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1
1.0	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$\overline{KD}$	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	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1

<i>ALI 1</i>	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	0,4	1	0,4	0,4	0,4	0,4
0,7	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	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	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

<i>ALI 2</i>	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	0,4	1	1	1	1	1
0,7	0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	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	1

<i>ALI 3</i>	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	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	1/14	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	2/12	1/7	4/13	5/12	6/11	1	1	1	1
0,8	0	1/17	1/8	2/12	2/7	5/13	1/2	7/11	1	1	1
0,9	0	1/18	2/17	1/8	4/15	5/14	6/13	7/12	8/11	1	1
1,0	0	1/19	1/9	2/17	1/4	1/3	3/7	7/13	0	9/11	1

Noaniq mantiqlar *ALI1* –*ALI3* uchun ikkilik implikatsiyalash amallarini aniqlovchi analitik ifodani yozamiz:

$$\begin{aligned}
 a \rightarrow b &=_{ALI1} \begin{cases} 1 - ka, & \text{agar } a < b \text{ bo'lsa;} \\ 1, & \text{agar } a = b \text{ bo'lsa;} \\ 1 - kb, & \text{agar } a > b \text{ bo'lsa.} \end{cases} \\
 a \rightarrow b &=_{ALI2} \begin{cases} 1, & \text{agar } a = b \text{ bo'lsa;} \\ \min[(\neg a \wedge b), (\neg b \wedge a)], & \text{qolgan hollarda;} \\ 0, & \text{agar } (ka = 1 \vee (kb = 1)) \text{ bo'lsa.} \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$a \xrightarrow{AL13} b = \begin{cases} 1, & \text{agar } a=b \text{ bo'lsa;} \\ \min\left(\frac{a}{b+\neg a}; \frac{a}{a+\neg b}\right), & \text{qolgan hollarda;} \\ 0, & \text{agar } (a=0 \vee (b=0)) \text{ bo'lsa.} \end{cases}$$

bu yerda $ka = \max(a, 1-a)$.

Noaniq to'plamning yuqori nuqtasi ta'rifi. B noaniq to'plamning yuqorisi deb

$$hB = \bigvee_{x \in I^*} \mu_B(x) \text{ ga atiladi.}$$

Noaniq to'plamning quyi nuqtasi ta'rifi. B noaniq to'plamning quyi nuqtasi deb

$$pB = \bigwedge_{x \in I^*} \mu_B(x) \text{ ga atiladi.}$$

Noaniq to'plamning aniqligi. $a \in I^*$ ning aniqligi deb $ka = a \vee (1-a)$ ko'rinishdagi ifodaga atiladi. B noaniq to'plamning aniqligi quyidagicha aniqlanadi:

$$kB = \bigwedge_{x \in I^*} k\mu_B(x)$$

Noaniq mantiqlarning semantik tahlili. Kuchli noaniq to'plamlar nazariyasidan foydalanib, R.A.Aliyev tomonidan taklif etilgan noaniq mantiqlarga qisqacha semantik tahlil beramiz. Buning quyidagilarni ifodalaymiz.

1-taklif (to'plamlarni qo'shilish imkoniyati darajasi). $ALII - ALI3$ noaniq mantiqlaridagi $\pi_1(A \subseteq B)$ ko'rinishidagi funksiyalarni aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} 1. \quad \pi_1(A \subseteq B) &= \begin{cases} 1 - \mu_A(X), & \text{agar } \mu_A(x) < \mu_B(x) \text{ bo'lsa;} \\ 1, & \text{agar } \mu_A(x) = \mu_B(x) \text{ bo'lsa;} \\ \mu_B(X), & \text{agar } \mu_A(x) > \mu_B(x) \text{ bo'lsa.} \end{cases} \\ 2. \quad \pi_2(A \subseteq B) &= \begin{cases} 1, & \text{agar } \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \text{ bo'lsa;} \\ (1 - \mu_A(x)), & \text{agar } \mu_A(x) > \mu_B(x) \text{ bo'lsa.} \end{cases} \\ 3. \quad \pi_3(A \subseteq B) &= \begin{cases} 1, & \text{agar } \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \text{ bo'lsa;} \\ \frac{\mu_B(x)}{\mu_A(x) + (1 - \mu_B(x))}, & \text{agar } \mu_A(x) > \mu_B(x) \text{ bo'lsa.} \end{cases} \end{aligned}$$

Agar $\mu_A(x)=0$ yoki $A=\emptyset$ bo'lsa, $ALII$ noaniq mantig'i uchun aniq qo'shilish mumkinligini ta'kidlab o'tamiz. Endi to'plamlarning ekvivalentligi masalalarini ko'rib chiqamiz.

2-taklif (to'plamlarning ekvivalentlik bo'lish darajasi). Bu yerda to'plam $T = \{x \in U / \mu_A(x) \neq \mu_B(x)\}$ va $A = B_*$ $\forall x \mu_A(x) = \mu_B(x)$ yoki $T = \emptyset$ ekanligini bildiradi.

$$1. \quad \pi_1(A \equiv B) = \begin{cases} I - [(I - \mu_A(x)) \vee \mu_A(x)], & \text{agar } \mu_A(x) < \mu_B(x) \text{ bo'lsa;} \\ I, & \text{agar } \mu_A(x) = \mu_B(x) \text{ bo'lsa;} \\ I - [(I - \mu_B(x)) \vee \mu_B(x)], & \text{agar } \mu_A(x) > \mu_B(x) \text{ bo'lsa.} \end{cases}$$

$$2. \quad \pi_2(A \equiv B) = \begin{cases} I, & \text{agar } A = B \text{ bo'lsa;} \\ T[\{(I - \mu_A(x)) \wedge \mu_B(x)\}, \{(I - \mu_B(x)) \wedge \mu_A(x)\}], & \text{agar } A \neq B \text{ bo'lsa;} \\ 0, & \text{agar } \exists x \parallel \mu_A(x) = 0, \mu_B(x) \neq 0 \text{ bo'lsa (yoki aksincha);} \\ \text{shuningdek } \exists x \parallel \mu_A(x) = I, \mu_B(x) \neq I & \text{(yoki aksincha).} \end{cases}$$

$$3. \quad \pi_3(A \equiv B) = \begin{cases} I, & \text{agar } A = B \text{ bo'lsa;} \\ T\left\{\frac{\mu_A(x)}{\mu_B(x) + (I - \mu_A(x))}, \frac{\mu_B(x)}{\mu_A(x) + (I - \mu_B(x))}\right\}, & \text{aks holda;} \\ 0, & \text{agar } \exists x \parallel \mu_A(x) = 0 \text{ bo'lsa, lekin } \mu_B(x) \neq 0 \text{ (yoki aksincha)} \end{cases}$$

Belgi $\parallel$ «xuddi shunday» degan ma'noni anglatadi.

Ifoda $\pi_i(A \equiv B)$ dan to'plamlar haqiqiy ekvivalent, ya'ni $A \equiv B$ bo'lganda barcha uchta noaniq to'plamlar uchun ekvivalentlik bo'lishi $\pi_i(A \equiv B) = I$ kelib chiqadi. Ravshanki, ekvivalent bo'lish 0 ga teng bo'ladigan holda mulohazalardan biri aniq, ya'ni yo haqiqiy yo yolg'on, boshqasi esa noaniq bo'ladi.

3-taklif (noaniq to'plam B bo'sh bo'lgan daraja). Tavsifdagi $B = \emptyset$, $\forall x \mu_B(x) = 0$ yoki $hB = 0$ ekvivalent ekanligini bildiradi.

$$1. \quad \pi_1(B \equiv \emptyset) = \begin{cases} I, & \text{agar } B = \emptyset \text{ bo'lsa;} \\ 0, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

$$2. \quad \pi_2(B \equiv \emptyset) = \begin{cases} I, & \text{agar } hB < I \text{ yoki } B = \emptyset \text{ bo'lsa;} \\ 0, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

$$3. \quad \pi_3(B \equiv \emptyset) = \begin{cases} I, & \text{agar } B = \emptyset \text{ bo'lsa;} \\ 0, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

Noaniq to'plamlarning birga bo'la olmaslik tushunchasini kiritamiz. "Birga bo'la olmaslik" ning ikki turi mavjud: birinchisi daraja bilan, ya'ni bir to'plam boshqasining ostto'plami B^c

hisoblanishi bilan; ikkinchi turi esa to'plamlar kesishuvi bo'shligi bilan belgilanadi. Quyidagilarni ifodalaymiz.

4-taklif (A va B to'plamlarning birga bo'la olmaslik darajasi).

$$\pi(A \text{ disj}_1 B) = \pi(A \subseteq B^c) \wedge \pi(B \subseteq A^c), \quad (1.2.96)$$

$$\pi(A \text{ disj}_2 B) = \pi(A \cap B) = \emptyset. \quad (1.2.97)$$

$$T = \{x | \mu_A(x) + 1 - \mu_B(x)\}$$

bo'lganda birinchi tur birga bo'la olmaslikni ko'rib chiqamiz:

$$\begin{aligned} 1. \quad \pi_1(A \text{ disj}_1 B) &= \begin{cases} 1, & \text{agar } \exists(x) \parallel \mu_A(x) = 1 - \mu_B(x) \text{ bo'lsa;} \\ (1 - \mu_A(x)) \wedge (1 - \mu_B(x)), & \text{qolgan hollarada;} \\ 0, & \text{hech qachon.} \end{cases} \\ 2. \quad \pi_2(A \text{ disj}_1 B) &= \begin{cases} 1, & \text{agar } \mu_A(x) \leq 1 - \mu_B(x) \text{ bo'lsa;} \\ \hat{T}(1 - \mu_A(x), (1 - \mu_B(x))), & \text{qolgan hollarda;} \\ 0, & \text{agar } \exists(x) \parallel \mu_A(x) = 1 \text{ bo'lsa, lekin } \mu_B(x) \neq 0 \\ & \text{yoki } \mu_B(x) = 1 \text{ bo'lsa, lekin } \mu_A(x) \neq 0. \end{cases} \\ 3. \quad \pi_3(A \text{ disj}_1 B) &= \begin{cases} 1, & \text{agar } \mu_A(x) = \mu_B(x) \text{ yoki } \mu_B(x) \text{ bo'lsa;} \\ \hat{T}\left(\frac{1 - \mu_B(x)}{\mu_A(x)(1 - \mu_B(x))}, \frac{1 - \mu_B(x)}{\mu_B(x)(1 - \mu_A(x))}\right), & \text{aks holda;} \\ 0, & \text{hech qachon.} \end{cases} \end{aligned}$$

To'plamlarning birga bo'la olmaslik darajasi faqatgina noaniq mantiq *ALI2* uchun 0 ga teng ekanligini ko'rsatib o'tamiz, bunda ko'rib chiqilayotgan noaniq to'plamlardan biri subme'yoriy bo'lgan vaqtda boshqasining me'yoriyligi majburiy shart hisoblanadi.

5-taklif (to'plam o'zining qo'shimchasi bo'lgan $\pi_1(A \subseteq A^c)$ ostto'plam hisoblanadigan daraja). Ko'rib chiqilayotgan tizimlar uchun $\pi_1(A \subseteq A^c)$ quyidagi ko'rinishlarga ega bo'ladi:

$$\begin{aligned} 1. \quad \pi_1(A \subseteq A^c) &= \begin{cases} 1, & \text{agar } hA = 0 \text{ bo'lsa;} \\ 0, & \text{agar } hA = 1 \text{ bo'lsa;} \\ 1 - hA, & \text{qolgan hollarda;} \end{cases} \\ 2. \quad \pi_1(A \subseteq A^c) &= \begin{cases} 1, & \text{agar } hA \leq 0,5 \text{ bo'lsa;} \\ 0, & \text{agar } hA = 1 \text{ bo'lsa;} \\ 1 - hA, & \text{qolgan hollarda;} \end{cases} \\ 3. \quad \pi_1(A \subseteq A^c) &= \begin{cases} 1, & \text{agar } hA = 0,5 \text{ bo'lsa;} \\ 0, & \text{agar } hA = 1 \text{ bo'lsa;} \\ 1 - hA/(2hA), & \text{qolgan hollarda.} \end{cases} \end{aligned}$$

Noaniq mantiq ALII ning darajasi, to'plam o'zining qo'shimchasining ostto'plami bo'lganda, to'plam bo'sh bo'lgandagi darajaga teng. Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, [37] da o'tkazilgan semantik tahlil, shuningdek yuqorida o'tkazilgan tahlil ALII va *KD* noaniq mantiqlarda katta muvofiqlik mavjudligini ko'rsatadi. Biroq, mantiq bilan solishtirganda noaniq mantiq qator afzalliklarga ega bo'lib, uni noaniq shartli xulosalarni yaxshilangan qoidalarini shakllantirish va turli texnologik jarayonlarni modellashtirishda muvaffaqiyatli ishlatish imkonini beradi.

1.2.8. Taqribiy mulohazalar nazariyasi

Taqribiy mulohazalar sxemasi. So'nggi vaqtlarda noaniq to'plamlar (*F-to'plamlar*) tadqiqotida Conditional Rules Inference (yoki qisqacha) CRI deb ataladigan noaniq shartli mantiqiy xulosa (*F-shartli xulosa*) ning qoidalarini ishlab chiqishga katta e'tibor qartilmoqda [37-45]. Bu holat oddiy til semantikasida ma'lum sondagi noaniq tushunchalar (*F* tushunchalar) borligi bilan bog'liq; shuning uchun ham dastlabki shart va natijada *F* tushuncha bo'ladi degan mantiqiy xulosa chiqaramiz.

Amaliyot shuni ko'rsatadiki, bunday xulosalar uchun qoidalarini shakllantirish favqulodda xilma-xil bo'lishi mumkin. Biroq, bunday xulosalar mumtoz bul mantig'iga asoslanib, qoniqarli shakllantirilishi mumkin emas, ya'ni buning uchun ko'p qiymatli mantiqiy tizimlardan foydalanish lozim bo'ladi.

Noaniq mantiq va taqribiy mulohazalarda noaniq xulosaning ikkita muhim qoidalari mavjud: umumlashgan modus ponens GMP (Generalized Modus Ponens) va umumlashgan modus tollens GMT (Generalized Modus Tollens):

1 dastlabki shart: x mavjud A' ,
2 shart: agar x bo'lsa unda y mavjud B , (GMP)
Xulosa: y mavjud B' ,

1 shart: y mavjud B' ,
2 shart: agar x mavjud A unda y mavjud B , (GMT)
Xulosa: x mavjud A' .

Noaniq implikatsion xulosa, L.Zoda tomonidan taklif etilgan taqribiy mulohazalar uchun kompozitsion qoidalariga asoslanadi [46]. Bu yerda an'anaviy mantiqdagi aniq to'plamlar o'rniga x va y lingvistik o'zgaruvchili A, A', B, B' noaniq to'plamlar kiritilgan. $A=A'$ va $B=B'$ bo'lganda «modus ponens»ga keluvchi GMP to'g'ri xulosa bilan chambarchas bog'liq, xususan, noaniq tenglamalar tizimlarida foydalidir. $B=B$ emas va $A=A$ emas bo'lganda «modus tollens» ga keluvchi GMT ekspert tizimlarda, ayniqsa, tibbiy tashxislashda keng qo'llaniladigan teskari xulosa bilan chambarchas bog'liqdir.

Shartli mantiqiy xulosa qoidalarini ishlab chiqish. Asosan uchta turdagi takliflarni o'z ichiga oladi [37,47]:

$P_1 = \text{AGAR } x \text{ tegishli bo'lsa } A \text{ ga } \text{UNDA } y \text{ tegishli } B \text{ ga};$

$P_2 = \text{AGAR } x \text{ tegishli bo'lsa } A \text{ ga } \text{UNDA } y \text{ tegishli } B \text{ ga, aks holda } C \text{ ga};$

$P_3 = \text{AGAR } x_1 \text{ tegishli } A_1 \text{ ga va } x_2 \text{ tegishli } A_2 \text{ ga, } x_n \text{ tegishli } A_n \text{ ga bo'lsa, UNDA } y \text{ tegishli } B \text{ ga}.$

Shartli mantiqiy xulosa qoidalarini shakllantirishning konseptual asosi ajratish qoidasi (modus=ponens) hisoblanib, quyidagicha o'qiladi:

AGAR ($\alpha \rightarrow \beta$) haqiqiy va α haqiqiy bo'lsa, **UNDA** β haqiqiydir.

O'z navbatida, bunday ifodalashning uslubiy asosi L.Zoda tomonidan taklif etilgan kompozitsion qoida hisoblanadi [28,48]. Bu qoidadan foydalanib, u sharti va natijasi shartli takliflar hisoblangan, o'z ichiga F ni oluvchi xulosalarning ba'zi qoidalarini shakllantirgan. Keyinchalik Mamdani [41] o'zining xuddi L.Zodaniki kabi qoidasini taklif etdi, bu qoida P_1 turdagi mantiqiy taklif uchun ishlab chiqilgan. Boshqacha so'z bilan aytganda, quyidagi shaklga ega bo'lgan F-shartli xulosa ko'rib chiqiladi:

1-shart: **AGAR** x tegishli bo'lsa A ga, **UNDA** y tegishli B ga;

2-shart: x tegishli A ga;

Natija: y tegishli B' ga;

yoki **AGAR** $x=A$ bo'lsa, **UNDA** $y=B$ bo'ladi, (1.2.98)

$$\begin{aligned} x &= A, \\ y &= B' = A' \text{ oR } \end{aligned}$$

bu yerda A va $A' - U$ universumdagi F -to'plamlar kabi ifodalangan F -konsepsiyalar; $B - B$ universumdagi F -to'plam yoki F -konsepsiya.

Bundan B' to'plam B dagi F -to'plam ko'rinishida keltirilgan natija hisoblanadi.

Taqribiy mulohazalarning sxemalari ta'rifi. (1.2.98) sxema taqribiy mulohazalar sxemasi deyiladi.

CRI dan foydalanib, mantiqiy xulosani olish uchun 1-va 2-shartlar mos ravishda $R(A_1(x), A_2(y))$ ko'rinishli binar F -nisbat va $R(A_1(x))$ ko'rinishli unar nisbat kabi keltirilgan bo'lishi kerak. Bu yerda $A_1(x)$ va $A_2(x)$ mos ravishda U va V universumlardagi qiymatlarni qabul qiluvchi x va y atributlar bilan aniqlanadi. Unda

$$R(A_1(x)) = A'; \quad (1.2.99)$$

$R(A_1(x), A_2(y))$ Zoda-Mamdani xulosalar qoidasi bilan aniqlanadi.

Shartli taklifning maksiminli qoidasi

$$R_m(A_1(x), A_2(y)) = (A \times B) \cup (\neg A \times V). \quad (1.2.100)$$

Shartli taklifning arifmetik qoidasi

$$R_\theta(A_1(x), A_2(y)) = (\neg A \times V) \oplus (U \times V). \quad (1.2.101)$$

Shartli taklifning mini-funksional qoidasi

$$R_c(A_1(x), A_2(y)) = (A \times B). \quad (1.2.102)$$

Bu yerda: x , U va $\neg$ – mos ravishda dekart ko'paytmasi, qo'shilmasi va inversiyasi; $\oplus$ – cheklangan summa.

Shunday qilib, mantiqiy xulosa $R(A_2(x))$ hisoblanuvchi B' (1.2.98) quyidagi tarzda olinishi mumkin:

$$R(A_2(x)) = A'[(A \times B) \cup (\neg A \times B)];$$

$$R(A_2(x)) = A'[(\neg A \times V) \oplus (U \times B)];$$

yoki

$$R(A_2(x)) = A' \circ (A \times B),$$

bu yerda $\circ$ – F -to'plamlarning maksiminli kompozitsiyalari amali.

Bu qoidalar asosida [42] P_2 turdagi shartli takliflar uchun qoidalar taklif etilgan:

$$R_4(A_1(x), A_2(x)) = [(\neg A \times B) \oplus (U \times B)] \cap [(A \times V) \oplus (U \times C)]; \quad (1.2.103)$$

$$R_5(A_1(x), A_2(x)) = [(\neg A \times V) \cup (U \times B)] \cap [(A \times V) \cup (U \times C)]; \quad (1.2.104)$$

$$R_6(A_1(x), A_2(x)) = [(A \times B) \cap (\neg A \times C)]. \quad (1.2.105)$$

P_3 turdagi shartli taklif uchun qoidalar:

$$R_7(A_1(x), A_2(x)) = [\bigcap_{i=1, n} (\neg A_i \times V)] \oplus [(U \times B)]; \quad (1.2.106)$$

$$R_8(A_1(x), A_2(x)) = [\bigcap_{i=1, n} (\neg A_i \times V)] \cup [(U \times B)]; \quad (1.2.107)$$

$$R_y(A_1(x), A_2(x)) = [\bigcap_{i=1, n} (\neg A_i)] \times B. \quad (1.2.108)$$

Taqribiy mulohazalar usullarini tahlil qilish mezonlari.
 (1.2.100)-(1.2.108) qoidalarining samaradorligini tahlil qilish uchun shartli mantiqiy xulosaning [45] da taklif etilgan ba'zi mezonlaridan foydalanamiz. Bunday mezonlarning mohiyati. Ularning u yoki bu noaniq shartli xulosani taqribiy mulohazalardagi inson intuitsiyasini qanoatlantirishini tekshirish imkonini berishidan iborat. Bu mezonlar quyidagi ko'rinishlarga ega:

I mezon.

1-shart: AGAR x tegishli bo'lsa A ga, UNDA y tegishli B ga

2-shart: x tegishli A ga

Natija: x tegishli B ga.

II-1 mezon.

1-shart: AGAR x tegishli bo'lsa A ga, UNDA y tegishli B ga

2-shart: x juda ham tegishli bo'lsa A ga

Natija: y juda ham tegishli B ga

II-2 mezon.

1-shart: AGAR x tegishli bo'lsa A ga, UNDA y tegishli B ga

2-shart: x juda ham tegishli bo'lsa A ga

Natija: y tegishli B ga

III mezon.

1-shart: AGAR x tegishli bo'lsa A ga, UNDA y tegishli B ga

2-shart: x ozmi-ko'pmi tegishli A ga

Natija: u ozmi-ko'pmi tegishli B ga

VI-I mezon.

1-shart: AGAR x tegishli bo'lsa A ga, UNDA y tegishli B ga

2-shart: x tegishli emas A ga

Natija: y noma'lum

VI-2 mezon.

1-shart: AGAR x tegishli bo'lsa A ga, UNDA y tegishli B ga

2-shart: x tegishli emas A ga

Natija: y tegishli emas B ga

Zoda-Mamdani [45,49] qoidalarida nisbatlar R_m , R_o va R_c har doim ham ushbu mezonlarni qanoatlantiravermaydi. Shunday qilib, R_m uchun quyidagi natijalar olingan. $A'=A$ bo'lganda va

$$B'_m = A \circ [(A \times B) \cup (\neg A \times I')] = \int_I \mu_A(u) \mu_o \int_{v \in V} \mu_A(u) \wedge \mu_B(v) \vee \frac{(1 - \mu_A(u, v))}{uv} =$$

$$= \int_I \vee_{u \in I} [\mu_A(u) \wedge (\mu_A(u) \wedge (\mu_B(v)) \vee \frac{(1 - \mu_A(u))}{v})]$$

quyidagini topamiz:

$$S_m(\mu_A(u)) = \mu_A(u) \wedge (\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee (1 - \mu_A(u))$$

$U \in I'$ uchun tegishlilik funksiyasi $\mu_A(u)$ interval $[0;1]$ dagi barcha qiymatlarni qabul qilganligi sababli:

$$\vee_{u \in I} S_m(\mu_A(u)) = \begin{cases} \mu_B(v), & \mu_B(v) \geq 0,5 \\ 0,5, & \mu_B(v) \leq 0,5 \end{cases}$$

bundan $B'_m = \int_I \vee_{u \in I} S_m \frac{(\mu_A(u))}{v}$. Unda $B'_m = B$ ekanligi tushunarli. Bu I mezonning qanoatlantirilmayotganligini ko'rsatadi.

$A'=A'$ (juda ham A) da quyidagini hosil qilamiz:

$$S_m(\mu_A(u)) = \mu_A(u) \vee [(\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee (1 - \mu_A(u))]$$

bundan

$$\vee_{u \in I} S'_m(\mu_A(u)) = \begin{cases} \mu_B(v), & \mu_B(v) \geq \frac{(3 - \sqrt{5})}{2} \\ \frac{(3 - \sqrt{5})}{2}, & \mu_B(v) \leq \frac{(3 - \sqrt{5})}{2} \end{cases}$$

Shunday qilib,

$$B_m = \int_I \vee_{u \in I} S_m \frac{(\mu_A(u))}{v} + \text{juda } B,$$

ya'ni $B'_m = B$, demak, II-1 va II-2 mezonlar qanoatlantirilmayapti.

$A'=(\text{ozmi-ko'pmi } A)$ bo'lganda III mezon qanoatlantirilmaydi, IV-I mezonlar esa qanoatlantiriladi.

Quyidagi shart bajarilganda, R_c arifmetik qoidalar uchun:

$$B'_c A' \circ [\neg A \cdot I'] \oplus (U \times B)]$$

quyidagilar olingan:

a) $A'=A$ bo'lganda

$$\vee_{u \in I} S_m(\mu_A(u), 1) = \frac{1 + \mu_B(v)}{2}$$

yoki

$$B'_a = \int_{u \in I} S_{11}(\mu_1(u), 1) / v = \int_1 \frac{1 + \mu_a(v)}{2} / v$$

ya'ni $B'_a \neq B$, yoki I mezon qanoatlantirilmaydi;

b) $A' = A^2$ (juda ham A) bo'lganda quyidagi bo'lishi:

$$B'_a = \int_1 \frac{3 + 2\mu_h(v) - \sqrt{5 - 4\mu_h(v)}}{2} / v$$

lekin juda ham $B = \int_1 \frac{\mu_h^2(v)}{v}$ emasligi ko'rsatilgan. Shunday qilib, $B'_a \neq B$ (juda ham B), ya'ni II-1 mezon qanoatlantirilmaydi yoki $B'_a \neq B$ bo'lganda:

$$B = \int_1 \frac{\mu_h(v)}{v}$$

ya'ni II-2 mezon qanoatlantirilmaydi;

v) $A' = A^{0.5}$ (ozmi-ko'pmi A) bo'lganda quyidagi ifoda o'rinli:

$$B'_a = \int_1 \frac{1 + \sqrt{5 + 4\mu_h(v)}}{2} / v \neq \int_1 \frac{\mu_h(I^*)}{v} = (\text{ko'p yoki kam } B).$$

Shunday qilib, III mezon qanoatlantirilmaydi; bunda IV-1 mezon qanoatlantiriladi.

Mini-operatsion qoidalar R_c uchun I va II-2 mezonlar qanoatlantirilishi, II-1 va III mezonlar qanoatlantirilmasligi ko'rsatib o'tilgan edi.

AGAR $A' = A$ emas bo'lsa *UNDA*

$$B'_c(\neg A) \cap (A \times B) = \begin{cases} \int_1 0.5 / v, \mu_h(u) \geq 0.5 \\ \int_1 \mu_h(v) / v, \mu_h(v) \leq 0.5 \end{cases}$$

Bu, IV-1 va IV-2 mezonlar qanoatlantirilmasligini isbotlaydi. Boshqacha aytganda, birinchi uchta qoida uchun mantiqiy xulosa har doim ham bizning intuitsiyamizni qanoatlantirmaydi. Qoidalar Zoda-Mamdanining P_2 va P_3 takliflarga qo'llanilgan xulosalar qoidalarining takomillashtirilgan turi ekanligini sezish qiyin emas. Shuning uchun ham ular o'z navbatida, I-IV mezonlarni qanoatlantirmaydi.

[45] da sanab o'tilgan F-shartli mantiqiy xulosalar qoidalarini yaxshilash imkonini beradigan muhim umumlashtirish keltirilgan, ya'ni ma'lum turdagi Zoda arifmetik qoidalari $R_I = \text{AGAR } x \text{ tegishli}$

bo'lsa A ga UNDA u tegishli V ga ko'rinishli shartli takliflar uchun quyidagicha ekanligi berilgan:

$$R_1(A_1(x), A_2(y)) = (\neg A \times V) \oplus (U \times B) = \int_{U \times V} 1 \wedge (1 - \mu_1(u) + \mu_2(v)) / (u, v)$$

Bunda tegishlilik funksiyasining F -nisbatlari quyidagicha bo'ladi:

$$1 \wedge (1 - \mu_1(u) + \mu_2(v))$$

bu ko'p qiymatli mantiq $\mathcal{L}$ (Lukasevich mantiqi) uchun implikasiyalash yoki Ply -operatorning qoidalariga javob beradi, ya'ni

$$v(P \rightarrow Q) = 1 - (1 - v(P) + v(Q)) \quad (1.2.109)$$

bu yerda $v(P \rightarrow Q)$, $v(P)$, va $v(Q)$ – mos ravishda $(P \xrightarrow{F} Q)$, P mantiqiy takliflar uchun haqiqiy kattaliklar.

Boshqacha so'z bilan aytganda, bunday nisbatlar L -mantiqiy tizimdagi moddiy implikasiyalashning shartli taklifga moslashuvi kabi tasvirlanishi mumkin. Bu omil e'tiborga olingan holda quyidagi ifoda olingan edi:

$$\begin{aligned} R_1(A_1(x), A_2(y)) &= (\neg A \times V) \oplus (U \times B) = \int_{U \times V} 1 \wedge (1 - \mu_1(u) + \mu_2(v)) / (u, v) = \\ &= \int_{U \times V} \frac{(\mu_1(u) \rightarrow \mu_2(v))}{uv} = (A \times V) \rightarrow (U \times B) \end{aligned} \quad (1.2.110)$$

(1.2.110) ifodadagi implikasiyalash amali yoki Ply -operator ixtiyoriy ko'p qiymatli mantiqiy tizimga tegishli bo'lishi mumkin [45]. F -shartli mantiqiy xulosa qoidalarini ishlab chiqishda mantiqiy tizimni tanlash sharti [45] da keltirilgan ifodalar bo'lishi mumkin.

U dan olingan A va V dan olingan B lar F -to'plamlar quyidagi ko'rinishda berilgan bo'lsin:

$$A = \int_U \frac{\mu_1(u)}{u} \quad B = \int_V \frac{\mu_2(v)}{v}$$

Unda, yuqorida aytib o'tilganidek, P_1 shartli mantiqiy taklif ko'p qiymatli mantiqiy tizimdagi Ply -operatorining moslashuvlari bo'lgan $R(A_1(x), A_2(x))$ F -nisbatga keltirilgan bo'lishi mumkin, ya'ni

$$R(A_1(x), A_2(y)) = A \times V \rightarrow U \times B = \int_{U \times V} \mu_1(u) \rightarrow \frac{\mu_2(v)}{u, v} \quad (1.2.111)$$

bu yerda $\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(u)$ qiymatlar tanlangan mantiqiy tizimdan kelib chiqqan holda aniqlanadi.

$R(A_1(x)) = A$ deb qabul qilib, $R(A_1(x))$ va $R(A_2(y))$ lar uchun CRI ni qo'llab, mantiqiy xulosa $R(A_2(y))$ ni hosil qilish mumkin:

$$R(A_2(y)) = A \circ R(A_1(x), A_2(y)) = \int_U \mu_A(u)/u \circ \int_{V,1} \mu_1(u) \rightarrow \\ \rightarrow \frac{\mu_B(v)}{u \cdot v} = \int_U \vee [\mu_1(u) \wedge \mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v)] \quad (1.2.112)$$

I mezon qanoatlantirilishi uchun quyidagi tengliklar bajarilishi lozim:

$$R(A_2(y)) = B, \\ \vee [\mu_A(u) \wedge \mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v)] = \mu_B(v) \\ \text{yoki} \\ \mu_1(u) \wedge \mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v) \leq \mu_B(v). \quad (1.2.113)$$

So'nggi ifoda ixtiyoriy $u \in U$ va $v \in V$ lar uchun o'rinli yoki haqiqiydir:

$$v(P \wedge (P \rightarrow Q)) \leq v(Q). \quad (1.2.114)$$

F-shartli mantiqiy xulosa qoidalarini shakllantirish uchun bajarilishi lozim bo'lgan asosiy shartlarni ifodalaymiz:

1. Shartli mantiqiy xulosa *CRI* ning qoidalari I-IV mezonlarning talablariga javob berishi kerak:

2. *F*-shartli mantiqiy xulosa *CRI* ning qoidalari (1.2.114) tengsizlikni qanoatlantirishi kerak.

Noaniq mantiqiy xulosa qoidalari

P_1 ko'rinishidagi shartli taklif uchun noaniq shartli xulosa qoidasini shakllantirish. Shartli takliflar uchun mantiqiy xulosa quyidagi ko'rinishiga ega:

1-shart: AGAR x tegishli bo'lsa A ga, UNDA y tegishli B ga;

2-shart: x tegishli A ga;

Natija: y tegishli B ga; (1.2.115)

Bu yerda A , B va A' lar mos ravishda U , V va V dagi F - to'plamlar ko'rinishida keltirilgan F -konsepsiyalar hisoblanadi. ular I, II-1, III va IV-1 mezonlarni qanoatlantirishi kerak.

Bunday xulosalar uchun, agar 2-shart unar F -nisbatga ko'ra $R(A_1(x) = A')$ ko'rinishda va 1-shart esa F -nisbatga ko'ra $R(A_1(x), A_2(y))$ ga o'zgartirilsa, unda natija $R(A, y)$ ga F -shartli mantiqiy xulosa qoidasi yordamida erishiladi, ya'ni

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x) \circ R(A_1(x), A_2(y))). \quad (1.2.116)$$

Bu yerda $R(A_2, y)$ ning qiymati (1.2.116) bilan teng.

ALI 1 noaniq shartli xulosa qoidasi.

1-teorema. Agar U dan F -to'plam bo'lgan A va V dan B an'anaviy ko'rinishda berilgan bo'lsa:

$$A = \int_U^{\mu_A(u)} \frac{1}{u}, \quad B = \int_V^{\mu_B(v)} \frac{1}{v} \quad (1.2.117)$$

va ko'p qiymatli mantiqiy tizim ALI 1 uchun ifoda quyidagicha bo'lsa:

$$R_1(A_1(x), A_2(y)) = A \times V \xrightarrow{ALI1} U \times B = \int_{U \times V} \frac{\mu_A(u)}{u, v} \xrightarrow{ALI1} \int_{U \times V} \frac{\mu_B(v)}{(u, v)} = \int_{U \times V} \mu_A(A) \xrightarrow{ALI1} \frac{\mu_B(v)}{(u, v)}, \quad (1.2.118)$$

bu yerda

$$\mu_A(u) \xrightarrow{ALI1} \mu_B(v) = \begin{cases} 1 - \mu_A(u), & \mu_A(u) < \mu_B(v); \\ 1, & \mu_A(u) = \mu_B(v); \\ \mu_B(v), & \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases},$$

unda I-IV mezonlar qanoatlantiriladi.

ALI 2 noaniq shartli xulosa qoidasi.

2-teorema. Agar ALI2 mantiqiy ko'p qiymatli tizimlar uchun (1.2.117) dagi kabi U dan F -to'plam bo'lgan A va V dan B berilgan bo'lsa, binar ifoda $R(A_1(x), A_2(y))$ quyidagicha aniqlanadi:

$$R_2(A_1(x), A_2(y)) = A \times V \xrightarrow{ALI2} U \times B = \int_{A \times V} \mu_A(u) \xrightarrow{ALI2} \frac{\mu_B(v)}{(u, v)}$$

bu yerda

$$\mu_A(u) \xrightarrow{ALI2} \mu_B(v) = \begin{cases} 1, & \mu_A(u) \leq \mu_B(v) \\ (1 - \mu_A(u)) \wedge \mu_B(v) \\ \mu_A(u) \geq \mu_B(v) \end{cases} \quad (1.2.119)$$

unda I-IV mezonlar qanoatlantiriladi.

ALI3 noaniq shartli xulosa uchun qoida.

3-teorema. Agar ALI3 mantiqiy ko'p qiymatli tizimlar uchun (1.2.117) dagi kabi U dan F -to'plam bo'lgan A va V dan B berilgan bo'lsa, binar ifoda $R(A_1(x), A_2(x))$ quyidagi ko'rinishga ega bo'lsa

$$R_3(A_1(x), A_2(y)) = A \times V \xrightarrow{ALI3} U \times B = \int_{U \times V} \mu_A(u) \xrightarrow{ALI3} \frac{\mu_B(v)}{(u, v)} \quad (1.2.120)$$

$$\mu_A(u) \xrightarrow{ALI3} \mu_B(v) = \begin{cases} 1, & \mu_A(u) \leq \mu_B(v); \\ \frac{\mu_B(v)}{\mu_A(u) + (1 - \mu_B(v))}, & \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}$$

bu yerda

unda I-IV mezonlar qanoatlantiriladi.

Xulosaning taklif etilgan qoidalarini aks ettirish uchun *ALII* mantiqiy ko'p qiymatli tizim uchun quyidagi misolni keltiramiz.

Misol. Quyidagi berilgan bo'lsin

$$U = V = 0 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9,$$

$$A = kichik = \frac{1}{0} + \frac{0,8}{1} + \frac{0,6}{2} + \frac{0,4}{3} + \frac{0,2}{4},$$

$$B = o'rtacha = \frac{0,2}{2} + \frac{0,4}{3} + \frac{0,8}{4} + \frac{1}{5} + \frac{0,8}{6} + \frac{0,4}{7} + \frac{0,2}{8}.$$

Unda *F*-shartli taklif «AGAR *x* kichik bo'lsa, UNDA *u* o'rtacha» quyidagi binar ifodaga olib kelinadi:

$$R(A_1(x), A_2(y)) = [kichik] \times V \rightarrow U \times [o'rtacha] =$$

ALII

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0,2	0,4	0,8	1	0,8	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	0,4	0,6	0,6	0,6	1	0,2	0	0
4	0	0	1	1	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0	0
5	1	1	1	0,8	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, unda

$$R(A_1(x), A_2(y)) = [kichik] \circ R(A_1(x), A_2(y)) =$$

$$\frac{0,2}{2} + \frac{0,4}{3} + \frac{0,8}{4} + \frac{1}{5} + \frac{0,8}{6} + \frac{0,4}{7} + \frac{0,2}{8} = o'rtacha$$

$R(A_1(x)) = juda kichik$ bo'lganda, quyidagi ifodani olamiz:

$$R(A_2(y)) = [juda kichik] \circ R_1(A_1(x), A_2(y)) = [kichik]^2 \circ R_1(A_1(x), A_2(y)) =$$

$$= \frac{0,04}{2} + \frac{0,16}{3} + \frac{0,64}{4} + \frac{1}{5} + \frac{0,64}{6} + \frac{0,16}{7} + \frac{0,04}{8} [o'rtacha] = juda o'rtacha$$

Agar $R(A_2(y)) = [kichik emas]$ bo'lsa, unda

$$R_1(A_1(x), A_2(y)) = 0 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 = noma'lum = V.$$

Oddiy tilda olingan xulosani quyidagi ko'rinishda aks etirish mumkin:

AGAR x kichik bo'lsa, UNDA y o'rtacha

$x = \text{kichik}$

$y = \text{o'rtacha},$

AGAR x kichik bo'lsa, UNDA y o'rtacha

$x = \text{juda kichik}$

$y = \text{juda o'rtacha},$

AGAR x kichik bo'lsa, UNDA y o'rtacha

$x = \text{kichik emas}$

$y = \text{noma'lum}.$

Keyingi noaniq implikasiya ko'pincha noaniq mantiqiy tizmlarda qo'llaniladi.

Noaniq implikatsiyalashning mini-amallar qoidasi [Mamdani]

$$R_i = A \times B = \int_{U \times V} \frac{\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)}{uv}$$

Ko'paytirish amali qoidasi [Larsen]

$$R_p = A \times B = \int_{U \times V} \frac{\mu_A(u) \mu_B(v)}{uv}$$

Noaniq implikatsiyalashning arifmetik qoidasi [Zoda]

$$R_a = (\text{not } A \times V) \oplus (U \times B) = \int_{U \times V} 1 \wedge \frac{(1 - \mu_A(u) + \mu_B(v))}{uv}$$

Noaniq implikatsiyalashning maxmin qoidasi [Zoda]

$$R_m = (A \times B \cup (\text{not } A \times V)) = \int_{U \times V} (\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee \frac{1 - \mu_A(u)}{uv}$$

Aliyevning noaniq implikasiyasi

$$R_A^1 = A \times B \rightarrow U \times B = \int_{U \times V} \mu_A(u) \rightarrow \frac{\mu_B(v)}{uv}$$

bu yerda

$$\mu_A(u) \rightarrow_{ALI} \mu_B(v) = \begin{cases} 1 - \mu_A(u), & \mu_A(u) < \mu_B(v) \\ 1, & \mu_A(u) = \mu_B(v) \\ \mu_B(v), & \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}$$

$$R_A^2 = A \times V \rightarrow U \times B = \int_{U \times V} \mu_A(u) \rightarrow \frac{\mu_B(v)}{u, v}$$

bu yerda

$$\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v) = \begin{cases} 1, & \mu_A(u) \leq \mu_B(v) \\ (1 - \mu_A(u)) \wedge \mu_B(v), & \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}$$

$$R_A^3 = A \times V \rightarrow U \times B = \int_{U \times V} \mu_A(u) \rightarrow \frac{\mu_B(v)}{u, v}$$

bu yerda

$$\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v) = \begin{cases} 1, & \mu_A(u) \leq \mu_B(v) \\ \frac{\mu_B(v)}{\mu_A(u) + (1 - \mu_B(v))}, & \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}$$

Noaniq xulosaning standart ketma-ket qoidasi

$$R_i = A \times V \rightarrow U \times B = \int_{U \times V} \frac{(\mu_A(u) \mu_B(v))}{u, v},$$

bu yerda

$$\mu_A(u) > \mu_B(v) = \begin{cases} 1, & \mu_A(u) \leq \mu_B(v) \\ 0, & \mu_A(u) > \mu_B(v). \end{cases}$$

Quyida amaliyotda qo'llash uchun implikatsiyalar operatorlari jadvali keltirilgan.

Implikatsiyalar operatorlari jadvali

Zoda implikatsiyalash operatori $\xrightarrow{ZAD}$

$$I_{ZAD}(x, y) = \max(\min(x, y), 1 - x)$$

Mamdani implikatsiyalash operatori $\xrightarrow{MAM}$

$$I_{MAM}(x, y) = \min(x, y)$$

Lukasiyevich implikatsiyalash operatori $\xrightarrow{LUK}$

$$I_{LUK}(x, y) = \min(1, 1 - x + y)$$

Gedel implikatsiyalash operatori $\xrightarrow{GID}$

$$I_{GID}(x, y) = \begin{cases} 1, & x \leq y \text{ uchun} \\ y, & \text{boshqa hollarda} \end{cases}$$

Aliyev implikatsiyalash operatori $\xrightarrow{ALI}$

$$I_{ALI}(x, y) = \begin{cases} 1 - x, & x < y \\ 1, & x = y \\ y, & x > y \end{cases}$$

Aliyev implikatsiyalash operatori $\xrightarrow{Ali2}$

$$I_{Ali2}(x, y) = \begin{cases} 1, & x \leq y \\ \min(1 - x, y), & x = y \end{cases}$$

Aliyev implikatsiyalash operatori $\xrightarrow{Ali3}$

$$I_{Ali3}(x, y) = \begin{cases} 1, & x \leq y \\ \frac{y}{x + (1 - y)}, & x > y \end{cases}$$

Kleene-Dienes implikatsiyalash operatori $\xrightarrow{KIE}$

$$I_{KIE}(x, y) = \max(1 - x, y)$$

Goguen implikatsiyalash operatori $\xrightarrow{Gog}$

$$I_{Gog}(x, y) = \begin{cases} 1, & x = 0 \text{ uchun} \\ \min\left(1, \frac{y}{x}\right), & \text{boshqa hollarda} \end{cases}$$

Gaines-Rescher implikatsiyalash operatori $\xrightarrow{GAR}$

$$I_{GAR}(x, y) = \begin{cases} 1, & x \leq y \text{ uchun} \\ 0, & \text{boshqa hollarda} \end{cases}$$

Reizenbax implikatsiyalash operatori $\xrightarrow{REI}$

$$I_{REI}(x, y) = 1 - x + xy$$

Larsen implikatsiyalash operatori $\xrightarrow{LAR}$

$$I_{LAR}(x, y) = x \times y$$

1.3. Neyrokompyuting

Neyrokompyuter - tabiiy neyron tizimlari tamoyillariga asoslanib, axborotni qayta ishlovchi asbob. Bu tamoyillar sun'iy neyron tarmoqlari nazariyasi haqida gapirish imkonini berish uchun shakllantirilgan edi. Neyrokompyuterlar muammolari real fizik qurilmalarni qurishdan iborat bo'lib, ular nafaqat oddiy kompyuterlarda sun'iy neyron tarmoqlarini modellashtirish imkonini beradi, balki kompyuterning ishlash tamoyillarini o'zgartirishi mumkin bo'lib, ular sun'iy neyron tarmoqlari nazariyasiga mos ishlayapti deyish mumkin.

Neyrokompyuting – parallel ishlaydigan ko'p sondagi sodda hisoblash elementlari (neyron) dan tuzilgan neyrokompyuterlar, ya'ni hisoblash tizimlarining yangi avlodini ishlab chiqish bilan shug'ullanuvchi ilmiy yo'nalish. Bu elementlar neyron tarmog'ini

hosil qilib, o'zaro bog'lanadi. Ular yagona hisoblash amallarni bajaradi va tashqi boshqaruvni talab qilmaydi. Parallel ishlovchi ko'p sonli elementlar yuqori tezkorlikni ta'minlaydi.

Ayni paytda, neyrokompyuterlar ishlab chiqarish ko'pgina sanoati rivojlangan mamlakatlarda olib borilmoqda. Neyrokompyuterlar timsolarni tanish, adaptiv boshqarish, bashorat qilish, tashxislash va shu kabi qator "intellektual" masalalarni yuqori samaradorlik bilan yechish imkonini beradi.

Neyrokompyuterlar oldingi avlod EHM lardan juda katta imkoniyatlari bilan ajralib turadi. Neyron tarmog'i tarmoq parametrlarini sozlash orqali amalga oshiriladi o'rganishga qodir bo'lgan tarmoqdir. Umuman olganda mashinadan foydalanish yo'lini o'zgartiriladi. Dasturlash o'rnini o'rganish egallaydi, neyrokompyuter masalani yechishni o'rganadi. Bu yerda o'rganish – vazn aloqalarini to'g'rilash bo'lib, natijada har bir kirish ta'siri mos chiqish signalini shakllanishiga olib keladi. O'rganishdan so'ng, tarmoq olingan malakasini yangi kirishlar uchun qo'llashi mumkin. Dasturlashdan o'rganishga o'tishda «intellektual» masalalarni yechish samaradorligi oshadi [50].

Neyron tarmoqlaridagi hisoblash an'anaviydan sezilarli farq qiladi. Yuqori parallellashtirilganligi tufayli ularni bir jamoaviy hodisa sifatida qarash mumkin. Neyron tarmog'ida maxsus axborot saqlanadigan lokal sohalar bo'lmaydi, barcha ma'lumotlar butun tarmoq bo'ylab saqladi.

Neyrokompyuting rivojlanishiga biologik tadqiqotlar turtki sifatida xizmat qildi. Neyrobiologiya ma'lumotlariga ko'ra inson va hayvonlarning asab tizimi alohida hujayralar – neyronlardan iborat bo'ladi. Inson miyasida ularning soni 10^{10} - 10^{12} gacha etadi. Har bir neyron boshqa 10^3 - 10^4 ta neyronlar bilan ulangan bo'ladi va nisbatan oddiy harakatlarni bajaradi. Neyrondagi javob vaqti – 2^{-5} ms. Hamma neyronlarning umumiy ishi miyaning murakkab ishlashini ta'minlaydi va real vaqtda murakkab masalalarni hal qiladi [51].

Oldingi avlod hisoblash qurilmalaridan neyrokompyuterlarning farqi shundagi ko'p sondagi elementlarning parallel ishlashi yuqori tezkorlikni ta'minlashidan iboratligidadir.

Neyronkompyuterlar uchun neyron tarmoqlarining ishdan chiqishga bardoshlilik va xalaqitdan himoyalanganligi xarakterli.

Sodda va qat'iy neyronlar neyron tarmoqlarini apparatli amalga oshirish uchun axborotlarga ishlov berishning yangi jismoniy tamoyillari foydalanish imkonini beradi. Neyron tarmoqlari elektron va/yoki optik elementlarning ishlash tartibi vaqti davomida murakkab masalalarni yechishni ta'minlaydi.

Neyrokompyuting sohasidagi ishlanmalar quyidagi yo'nalishlarda olib boriladi:

- neyroalgoritmilar ishlab chiqish;
- neyron tarmoqlarini dasturli amalga oshirish: neyron tarmoqlarini modellashtirish uchun maxsus dasturiy ta'minot yaratish, neyron tarmoqlari imitatsiyalash uchun ixtisoslashtirilgan protsessorlar ishlab chiqish;

- neyron tarmoqlarini elektron amalga oshirish;

- neyron tarmoqlarini optoelektron amalga oshirish.

Bugungi kunda neyrokompyutingning eng katta yo'nalishi kompyuterlarda neyron tarmoqlarini modellashtirish hisoblanadi. Tarmoqlarni modellashtirish elektron va optoelektron neyronkompyuterlar parametrlari qiymatlarini aniqlash, shuningdek, amaliy muammolarni yechish, ularning tadqiq etish uchun amalga oshiriladi.

Neyron tarmoqlari nazariyasi bugungi kunda ko'plab tadqiqotchilarning e'tiborini jalb etmoqda. Bu qiziqish neyron tizimlari ishlash tamoyillarini tushunish istagidan kelib chiqadi. Boshqa tomondan, bunday modellar yordamida mutaxassislar tirik jonotlarga xos axborotlarga ishlov berish jarayonlari samaradorligini modellashtirishni hisobga olishadi.

Neyrokompyuting bu – mustaqil ish muhitida ma'lum axborot sharoitida faoliyat yurituvchi adaptiv javoblar ko'rinishidagi usullar, qoidalar va algoritmilar ishlab chiqishga qodir bo'lgan axborotlarga ishlov berish tizimini (masalan neyron tarmoqlarini) yaratish texnologiyasi. Bu yangi yondashuv bo'lib, axborotlarga ishlov berish tizimining bunday yondashuvi oldingi tizimlar va usullardan jiddiy farqlanadi. Ushbu texnologiya axborot muhitida ishlovchi va axborotlarga ishlov berishni "o'rganuvchi" parallel, taqsimlangan, adaptiv axborotga ishlov berish tizimlarini o'z ichiga oladi. Shunday qilib, neyrokompyutingga xuddi istiqbolli muqobil dasturlanadigan hisoblash sifatida qarash mumkin.

Yangi yondashuv ma'lumot qayta ishlov berishning tayyor algoritmlarni va qoidalarini talab qilmaydi. Tizim qoidalarini ishlab chiqish va axborotlarga ishlov berishning muayyan masalalarini yechish jarayonida ularni takomillashtirish "imkoniyatiga ega bo'lishi" lozim. Ko'pgina masalalarda bunday algoritmlar noma'lum yoki ma'lum bo'lib, dasturiy ta'minotni ishlab chiqish uchun yirik xarajatlarni talab qiladi (masalan, ko'rish va eshitish, timsollarni tanish, ma'lumotlarni tahlil qilish, avtomatik boshqarishda axborotlarga ishlov berishda), neyrokompyuting esa oson va tez amalga oshadigan parallel samarali yechimlar usullarini beradi. Keyin teskari masala ham qiziqish uyg'otadi: masalani yechish algoritmini aniqlash uchun uni ishlab chiqqan o'rgatuvchi tizimni tahlil qilish.

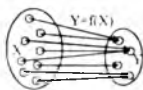
Axborot tuzilmalari, avvalo, neyrokompyuting sohasiga kiradi, bu neyron tarmoqlar bo'lib, axborotlarga ishlov berishning quyidagi boshqa adaptiv tuzilmalari sinfi ba'zida ko'rib chiqilsa ham: o'rganuvchi avtomatlar; genetik o'rgatuvchi tizimlari; aniq ma'lumotlarga moslashtiruvchi axborot saqlash tizimlari; imitatsion tizimlar; xotiraning assotsiativ tizimlari; noaniq mantiq tamoyillariga asoslangan o'rgatuvchi tizimlar [52].

Modelli neyron tarmoq (artificial neural network) – bu lokal kiruvchi signallar bo'yicha lokal amallarni bajaruvchi va lokal xotiraga ega bo'lgan, ishlov beruvchi elementlar (neyronlar) dan iborat ma'lumotlarga ishlov beruvchi parallel tizim. Elementlar bir-biri bilan bir yo'nalishli signal uzatish kanallari orqali bog'langan. Har bir ishlov berish elementi yagona chiqishga ega, ba'zan bir necha kanallar bo'lib, har biri bir xil chiqish signalini amalga oshiradi. Natijaviy signalni hosil qilish keng diapazonda o'zgarishi mumkin, lekin ishlov berishning lokal bo'lishi muhimdir. Bu ishlov berish natijasi kirish signalining aloqa orqali keluvchi joriy qiymatiga yoki elementning lokal xotirasida saqlanuvchi qiymatga bog'liq bo'lishini anglatadi.

Ilmiy yo'nalish sifatida neyron tarmoqlari nazariyasi birinchi marta Mak Kallok va Pitts (1943y.) ishida keltirilgan bo'lib, har qanday arifmetik yoki mantiqiy funksiyani oddiy neyron tarmog'i yordamida amalga oshirilishi mumkinligi tasdiqlangan edi. 1958-yilda Frank Rosenblatt perceptron deb ataladigan neyron tarmog'ini o'ylab topdi va birinchi neyrokompyuter "Mark-I" ni qurdi. Perceptron obyektlarni tasniflash uchun mo'ljallangan edi. O'rganish bosqichida "ustoz" perseptronga obyekt qaysi sinfga tegishli ekanligini bildiradi.

O'rgatilgan perceptron juda kam xato qilgan holda o'rgatishda ishlatilmagan obyektlarni tasniflash imkoniyatiga ega.

Neyron tarmoqlari nazariyasining navbatdagi rivoji 1983-1986 yillarda boshlandi. Bunda PDP (Parallel Distributed Processing) guruhi ishi muhim rol o'ynadi, unda ko'p qatlamli perseptron deb atalgan neyron tarmog'i ko'rib chiqilgan va tarmoq tanish (aniqlash), boshqarish va bashoratlash muammolarini hal qilish uchun juda samarali bo'lgan [53].



1.3.1-rasm. Ko'p qatlamli perseptron.

Funksiya f , m - o'lchamli fazodagi X vektorga nisbatan p -o'lchamli fazodagi Y vektor bo'yicha quriladi.

m - o'lchamli fazodagi X vektorga nisbatan p -o'lchamli fazodagi Y vektor bo'yicha quriladigan $Y = f(X)$ funksiyani ko'rib (1.3.1-rasm). Masalan, tasniflash masalasida vektor X - bu tasniflanuvchi obyekt bo'lib, m belgilar bilan tavsiflanadi; vektor Y bitta birlik va qolgan noldan tashkil topadi va X vektorga tegishli bo'lgan sinf indikatori hisoblanadi (birlik pozitsiyasi sinf raqamini bildiradi). Funksiya f har bir obyekt va u tegishli sinfga ko'ra quriladi.

Funksiya f ni topish kerak deb faraz qilaylik. Misollar bilan o'qitish usulidan foydalanamiz. Faraz qilamiz, $Y = f(X)$ ni qiymati aniqlanadigan X vektorning reprezentativ to'plami mavjud. (X, Y) juftlar to'plamini *o'rganuvchi to'plam* deb ataymiz. Endi tarmoq elementlari (neyronlar) qanday qurilganligi, ular o'rtasidagi aloqa qandayligi va tarmoqni o'rganish qaysi qoida bo'yicha yuz berishini aniqlab, *ko'p qatlamli repseptron* deb ataluvchi neyron tarmog'ini ko'rib chiqamiz.

Tarmoq elementi diskret vaqt ichida faoliyat ko'rsatadi va olingan signal asosida natijaviy signalni shakllantiradi. Element har biri ma'lum "vazn" ga ega bo'lgan bir qancha kirishlarga ega. Kirishga kelayotgan signallar tegishli vaznlari bo'yicha qo'shiladi va yig'indi signal ishlash chegarasi bilan solishtiriladi. Agar yig'indi signal chegara signaldan kam bo'lsa, u holda element chiqishida signal

qiymati nolga yaqin yoki unga teng, aks holda signal birga yaqin bo'ladi.

Har bir kirish qatlami elementi vektor X ga mos kirish (vazni 1) ga ega. Yashirin qatlam elementi kirish qatlamidagi elementlar bilan bog'lovchi m ta kirishga ega bo'ladi. Yashirin qatlam elementlarini kirish qatlam elementlariga bog'liqligi w aloqalarning "vaznlar" matritsasini tavsiflaydi va uning komponentlari aloqa samaradorligi kattaligini belgilaydi. Yashirin qatlamning har bir elementi kirish qatlamining barcha elementlardan signallar oladi. Shunday qilib, kirish tarmog'i qatlamiga X vektorni berib, yashirin qatlam elementi faolligi vektorini va keyin chiqish qatlami elementlari bo'yicha vektor Y ni olamiz. Tarmoq ishining natijasi elementlar o'rtasidagi aloqalar vaznlarining sonli qiymatlariga bog'liq [54].

Tarmoqlarni o'rganish elementlar o'rtasidagi aloqalar vaznlari to'g'ri tanlanishidan iborat. Aloqalar vaznlari shunday tanlanadiki, bunda o'rganuvchi tanlanma elementlari uchun umumiy o'rtacha kvadrat xatolik minimal bo'ladi. Bunga turli usullar bilan erishish mumkin. Perseptronni o'rganishdan so'ng natijalarini baholash imkonini beradigan sinovdan o'tkazish amali o'tkaziladi. Shu maqsadda o'rgatuvchi tanlanmalar odatda ikki qismga bo'linadi. Bir qismi o'rgatish uchun, ikkinchisi (natijasi ma'lum bo'lgani uchun) esa test jarayoniga jalb qilinadi. Sinov bosqichida tarmog'ni to'g'ri natijalari foizi perseptron ishining sifat ko'rsatkichi hisoblanadi [55].

Ko'pgina amaliy masalalar uchun tarmoqning yuqori sifatiga erishish mumkinligini ta'kidlash lozim (95 % va undan yuqori). f funksiyaning juda keng sinfini siliqlash uchun ko'p qatlamli perseptronlardan foydalanish imkonini asoslovchi bir qator teoremlar bor.

Bu yerda ma'lumotlarni siqish muammosini hal etishga e'tibor qaratamiz. Dastlabki ma'lumotlar qulay shaklda taqdim etiladigan, ishlov berishning timsollarni tanishda bosqichi bor bo'lib, xususan, bu ko'pincha turli ilovalarda paydo bo'ladi. Bu bosqichning natijalari ko'pincha tanib olish masalasini yechishda muvaffaqiyatlarni belgilab beradi.

Ma'lumotlarni siqishning mashhur usuli G.Gottrell, P.Munro, D.Zipser (1987) lar tomonidan taklif qilingan. Kirish va chiqish qatamlari elementlari soni bir xil va maxfiy qatlamda elementlar soni sezilarli darajada kam bo'lgan uch qatlamli perseptronni ko'rib

chiqaylik. Misollar asosida o'rgatish natijasida (o'rgatuvchi tanlanmalar vektorlarida) perseptron kirish qatlamiga berilgan vektor X ni chiqishda berishi mumkin deylik. Bunday perseptron ma'lumotni avtomatik siqadi: yashirin qatlam elementlarida kirishga berilgan vektor uzunligiga nisbatan sezilarli darajada qisqa vektor shakllanadi.

Ba'zi vektorlar to'plamini aloqa kanallari orqali uzatishda dastlab axborotlarni siqish va shu bilan birgalikda ularni uzatish kanallari sonini kamaytirish zarur deb faraz qilamiz. Uzatish chizig'ining bir tomoniga perseptronning kirish va yashirin qatlamlarini joylashtiramiz, yashirin qatlam elementlari ishi natijalarini esa aloqa kanali bo'yicha uzatamiz. Tarmoqning boshqa uchiga yashirin qatlam va chiqarish qatlami nusxalarini qo'yamiz, shunda yashirin qatlamli elementlarga ega qisqa vektor chiqish qatlami elementlariga keladi va boshlang'ich vektor ishlab chiqiladi (dekompresiya).

Replikatif neyron tarmoqlarini o'rganishga bo'lgan yondashuvlardan biri o'rta yashirin qatlam elementlaridan chiqayotgan signal qanday bo'lishiga asoslanadi. Bu tabiiy koordinatalar bo'lishi kerak. Shunday qilib, n -o'lchovli birlik kub ichini bir xil va zich to'ldiruvchi, shuningdek tabiiy koordinatalar xususiyatlarini ega bo'lgan chiqish signallarini faol ishlab chiqaradigan o'rta yashirin qatlam elementlari hisobiga bunday o'rganish usulidan foydalanish mumkin. Shuningdek, pog'onali funksiyalarni o'rganish bosqichida uzatish funksiyasi sifatida o'rta yashirin qatlam elementlaridan foydalanish mumkin.

Replikatif tarmoqlarni amaliy qo'llash masalasida hal qiluvchi argument, ko'pgina ma'lumotlar generatorlari kuchli strukturalangan va nisbatan kichik o'lchamdagi xilma-xil ma'lumotlar bilan modellashtirilgan holat hisoblanadi. Bu shuni anglatadiki, agar mos tabiiy koordinatalar tizimi qurilgan bo'lsa, unda bu koordinatalar ma'lumotlarning boshlang'ich vektorlari o'rnida ishlatilishi mumkin. Bunday yondashuv timsolarni tanish, ma'lumotlarni siqish, boshqarish va shu kabi masalalarni yechishni soddalashtiradi, chunki ko'p sonli belgilarga ega boshlang'ich vektorlar o'rnida kam sonli komponentlarga ega bo'lgan tabiiy koordinatalardan foydalanish mumkin [55].

Replikatif neyron tarmoqlari o'rta yashirin qatlam kirish va chiqish qatlamlariga nisbatan kam elementlarga ega bo'lganligi

hisobiga fazodagi murakkab ehtimolli taqsimlanishlarga ega vektorlarning ixtiyoriy to'plamlarini ixcham va samarali aks etiradi.

Neyrokompyuting haqida dastlab 1940-yilda so'z yuritildi, keyin 1950- va 1960-yillardagi ishlanmalardan so'ng yana 1968 dan 1985 yilgacha bo'lgan tinchlik davri boshlandi. 1986-yilda yangi jonlanish davri boshlandi va hozir biz neyrokompyuting texnologiyalari sohasidagi sezilarli o'sishga guvoh bo'lib turibmiz. Bugungi kunda funksiyalarni silliqlantirish, tizimlarni identifikatsiyalash va ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish kabi sohalarida ko'pina yangi imkoniyatlar ochilgan.

Biroq, miya tomonidan axborotlarga ishlov berish jarayonlarini tushunishga bo'lgan barcha urinishlar hozircha muvaffaqiyatsiz bo'lib chiqmoqda. Neyronli modellashtirish ustidagi keng ko'lamli ishlar yarim asrdan ko'p vaqt davomida olib borilayotganligiga qaramasdan, miyaning axborotlarga ishlov beruvchi birorta ham qismini ishlov berish jarayoni oxirigacha aniqlangan emas. Shuningdek, miyadagi birorta neyron uchun ham u axborotlarni impulslar ketma-ketligi ko'rinishida uzatishda foydalanadigan kodni aniqlay olganimiz yo'q. Neyrokompyuting texnologiyalari sohasida kutilayotgan o'sishlarning barchasi, neyronli modellashtirish sohasidagi yangi kashfiyotlar bilan bog'liq bo'lishi ehtimoldan holi emas. Axborotlarga ishlov berishning biologik asoslarini kashf etilishi sun'iy miya yaratishdagi jadal faollikni keltirib chiqaradi.

Ko'pgina tadqiqot guruhlarining harakatlari, hozirgi vaqtda neyron tarmoqlarining ko'p sondagi turli "o'rgatish qoidalari" va arxitekturasini, ularning apparatli tatbiqlarini to'planishi va ulardan amaliy masalalarni yechishda foydalanishga olib keldi. Bu intellektual ishlanmalar neyron tarmoqlarining "jamlamasi" ko'rinishida bo'lib, har bir tarmoq o'z arxitekturasini, o'rganish qoidasiga ega va ma'lum masalalar to'plamini hal etadi.

So'nggi o'n yillikda strukturali elementlarni standartlashtirishga harakat qilinmoqda: har bir neyron tarmog'i berilgan strukturaga ega bo'lgan universal neyrokompyuterda amalga oshiriladi.

Ideal neyrokompyuterning funksional komponentlarini ajratishning asosiy qoidalari (Mirkes bo'yicha):

- nisbiy funksional ajratilganlik: har bir komponent aniq funksiyalar to'plamiga ega;

- boshqa komponentlarni o'zgartirmasdan ixtiyoriy komponentni turlicha amalga oshirishni o'zaro almashuvchanlik imkoniyati.

Bugungi kunda turli masalalar uchun turli xil yuqori parallel neyro-tezlatuvchilar (soprotsessorlar) keng tarqalgan. Universal neyrokompyuterlarning modellari haminqadar, chunki ularning ko'pchiligi maxsus qo'llanishlar uchun amalga oshirilgan. Synapse neyrokompyuteri (Siemens, Olmoniya), protsessor Neuro Matrixlar neyrokompyuterlarga misol bo'la oladi. Texnik nuqtainazardan bugungi kundagi neyrokompyuterlar – bu bir xil buyruq va ko'p ma'lumotlar oqimiga ega hisoblash tizimlari. Bu – ommaviy parallelizimli hisoblash tizimlari rivojlanishining asosiy yo'nalishlaridan biri.

Sun'iy neyron tarmog'i kompyuter dasturi kabi kompyuter (neyron) dan kompyuter (neyron) ga (nöro) uzatilishi mumkin. Bundan tashqari, uning asosida ixtisoslashtirilgan yuqori tezlikda ishlaydigan analogli qurilmalarni yaratish mumkin.

Neyron tarmog'ining universal kompyuter (neyron) dan uzoqlashishi, universal qurilmada o'rganuvchi va topshiriq beruvchi, o'qitish algoritmi va arxitektura takomillashuvi bilan boshqariladigan boy imkoniyatlardan foydalanuvchi tarmoqdan, to o'rganish va takomillashuv imkoniyatlarisiz to'la uzoqlashishgacha bo'lgan darajalarga farqlanadi.

Neyron tarmog'ini uzatishga tayyorlash yo'llaridan biri uning verbalashtirish hisoblanadi: o'rgantilgan neyron tarmog'i foydali belgilarni saqlagan holda minimallashtiriladi. Minimallashtirilgan tarmoqlar tavsifi ixcham va ko'pincha tushunarli tasavvur uyg'otadi.

Zamonaviy kompyuterlarning mavjud va o'sib borayotgan hisoblash imkoniyatlari, ketma-ket ulangan kompyuterlarda qo'llaniladigan, ma'lumotlarga neyron tarmoqli ishlov berish tamoyillarini ishlatuvchi dasturlarning keng tarqalishiga olib keldi. Neyron tarmoqlarning noformal masalalarni yechish qobiliyatiga asoslangan holda, bu yondashuv parallelizmning neyro-hisoblash afzalligidan foydalanmaydi.

Bunday "virtual" neyroemulyatorlarning afzalliklari quyidagilardan iborat [56]:

- agar umumiy vazifadagi kompyuterlarni yuklash mumkin bo'lsa, yangi qurilmalarga bo'lgan xarajatlar talab etilmaydi;

- foydalanuvchi maxsus protsessorlarda dasturlashning asosiy jihatlari va ularni asosiy kompyuter bilan mos tushishini o'zlashtirishi shart emas;

- maxsus protsessor faollashtirish funksiyalarining cheklangan to'plamiga ega bo'lib, ma'lum masalalar atrofida eng yuqori unumdorlikka erishganida universal EHM tarmoqning strukturası va ularni o'rganish usullariga hech qanday cheklovlar qo'ymaydi.

Shunday qilib, agar so'z real vaqt ichida tasvirlarni tanish (yoki shunga o'xshash boshqa ilovalar) haqida emas, odatdagi ma'lumotlar bazasiga ishlov berish va tahlil qilish haqida ketayotgan bo'lsa, unda neyro-tezlatuvchi bilan bog'lanishdan ma'no yo'q, bunday holarda neyro-emulyatorlardan foydalanish bilan cheklanish mumkin. Shartli ravishda neyronli dasturlarni umumiy vazifadagi tayyor neyro-paketlarga hamda axborotlarga neyrotarmoqli ishlov beradigan elementli yechimlar (qarorlar) majmuiga ajratish mumkin. Neyro-paketlar neyro ilovalarni ishlab chiqishning qimmatroq tizimlari bo'lib, katta imkoniyatlarga ega, lekin ular ko'p hajmdagi bilimni ham talab etadi. Neyrokompyuterlar va ularning dasturiy emulyatorlari amaliy masalalarni yechishning samarali vositasi sifatida qiziqish uyg'otadi.

Neyrotarmoqlar ko'proq quyidagi masalalarni yechishga moslashgan:

- nuqtalar to'plami bo'yicha funksiyalarni silliqlantirish (regressiya);

- sinflarning berilgan to'plamiga ko'ra ma'lumotlarni tasniflash;

- oldindan noma'lum bo'lgan sinflar-prototiplarni aniqlash bilan ma'lumotlarni klasterlash;

- ma'lumotlarni siqish;

- yo'qolgan ma'lumotlarni tiklash;

- assotsiativ xotira;

- optimallashtirish va optimal boshqarish.

Nuqtalar to'plamiga ko'ra funksiyalarni *silliqlantirish* – bu nokorrekt masalalar, ya'ni yagona yechimga ega bo'lmagan masalalarning tipik misoli. Yagonalikka erishish uchun bunday masalalarni *muntazamlashtirish* – ba'zi muntazamlashtiruvchi funksionalni minimallashtirish talabi bilan to'ldirish zarur. Bunday funksionalni minimallashtirish neyrotarmoqni o'rganishning maqsadi hisoblanadi.

Optimallashtirish masalasi ham xuddi shu tarzda maqsad funksiyalarini berilgan cheklanishlar to'plamida minimallashtirishga olib kelinadi.

Boshqa tomondan qaraganda, tasniflash – bu diskret qiymatlar (sinflar identifikatori) bilan funksiyalarni silliqlantirishdan boshqa narsa emas, chunki uni ma'lumotlar bazasidagi yo'qotishlarni to'ldirishning xususiy holi kabi qarash ham mumkin.

O'z navbatida, yo'qotilgan ma'lumotlarni *tiklash* masalasi – bu timsollarni uning qismlariga ko'ra tiklaydigan *assotsiativ xotiradir*. Klasterlash masalasida bunday timsollar sifatida klasterlarning markazlari xizmat qiladi. Nihoyat, agar axborotni uning biror-bir qismiga ko'ra tiklashga erishilsa, bu holat axborot (ma'lumot) ni *siqishga* erishilganligini bildiradi.

Neyrokompyutingni asosiy paradigmalari – barcha neyrokompyuterlarning ishlash prinsipi va o'qitishini birlashtiruvchi tomonlariga e'tibor qaratamiz. Asosiysi, ularni birlashtiruvchi – bu *timsollarga* ishlov berishga yo'naltirilganlik.

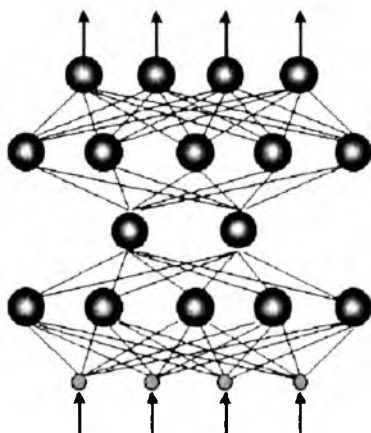
Paradigmalarni ma'lumotlarga ishlov berish usullari kabi ifodalaymiz.

Neyrotarmoqlarning muhim jihat *aloqalarning globalligi* hisoblanadi. Sun'iy neyrotarmoqlarning asosiy elementlari – formal neyronlar – avvaldan keng diapazonli axborotlar bilan ishlashga mo'ljallangan. Neyron tarmog'ining har bir neyroni ma'lumotlarga ishlov berishni oldingi qatlamining barcha neyronlari bilan bog'langan bo'ladi.

1.3.2-rasmda ko'p qatlamli perseptronning keng tarqalgan arxitekturasi tasvirlangan. Formal neyronlarning ketma-ket ulangan EHM ning asosiy elementlaridan asosiy farqi – faqatgina ikkita kirishga ega bo'lgan *mantiqiy jo'mrakning* mavjudligidir. Natijada, universal protsessorlar, har biri qat'iy belgilangan funksiyani bajaruvchi modullar ierarxiyasiga asoslangan murakkab arxitekturaga ega bo'ladi. Bundan farqli ravishda, neyrotarmoqlarning arxitekturasi sodda va universaldir.

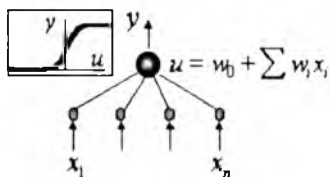
Tipik formal neyron sodda amalni – o'zining kirishlari qiymatini o'zida lokal saqlanayotgan vaznlar bilan solishtirish va ular ustida noxiziqlik o'zgartirishlarni amalga oshiradi (1.3.3-rasm):

$$y = f(u), \quad u = w_0 + \sum w_i x_i.$$



1.3.2-rasm. Sun'iy nerotarmoqlardagi aloqalar arxitekturası.

Faollashtirishning chiqish funksiyasi $f(\cdot)$ ni nochiziqliligi prinsipial holatdir. Agar neyronlar chiziqli elementlar bo'lganda edi, unda neyronlarning ixtiyoriy ketma-ketligi chiziqli o'zgartirishlarni keltirib chiqargan va butun neyrotarmoq bitta neyronga (yoki bir qancha chiqishlar bo'lgan holda bitta neyronlar qatlamiga) ekvivalent bo'lar edi. Nochiziqlilik chiziqli superpozitsiyani inkor etadi va neyron tarmog'ining imkoniyatlari alohida neyronlarning imkoniyatlaridan yuqori ekanligini bildiradi.



1.3.3-rasm. Neyron kirishlarining chiziqli kombinatsiyalari ustida nochiziqli amal bajarish.

Timsollarga samarali ishlov berish uchun zarur bo'lgan neyro-hisoblashlarning ommaviy parallelizmi neyrotarmoqlarda axborotlarga *ishlov berishning lokalligi* bilan ta'minlanadi. Har bir neyron faqatgina o'zi bilan bog'liq bo'lgan shunday neyronlardan kelgan lokal axborotga, hisoblashning umumiy rejasiga murojaatsiz, javob beradi. Universal EHM da esa hisoblashning umumiy rejasiga murojaat orqali

javob beriladi. Shunday qilib, neyrotarmoqli algoritmlar lokal hisoblanadi va neyronlar parallel faoliyat yuritish qobiliyatiga ega.

Neyrotarmoqlarda hisoblashning global rejasining yo'qligi ularni dasturlashning asosiy xarakterini belgilab beradi. Shuningdek u lokalxarakterga ham ega: har bir neyron o'zining parametri – *sinaptik vaznini* butun tarmoqning samarali ishlashi haqidagi lokal axborotga mos ravishda o'zgartiradi. Tarmoq bo'ylab bunday axborotlarning tarqalish rejimi va unga moslashishga ko'ra neyronlar *o'rganish* xarakteriga ega. Dasturlashning bunday usuli tarmoqdan ma'lumotlarga ishlov berishni talab etilayotgan usuli xossalarini samarali e'tiborga olish imkonini beradi va algoritm oldidan berilmaydi, balki ma'lumotlar – namunalar (tarmoqning o'zi o'rgangan misollar) orqali yuzaga keladi. Aynan shu yo'l bilan biologik neyrotarmoqlarning o'z-o'zidan o'rganish jarayonida senorli axborotlarga ishlov berishning samarali algoritmlari ishlab chiqildi.

Neyrotarmoqlarning muhim jihati ularning *umumlashtira olish* qobiliyati hisoblanadi, chunki ular faoliyati davomida uchragan barcha vaziyatlarni kichik ulushlarda o'rganib boradi. Bu ularning EHM dan ajratib turuvchi asosiy farqi hisoblanadi, chunki EHM da dastur oldindan bo'lishi mumkin bo'lgan barcha vaziyatlarni e'tiborga olgan bo'lishi talab etiladi. Neyrotarmoqlarning yuqorida aytilgan jihatlari ilovalarni ishlab chiqish jarayonini arzonlashtirish imkonini beradi.

Neyrokompyutingning o'ziga tortuvchi muhim jihati neyrotarmoqlarning o'rganishdagi yagona tamoyili hisoblanib, unda empirik xatolar minimalashtirilib boriladi. Tarmoqning berilgan konfiguratsiyasini baholovchi xatolik funksiyasi, o'rganish nima maqsadda olib borilayotganligiga ko'ra tashqaridan beriladi. Lekin keyinchalik tarmoq xatolikni minimallashtirib, o'zining konfiguratsiyasi (o'zining barcha sinaptik vazni holatlari) ni takomillashtirib boradi.

Barcha o'rganish algoritmlarining asosiy g'oyasi, xatolik funksiyasi bo'yicha tezkor tushish trayektoriyasini tanlash uchun konfiguratsiyalar fazosida lokal gradiyentni e'tiborga olish hisoblanadi. Biroq, xatolik funksiyasi suboptimal yechimlarni aks ettiruvchi lokal minimumlar to'plamiga ega bo'lishi ham mumkin, shuning uchun tarmoq bundan lokal minimumlarga tushib qolishini oldini olish maqsadida gradiyentli usullar stoxastik optimallashtirish

elementlari bilan to'ldiriladi. O'rganishning ideal usuli tarmoq konfiguratsiyasining global optimumini topishi kerak.

Tarmoqning xatosi uning konfiguratsiyasi, ya'ni undagi barcha sinaptik vaznlar to'plamiga bog'liq. Lekin bu bog'liqlik chiziqli emas, balki vositalidir. Gap shundaki, vaznlarning bevosita qiymatlari tashqi kuzatuvchi uchun maxfiy. Kuzatuvchi uchun tarmoq xuddi qora qutiga o'xshaydi, tarmoqning ishini baholash uchun kuzatuvchi faqatgina uning xulqiga, ya'ni berilgan kirishlarda tarmoq chiqishlarining qiymatlari qanday ekanligiga asoslanishi mumkin. Umumiy holda xatolik funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$E(w) = E\{x^a, y^a, y(x^a, w)\}$$

Bu yerda: $\{x^a, y^a\}$ – neyron tarmoq o'rganadigan *namunalar* to'plami (ya'ni kirish-chiqishlar juftligi); $\{y(x^a, w)\}$ – neyron tarmog'ining sinaptik vaznlari aniq qiymatlariga bog'liq bo'lgan chiqishlarning real qiymatlari.

Neyrotarmoqning haqiqiy chiqishi etalon bilan solishtiriladigan o'rganishning bunday usuli *o'qituvchi bilan o'rganish* deyiladi.

Ba'zida chiqish axboroti to'laligacha ma'lum bo'lmaydi (masalan, etalon javoblar o'rniga faqatgina tarmoqning ushbu konfiguratsiyasi berilgan masalani yomon yoki yaxshi hal etayotganligi ma'lum bo'ladi). O'rganishning bunday turi *ko'mak yordamida o'rganish* (*reinforcement learning*) deyiladi.

Umuman aytganda, chiqishning kutilayotgan qiymatlari umuman noma'lum va tarmoq faqatgina kirish ma'lumotlari to'plami $\{x^a\}$ ga asosan o'rganishni amalga oshiradigan o'rganish rejimi ham mavjud bo'lishi mumkin:

$$E(w) = \{x^a, y(x^a, w)\}$$

Tarmoqlarning bunday o'rganish rejimi *o'qituvchisiz o'rganish* deyiladi. Bunday hollarda ma'lumotlar massividagi yashirin qonuniyatlarni tarmoqni o'zi topishiga tayaniladi. Masalan, ma'lumotlar ortiqcha bo'lganda axborotlarni siqishga ruxsat beriladi va tarmoq bunday ma'lumotlarni eng ixcham aks ettirish usulini topadi, ya'ni bunday turdagi kirish axborotlarini optimal kodlashni amalga oshiradi.

Amaliyot nuqtai-nazaridan “belgilangan” ma'lumotlar $\{x^a, y^a\}$ “belgilanmagan” ma'lumotlar $\{x^a\}$ (masalan, “o'qituvchi” inson-

ekspert bo'lgan hollar uchun) kabi ko'p emas. Shunday holatlarda berilgan ma'lumotlarni faqatgina nisbatan soddaroq va ixcham neyrotarmoqlar o'rganishi mumkin. Aksincha, o'qituvchisiz o'rganadigan neyrotarmoqlar ko'pincha "nochor" ma'lumotlarning kattagina massivlariga ishlov berish uchun ishlov berishdan oldingi filtr sifatida ishlatiladi. Ma'lumotlar tabiiy ravishda kirsh-chiqishlarga tavsimplanadigan vaziyatlarda ko'rsatib o'tilgan farqlar yo'qoladi (masalan, vaqtli qatorlarda, bunda qatorning keyingi qiymati chiqish, oldingisi esa mos ravishda neyron tarmoqning kirishi bo'ladi).

1.3.1-jadval

Neyrotarmoqning o'rganish rejimlarini solishtirish

<i>O'rganish turi:</i>	<i>"O'qituvchi bilan"</i>	<i>"Ko'mak yordamida"</i>	<i>"O'qituvchi"siz"</i>
O'rganishga namuna sifatida nima beriladi?	Kirish-chiqish juftlari to'plami $\{x^a, y^a\}$	Tarmoq chiqishlarining bahosi $\{x^a, y(x^a)\}$	Faqat kirish to'plamlari qiymatlari x^a
Tarmoqdan nima kutiladi?	Diskret y^a lar kirishlarni tasniflaganda namunalarni umumlashtiruvchi funksiyani toping. Umuman o'xshash vaziyatlarda o'xshash tarzda javob berishga o'rganiladi.	Xulqning berilgan "to'g'ri" chizig'i o'rganiladi.	Ma'lumotlar massividagi qonuniyatni topish, taqsimlanish funksiyasining natijaviy ma'lumotlarini qidirish, ma'lumotlarning eng ixcham tavsiflarini topish.

Axborotlarga ishlov berish usuliga tayanib, tarmoqda teskari aloqalar tugunining mavjud yoki yo'qligi aytiladi. Agar neyronlar o'rtasida teskari aloqalar mavjud bo'lmasa (ya'ni tarmoq ketma-ket qatlamlar strukturasi ega bo'lsa, bunda har bir neyron faqatgina o'zidan oldingi neyrondan axborot oladi), tarmoqdagi axborotlarga ishlov berish bir yo'nalishli bo'ladi. Kirish signaliga qatlamlarning ketma-ketligida ishlov beriladi va javob qatlamlar soniga teng bo'lgan taktlar soni orqali kafolatlangan tarzda olinadi.

Teskari aloqalarning mavjudligi neyrotarmoq dinamikasini oldindan aytib bo'lmaydigan (bu holda *rekurrent* deb ataladigan) darajada o'zgartirishi mumkin. Umuman, tarmoq "aylanib qolib" javob bermasligi mumkin, chunki Tyuringga ko'ra, *ixtiyoriy* tarmoq uchun uning elementlari muvozanat (*to'xtab qolish muammosi* deb

ataladigan) holatiga kelishini aniqlash imkonini beradigan algoritm mavjud emas.

1.3.2-jadval.

Neyrotarmoqlar aloqalari arxitekturalarini solishtirish

Tarmoqlarni solishtirish	Teskari aloqalarsiz (ko'p qatlamli)	Teskari aloqalar bilan
<i>Afzaliklar</i>	Amalga oshirishning soddaligi. Ma'lumotlarning qatlamlardan o'tganidan so'ng javob olinishining kafolatlanganligi.	Tarmoq o'lchamlarini minimallashtirish – neyronlar ma'lumotlarga ishlov berishda ko'p marta ishtirok etadi. Tarmoq hajmining kichikligi o'rganish jarayonini yengillashtiradi.
<i>Kamchiliklar</i>	Bir xil murakkablik sathidagi algoritmlar uchun ko'p sondagi neyronlarning talab etilishi. Natija: o'rganishning o'ta murakkabligi.	Hisoblashlar muvofiqligini kafolatlovchi maxsus shartlar talab etiladi.

Rekurrent tarmoqlarda neyronlar axborotlarga ishlov berishda ko'p marta ishtirok etadi va ulardagi ishlov berishning xilma-xil va chuqur bo'lishini ta'minlaydi. Bunday hollarda tarmoqni to'xtab qolmasligi uchun maxsus chora-tadbirlar qabul qilishga (masalan, Xopfild tarmog'idagi kabi simmetrik aloqalardan foydalanish yoki *Neyrokompyutingdagi Multi Neuron* guruhlar emulyatoridagi kabi iteratsiyalar sonini majburiy cheklashga) to'g'ri keladi.

1.3.3-jadval.

Neyrotarmoqlarning tasnifi

<i>O'rganish turi (Coding)</i> <i>Aloqalar turi (Decoding)</i>	<i>"O'qituvchi" bilan</i>	<i>"O'qituvchi"siz</i>
<i>Teskari aloqalarsiz</i>	<i>Ko'p qatlamli perseptronlar (funktsiyalarni silliqlantirish, tasniflash)</i>	<i>Bellashuvchi tarmoqlar, Koxonen xaritalari (ma'lumotlarni siqish, belgilarni ajratish)</i>
<i>Teskari aloqalar bilan</i>	<i>Rekurrent approksimatorlar (vaqtlı qatorlarni bashoratlash, on-line rejimida o'rganish)</i>	<i>Xopfild tarmog'i (assotsiativ xotira, ma'lumotlarni klasterlash, optimallashtirish)</i>

Yuqorida tavsiflangan va tarmoqni o'rganish (dasturlash) va faoliyat ko'rsatish turi bo'yicha farqlovchi ikkita omil bilan

cheklangan holda birinchi marta Bart Kosko tomonidan taklif etilgan asosiy neyro-arxitekturaning foydali tasnifini olamiz [43] (1.3.3-jadval).

Ushbu jadvalda tarmoqlarning turli arxitekturalari axborotlarga ishlov berish usuli va ularni o'rganish yo'liga ko'ra yacheykalar bo'yicha taqsimlangan.

1.4. Tadrijiy (evolyutsion) hisoblashlar

Diskret optimallashtirish masalalarini yechishga bo'lgan talab turli ilovalarda, birinchi navbatda, texnik obyektlarni loyihalash va murakkab jarayonlarni boshqarishda o'rinnidir. Bunday ilovalardagi eng muhim masalalar katta o'lchami bilan xarakterlanib, ularni yechishda optimallashtirishning ma'lum aniq usullaridan foydalanishning imkoni yo'q. SHuning uchun optimallashtirishning taqribiy usullaridan foydalanish rivoj topdi va ularning ichidan eng istiqbollisi tadrijiy usullar bo'lib chiqdi.

Bugungi kunda tadrijiy usullarning uchta guruhi: genetik usullar (Genetic Algorithms - *G*), "olomon" xulqi usullari (Particles Swarm Optimization - *P-O*) va "chumolilar koloniyasi" usullari (Ant Colony Optimization - *A-O*) faol o'rganilmoqda va rivojlanmoqda.

Tadrijiy hisoblashlar (*evolutionary computation*) sun'iy intellektning qiyin ifodalanadigan masalalari (timsollarni tanish, klasterlash, assotsiativ qidiruv) ni yechishda ham optimallashtirish, silliqlantirish va ma'lumotlarga intellektual ishlov berishning qiyin masalalarini yechishda ham o'zining samaradorligini ko'rsatdi. Tadrijiy hisoblashlarning afzalliklariga moslashuvchanlik, o'rganish qobiliyati, parallelizm, sun'iy neyron tarmoqlari va noaniq mantiq paradigmalar bilan birgalikda gibrid intellektual tizimlarni qurish imkoniyatlari kiradi.

O'zida genetik algoritmlar, genetik dasturlash (GD), tadrijiy strategiya va tadrijiy dasturlash (TD) ni mujassamlashtiruvchi tadrijiy hisoblashlarning yagona konsepsiyasini yaratish farazining istiqboli kattadir. Bu paradigmalar tirik tabiatda yuz beruvchi jarayonlarning o'xshashliklari bo'lib, amaliyotda ham o'zlarining sodda emasliklarini isbotlagan.

Tadriijiy hisoblashlar nazariyasining kashshoflaridan biri bo'lgan L.Fogel rivojlanish va o'zini-o'zi tashkil etish nazariyasini barcha intellektual jarayonlar va tizimlarning asosiy konsepsiyasi deb biladi.

Tadriijiy hisoblash konsepsiyasi tabiiy tadriijiy jarayonning ba'zi shakllantirilgan tamoyillariga asoslanishi lozim bo'lganligi sababli, tadriijiy modellashtirishning asosiy shakllarini qo'llash sferasi va uslubiy farqlar to'g'risidagi masalalar paydo bo'ladi.

Tabiat o'zining barcha ko'rinishlari bilan murakkabliklari va boyliklarini namoyon etadi. Bunga murakkab ijtimoiy tizimlar, immun va neyron tizimlari hamda turlar o'rtasidagi murakkab o'zaro aloqalarni kiritish mumkin. Bularning ko'pchiligini yagona nazariya: irsiyat, o'zgaruvchanlik va tanlanish bilan boradigan rivojlanish nazariyasi bilan tushuntirish mumkin [57].

Tadriijiy usullar optimallashtirish va strukturali sintez masalalarini yechishning taqribiy usullari hisoblanadi. Tadriijiy usullarning ko'pchiligi vaziyatlarni o'rganishga statistik yondashuv va qidirilayotgan yechimga iteratsion yaqinlashishga asoslangan.

Tadriijiy hisoblashlar sun'iy intellektning bo'limlaridan birini tashkil qiladi. Bunday yondashuv asosida sun'iy intellekt tizimlarini qurishda asosiy e'tibor, keyinchalik o'zgarishi (tadriijiy rivojlanishi) mumkin bo'lgan boshlang'ich modellarni qurishga qaratiladi. Bunda modellar turli yondashuvlar asosida tuzilgan bo'lishi mumkin (masalan, bu neyron tarmog'i yoki mantiqiy qoidalar to'plami bo'lishi mumkin). Asosiy tadriijiy usullarga yumshatish, genetik, "olomon" xulqi, chumolilar koloniyasi, genetik dasturlash usullari kiradi.

Matematik dasturlashning aniq usullariga nisbatan tadriijiy usullar qabul qilingan vaqt ichida optimalga yaqinroq bo'lgan yechimni topish imkonini beradi. Optimallashtirishning evristik usullaridan farqli ravishda tadriijiy usullar ilovalarning xususiyatlariga kam bog'liq (universalroq) bo'ladi va ko'p hollarda optimal yechimga yaxshi darajadagi yaqinlashuvni ta'minlaydi. Tadriijiy usullarning universalligi boshqariluvchi o'zgaruvchilarning nometrik fazolariga (ya'ni boshqariluvchi o'zgaruvchilar orasida miqdoriy ifodalarga ega bo'lgan lingvistik kattaliklar ham bo'lishi mumkin) ega masalalarda qo'llaniluvchanligi bilan belgilanadi.

Yumshatish usuli (Simulated Annealing) da detallarni yumshatish vaqtida jismlarning potensial energiyasini minimallashtirish jarayoni aks ettiriladi. Qidiruvning joriy nuqtasida

ba'zi boshqariluvchi parametrlarning o'zgarishi yuz beradi. Yangi nuqta doimo maqsad funksiyasini yaxshilashda, ba'zi holardagina esa uning yomonlashuvida qabul qilinadi.

Tadrijiy usullarning muhim xususiy holi genetik usullar va algoritmlar hisoblanadi. Genetik algoritmlar davomchilik yordamida yaxshi yechimlarni qidirish hamda ularning tadrijiy rivojlanishini aks ettirish jarayonida ma'lum ilovalarning obyektlarini foydali xossalari to'plamini kuchaytirishga asoslanadi.

Obyektlarning xossalari, tadrijiy usulda *xromosoma* deb ataluvchi yozuvda birlashtiriluvchi parametrlarning qiymatlari bilan aks ettiriladi. Genetik algoritmlarda esa *populyatsiya* deb ataluvchi xromosomalar ostto'plamidan foydalaniladi.

Genetik tamoyillar imitatsiyasi – maqsad funksiyasini baholash asosida obyektlarning yangi avlodiga qo'shish uchun populyatsiya a'zolari o'rtasidagi ota-onalarning ehtimoliy tanlovi, ularning xromosomalarini chatishtirish, yangi avlodlarni saralash avloddan-avlodga bo'lgan maqsad funksiyasining qiymatini tadrijiy yaxshilashga olib boradi.

Tadrijiy usullar orasida xromosomalar to'plami bo'lmagan, balki yagona xromosoma bo'lgan (genetik algoritmlardan farqli ravishda) usullar ham qo'llaniladi. Shunday qilib, diskret lokal qidiruv usuli (Hillelimbing) alohida parametrlarning (ya'ni yozuvdagi maydonlarning yoki xromosomadagi genlarning qiymatlarning) tasodifiy o'zgarishiga asoslanadi. Bunday o'zgarishlar *mutatsiya* deb ataladi. Navbatdagi mutatsiyadan so'ng foydalilik funktsiyasi (Fitness Function) f ning qiymati baholanadi va agar f yaxshilansagina mutatsiya natijalari xromosomada saqlanadi. "Yumshatishni modellashtirish" da mutatsiyaning natijasi olingan f ning qiymatiga ko'ra ba'zi ehtimollik bilan saqlanadi.

Particles Swarm Optimization (PSO) usulida o'zining holatini eng yaxshi agentning holatiga moslashtirishga intiluvchi agentlar to'plamining xulqi aks ettiriladi.

Chumolilar koloniyasi usuli chumolilarning o'z inlaridan oziq-ovqat manbaigacha bo'lgan yo'ldagi yo'nalishlari uzunligini minimallashtiruvchi xulqi aks ettiriladi [52].

Genetik algoritmlar – bu ko'pincha funksionalli optimallashtirish masalalarini yechishda ishlatiladigan qidiruvning moslashuvchan usullaridir. Ular tirik organizmlarning genetik jarayonlariga

asoslanadi: biologik populyatsiyalar bir nechta avlodlar davomida tabiiy tanlanish qonuni va Charlz Darvin tomonidan ochilgan "eng moslashuvchanlarigina yashab qoladi" (survival of the fittest) tamoyiliga bo'ysungan holda rivojlanib boradi. Genetik algoritmlar ushbu jarayonga taqlid qilgan holda, agar mos ravishda kodlangan bo'lsa, real masalalarni yechishni "rivojlantirish" imkoniga ega. Masalan, genetik algoritmlar ko'prik strukturalarni loyihalash, mustahkamlik/vaznning maksimal nisbatini aniqlash uchun ishlatiladi. Ular shuningdek, kimyo-texnologik jarayonlarni interfaol boshqarish yoki ko'p protsessorli kompyuterda yuklamani balanslashda ham ishlatilishi mumkin.

Genetik algoritmlarning asosiy tamoyillari Holland (Holland, 1975) tomonidan ifodalangan edi. Tabiatda yuz beradigan tadrijiy rivojlanishdan farqli ravishda, genetik algoritmlar faqatgina rivojlanish uchun muhim bo'lgan populyatsiyalardagi jarayonlarni modellashtiradi.

Tabiatda atrof-muhitga eng yaxshi moslashgan turlargina nisbatan ko'p avlodlar qoldirish imkoniga ega bo'lishi mumkin. Kuchsiz moslashgan turlar yo umuman avlod qoldirolmaydi, yo ularning avlodlari soni kam bo'ladi. Bu holat yuqori moslashuvchanlikka ega bo'lgan turlarning genlari har bir keyingi avlodda oshib boruvchi miqdorda tarqalishini bildiradi.

Ba'zida turli ota-onalardagi yaxshi tavsiflarning kombinatsiyasi ularning moslashuvchanliklaridan yuqori bo'lgan "super moslashuvchan" avlodni paydo bo'lishiga olib keladi. Shunday qilib, bunday turlar rivojlanaveradi va borgan sari yashash muhitiga yanada yaxshi moslashaveradi.

Genetik algoritmlar bunday mexanizmlar bilan to'g'ridan-to'g'ri o'xshashlikdan foydalanadi. Ular har biri berilgan muammoni mumkin bo'lgan yechimlarini aks ettiruvchi "turlar" to'plami bilan ishlaydi. Har bir tur uning masalani yechish imkonini qanchalik "yaxshi" ekanligiga muvofiq, "moslanuvchanlik" o'lchovi bilan baholanadi. Eng moslashuvchan bo'lgan turlar boshqa populyatsiyaning turlari bilan "kesishuvchi chatishtirish" yordamida avlod "qoldirish" imkonini oladi. Bu, o'zida ota-onalaridan meros bo'lgan bir nechta tavsiflarni mujassamlashtiruvchi yangi turlarni paydo bo'lishiga olib keladi. Eng kam moslashuvchanlikka ega bo'lgan turlar juda kichik ehtimollik bilan o'zlaridan avlod qoldirishga erishadi, shunday qilib

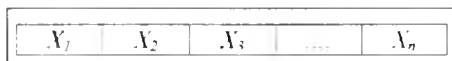
ular ega bo'lgan xossalar rivojlanish jarayonida asta-sekinlik bilan ushbu populyatsiyadan o'chib ketadi.

Oldingi avlodning eng yaxshi namoyondalarini tanlab, ularni chatishtirib, yangi turlar to'plami olingan holda yechimlarning barcha yangi populyatsiyalari ana shunday yaratiladi. Olingan yangi avlod oldingi avlodning eng yaxshi a'zolari ega bo'lgan yuqori tavsiflarga ega bo'ladi.

Shunday qilib, avloddan avlodga butun populyatsiya bo'ylab eng yaxshi tavsiflar tarqaladi. Eng moslashuvchan turlarning chatishtiruvchi, qidiruv fazosining eng istiqbolli sohalarini tadqiq qilishga olib keladi. Natijada, populyatsiya masalaning optimal yechimiga kelib qoladi [57].

Genetik algoritmlarni qo'llash uchun obyektning ichki parametrlarini tavsiflaydigan va uning foydaliligidan ta'sir etuvchi xossalari to'plamini, ya'ni boshqariluvchi parametrlar to'plami $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ni ajratish lozim.

Parametrlar x_i ning orasida turli tipdagi kattaliklar (real, integer, Boolean, enumeration) bo'lishi mumkin. Son bo'lmagan kattaliklar (enumeration)ning mavjudligi nafaqat parametrik, balki strukturaviy optimallashtirish masalalarini ham yechish imkoniyatlarini belgilab beradi va obyektning foydalilik variantlari – foydalilik funksiyasi F ni miqdoriy bahosini shakllantirish imkonini beradi. Boshlang'ich ko'rinishda masala ko'p mezonli bo'lsa, unda masalaning bunday ifodalanishi skalyar (umumlashgan) mezonini tanlash, berilgan vektor X uchun F ni hisoblash algoritmini o'zida namoyon qiluvchi, obyektning matematik modelini ishlab chiqish zarurligini bildiradi. Vektor X ni xromosoma – yozuv shaklida aks ettirilishi 1.4.1-rasmda keltirilgan.



1.4.1-rasm. Xromosoma.

Genetik algoritmda quyidagi atamalar ishlatiladi: *gen* – boshqariluvchi parametr x_i ; *allel* – genning qiymati; *lokus* (pozitsiya) – gen tomonidan xromosomada egallanadigan joy; *genotip* – xromosomalarning nusxalari (genotip genetik algoritmda yordamida loyihalanayotgan obyektning ichki parametrlari to'plamini namoyon

qiladi); *genofond* – mumkin bo‘lgan barcha genotiplar to‘plami; foydalilik (moslashuvchanlik) funksiyasi F – maqsad funksiyasi; *fenotip* – xromosomalarning kodlarini ochgandan so‘ng hosil bo‘ladigan mezonlarning qiymatlari to‘plami (fenotip deganda ko‘pincha genetik algoritim yordamida sintezlanayotgan obyektning chiqish parametrlari to‘plami tushuniladi).

Hisoblash jarayoni boshlang‘ich avlod – o‘ziga N ta xromosomani biriktiruvchi to‘plamni ishlab chiqqandan so‘ng boshlanadi (N – populyatsiya o‘lchami). Generatsiya (ishlab chiqarish) har bir genning alleli tasodifiy tanlanishi bilan amalga oshiriladi.

Keyin avlodlarning davriy almashinuv jarayoni tashkil qilinadi:

fork=1:G

forj=1:N

- xromosomalarning ota-ona juftligini tanlash;
- krossingover (chatishtirish);
- mutatsiyalash;
- avlodlarning foydalilik funksiyasi F ni baholash;
- seleksiya;

end

joriy avlodni yangisi bilan almashtirish;

end

Genetik algoritim tashqi davrining har bir tarmog‘i uchun yangi (joriydan keyingi) avlodning nusxalari shakllantiriladigan ichki davr amalga oshiriladi. Ichki davrda ota-onalarni tanlash, ota-ona xromosomalarini chatishtirish, mutatsiyalash, avlodlarning moslashuvchanligini baholash, navbatdagi avlodga qo‘shilish uchun xromosomalarni tanlash (seleksiya) operatorlari takrorlanadi.

Sodda algoritmlarda operatorlarning bajarilish algoritmlarini ko‘rib chiqamiz [58].

1.Ota-onalar operatori.

Agar xromosomalarning ota-onalar juftligi foydalilik funksiyasi F ning eng yaxshi qiymatlari bilan berilish ehtimolligi yuqori bo‘lsa, unda ushbu operator tabiiy tanlanishni aks ettiradi. Masalan, funksiya F ni minimallashtirish talab etilsin. Unda C , xromosomal ota-onalarni tanlash ehtimolligini quyidagi formula bilan hisoblash mumkin

$$P_i = \frac{F_{\max} - F_i}{\sum_{j=1}^N (F_{\max} - F_j)}, \quad (1.4.1)$$

bu yerda $F_{\max}$ – joriy avlod nusxalari (a’zolari) orasida maqsad funksiyasi F ning eng yomon qiymati; F_i – i -nusxa maqsad funksiyasining qiymati.

(1.4.1) qoida *ruletka g’ildiragi qoidasi* deb ataladi. Agar ruletka g’ildiragida $F_{\max} - F_i$ qiymatlarga mutanosib bo’lgan sektorlar ajratilsa, unda ularga tushish ehtimolligi (1.4.1) ga ko’ra aniqlanadigan P_i ga teng.

Misol.

$N=4$ bo’lsin. F_i va P_i qiymatlar jadvalda keltirilgan:

i	F_i	$F_{\max} - F_i$	P_i
1	2	5	0,5
2	7	0	0
3	6	1	0,1
4	3	4	0,4

Krossingover (chatishtirish). *Krossingover* (ba’zida *krossover* deb ataladi) genlarning qismlarini ota-onalardan avlodlarga berilishidan iborat. Sodda (bir nuqtali) chatishtirishda ota-onalarning xromosomalari ularning ikkalasi uchun ham bir xil bo’lgan pozitsiyalarga bo’linadi, bo’linish joyi teng ehtimollikda bo’lib, keyin ota-ona xromosomalarining tiklanishi yuz beradi. Bu holat quyidagi jadvalda keltirilgan bo’lib, bo’linish joyi beshinchi va oltinchi qatorlar o’rtasiga to’g’ri keladi:

Xromosoma	Gen 1	Gen 2	Gen 3	Gen 4	Gen 5	Gen 6	Gen 7	Gen 8
Ota-ona A	f	a	c	d	G	k	v	e
Ota-ona B	a	b	c	d	E	f	g	h
Avlod C	f	a	c	d	G	f	g	h
Avlod D	a	b	c	d	E	k	v	e

Mutatsiya – allelni qiymati genni aniqlash sohasidagi ehtimollikka teng boʻlgan P_m ehtimollik bilan tasodifiy almashinuvidir. Aynan mutatsiya hisobiga genetik qidiruv sohasi kengayadi [69].

Seleksiya – tanlanish bosqichida barcha populyatsiya ichidan uning ushbu rivojlanishda “tirik” qoladigan qismini aniqlash. Tanlashni oʻtkazishning turli usullari mavjud. Turlarning yashab ketish ehtimoligi h moslashuvchanlik funksiyasining qiymatiga bogʻliq boʻlishi kerak. Tirik qolganlar ulushi s odatda genetik algoritmnining parametri hisoblanadi va uning qiymati shunchaki oldindan beriladi. H populyatsiyaning N ta turidan tanlanish natijasida natijaviy populyatsiya H' ga kiruvchi s N ta tur qolishi kerak. Qolgan turlar halok boʻladi.

Genetik algoritmlar koʻpgina ilmiy va texnik muammolarni yechishda turli koʻrinishlarda qoʻllaniladi. Ular boshqa hisoblash strukturalarin yaratishda ham ishlatilgan (masalan, avtomatlash va tarmoqli saralashda). Mashinali oʻrganishda ular neyron tarmoqlarini loyihalash yoki robotlarni boshqarishda ishlatilgan. Ular shuningdek, biologik (ekologiya, immunologiya va populyatsion genetika), ijtimoiy (iqtisodiy va sisyosi tizimlar) va kognitiv tizimlarni oʻz ichiga oluvchi turli predmet sohalariidagi rivojlanishni modellashtirishda ham ishlatilgan.

Genetik algoritmlarning eng mashhur ilovasi – koʻp parametrlri funksiyalarni optimallashtirishdir. Koʻpgina real masalalar optimal qiymatni qidirish masalasi kabi ifodalanishi mumkin boʻlib, bunda optimal qiymat – bir qancha kirish parametrlariga bogʻliq boʻlgan murakkab funksiya boʻladi. Baʼzi hollarda parametrlarning funksiyani eng aniq qiymatiga erishiladigan qiymatini qidirishga qiziqish tugʻiladi. Boshqa hollarda, ani optimum talab etilmaydi va berilgan bir nechta qiymatlardan ixtiyoriy birini yechim deb hisoblash mumkin. Ushbu holda genetik algoritmlar “yaxshi” qiymatlarni qidirishning eng maʼqul usulidir. Genetik algoritmnining kuchi uning bir vaqtda koʻpgina parametrlar bilan ishlay olish imkoniyatida. Genetik algoritmlarning ushbu xususiyatidan koʻpgina amaliy dasturlar (tayyorlarini loyihalash, algoritm parametrlarini sozlash va nochiziqli differensial tenglamalar tizimining turgʻun holatini qidirish) da ishlatilgan.

Biroq, genetik algoritmlar kutilganidek samara bermaydigan holatlar ham koʻpgina. Faraz qilamiz, optimal yechimni qidirish bilan bogʻliq boʻlgan real masala mavjud. Bugungi kunga qadar ushbu

masalani yechish uchun genetik algoritm yaxshi usul hisoblanadimi degan savolga qat'iy javob mavjud emas, biroq, ko'pgina tadqiqotchilar quyidagilarni ilgari surishadi: agar qidirish fazosi katta va u mutlaqo silliq emas va unimodal (ya'ni bitta silliq ekstremumdan iborat) deb taxmin qilinsa, yoki agar moslashuvchanlik funksiyasi shovqinga ega bo'lsa, yoki masala global optimumni topishni qat'iy talab etmasa, ya'ni agar maqbul "yaxshi" yechimni shunchaki tez topish mumkin bo'lsa, unda genetik algoritm qidiruvning samarali usuli bo'lishi, qidiruv fazosi haqidagi bilimlardan foydalanmaydigan boshqa usullar bilan raqobatlasha olishi va ulardan o'zib ketishi uchun yaxshi imkoniyatga ega bo'lishi mumkin.

Agar qidiruv fazosi katta bo'lmasa, unda yechim to'la almashtirish usuli bilan topilishi va eng yaxshi yechim topilganligiga ishonch hosil qilish mumkin. Unda genetik algoritm katta ehtimollik bilan lokal optimumga tushib qoladi. Agar fazo global va unimodal bo'lsa, unda ixtiyoriy gradiyentli algoritm (tezkor tushish usuli kabilar) genetik algoritmgga qaraganda samaraliroq bo'ladi. Agar qidirish fazosi to'g'risida ba'zi qo'shimcha axborotlarga ega bo'linsa (masalan, hammaga ma'lum bo'lgan kommivoyajer masalasi uchun fazo uchun), unda fazo bilan aniqlanadigan evristikadan foydalaniladigan qidirish usullari genetik algoritmlar hisoblanuvchi ixtiyoriy universal usullardan ustun bo'ladi. Yagona yechimli qidirish usullarining moslashuvchanlik funksiyalarining relefi murakkab bo'lganda har bir vaqt momentida lokal yechimga "tushib" qolishi mumkin. Biroq, genetik algoritmlar (ular yechimlarni "populyatsiyalash" maqsadida ishlatilganligi sababli) lokal optimumumlarga tushib qolish ehtimoli juda kichik va ular ko'p ekstremal landshaftda robastli faoliyat yuritadi.

Genetik algoritmlarning samaradorligi operatorlar, yechimlarni kodlash usuli, parametrlarni sozlash, muvaffaqiyatning xususiy mezonini kabi detallarga bog'liq.

Tadrijiy algoritmlar maqsad funksiyalari va muqobil yechimlarni aks ettirish shakllari, rekombinatsiyalash va mutatsiyalash operatorlari hamda ulardan foydalanish ehtimolliklari, selektiv tanlanish strategiyasi va moslashuvchanlik yo'li bilan tadrijiy hisoblashlarning samaradorligini oshirish usullariga tegishli bo'lgan ma'lum uslubiy farqlar bilan tavsiflanadi.

Tadrijiy hisoblashlarning turli koʻrinishlari oʻrtasidagi bu uslubiy farqlar, *universallik* va *fundamentallik* kabi asosiy postulatlar haqida soʻz yuritish imkonini beradi. Koʻrsatib oʻtilgan umumiylik quyidagi *abstrakt tadrijiy algoritmning* sxemasi koʻrinishida ifodalanishi mumkin [50]:

1. Tadrijiy rivojlanishning parametrlarini oʻrnatish;
2. Boshlangʻich populyatsiya $P(0)$ ni ifodalash;
3. $t:=0$;
4. Populyatsiyaga kiruvchi yechimlarni baholash;
5. $t:=t+1$;
6. Seleksiya (tanlanish);
7. Replikatsiya (takrorlash, nusxalash, autosintez);
8. Variatsiya (koʻrinishni oʻzgartirish);
9. Yechim-avlodlarni baholash;
10. Yangi populyatsiya $P(t)$ ni shakllantirish;
11. Algoritmni parametr t berilgan $t_{\max}$ ga erishmaguncha yoki uni toʻxtatishning boshqa sharti qondirilmaguncha bajarish.
12. Natijalarni chiqarish va toʻxtatish.

Tadrijiy algoritmning amaliy yaroqliligi va natijaviyligi baholash uchun asosiy koʻrsatkichlar tezlik (foydalanuvchi tomonidan berilgan iteratsiyalarni bajarish uchun zaruriy vaqt) va qidiruvning turgʻunligi (doimo avloddan avlodga borgan sari populyatsiya sifatini oshirib borish qobiliyati – lokal ekstremumlar nuqtasiga tushish turgʻunligi) hisoblanadi.

Tadrijiy hisoblashlar quyidagi afzalliklarga ega:

- keng qoʻllanilish sohasi;

- yechimlarni muammoli-yoʻnaltirilgan tarzda kodlash, boshlangʻich populyatsiyani tanlash, tadrijiy hisoblashlarni notadrijiy algoritmlar bilan kombinatsiyalash, zaruriy manbalar borligida tadrijiy rivojlanishni davom ettirish imkoniyatlari;

- katta oʻlchamdagi yechimlarning murakkab fazosida qidirish uchun yaroqlilik;

- maqsad funksiyasining koʻrinishi (turi) ga cheklanishlarning yoʻqligi;

- tadrijiy hisoblashning sxemalari va asosiy tamoyillarining aniqqligi;

- tadrijiy hisoblashlarning sunʼiy intellektning boshqa noklassik paradigmalari bilan integrallanuvchanligi [60].

Tadrijiy hisoblashlarning *kamchiliklari*:

- tadrijiy hisoblashning evristik xarakteri olingan yechimning optimalligini kafolatlamaydi;

- nisbatan yuqori darajadagi hisoblash mehnati, ayniqsa bu tadrijiy hisoblashni tashkil etish bosqichida parallellashtirish va ularni hisoblash tizimida bevosita amalga oshirish hisobiga oshib ketadi [61];

- tadrijiy rivojlanishni modellashtirishning yakuniy fazalaridagi nisbatan yuqori bo'lmagan samaradorlik (tadrijiy algoritmlardagi qidiruv algoritmlari lokal optimumga tez tushishga mo'ljallanmagan);

- o'zini moslashtirish masalalarining yechilmaganligi.

Tahlil shuni ko'rsatadiki, tadrijiy hisoblashlar o'zgaruvchilari yechimga bog'liq bo'lgan global optimumni topishni talab etadigan masalalar; epistaziya (bir o'zgaruvchi boshqasiga ta'sir etuvchi) darajasi yuqori bo'lgan optimallashtirish masalalari; barcha nuqtalarda maqsad funksiyasining qiymatlari taxminan bir xil bo'lgan masalalarni yechishda *eng kam to'g'ri keladi. Eng ko'p mos keluvchi* masalalar – multimodal maqsad funksiyalari bilan ko'p o'lchamli optimallashtirish masalalari; stoxastik masalalar; ko'chib yuruvchi optimumli dinamik masalalar; bashoratlash va timsollarni tanish masalalari hisoblanadi.

Dasturlarni kompyuterli sintezlash, taxminan XX asrning 50-yillari oxirida sun'iy intellektning yo'nalishlaridan biri bo'ldi. Ushbu muammolarga tadqiqotchilarning qiziqishi. J.Kozning genetik dasturlash (GD) ga bag'ishlangan [62] va induktiv xulosalash yo'li bilan o'rganuvchi ma'lumotlar asosida dasturlarni avtomatik sintezlash masalalarini yechishga yo'naltirilgan ishlari hisobiga yuqori darajaga ko'tarildi.

Genetik operatorlar yordamida avtomatik tarzda ishlab chiqiladigan xromosomalar yoki matematik ifodalar turli kattalik va murakkablikdagi kompyuter dasturlari hisoblanadi. Dasturlar funksiyalar, o'zgaruvchilar va o'zgarmaslardan tashkil topadi. GD da xromosomalarning dastlabki populyatsiyasi $P(0)$ stoxastik yo'l bilan hosil qilinadi va u muammoli-yo'naltirilgan elementar funksiyalar to'plamlarining elementlari (functionset: +, -, *, %, sin, sos, log, or, and, for, do-until, shuningdek masalaning boshqa predmet sohasidagi ixtiyori funksiya), muammoli-yo'naltirilgan o'zgaruvchilar va o'zgarmaslar (terminal set: *ephemeral random* – yashash vaqti qisqa bo'lgan regression funksiyalar o'zgarmaslari; *T*, *Nil* – bul o'zgarmaslari; haqiqiy o'zgarmaslar) ni o'z ichiga oluvchi

dasturlardan tashkil topadi. Function set va terminal set to'plamlari qo'yilgan masalani eng yaxshi tarzda yechishga qodir bo'lgan dasturlarni tadrijiy sintezlash uchun asos hisoblanadi. Shu bilan birgalikda strukturasi daraxt shaklida bo'lgan sintezlanuvchi dasturlarning barchasini fazosida ko'rsatilgan to'plamlardan elementlarni tanlash qoidasi o'rnatiladi.

Dastlab genetik dasturlashni tadqiq qilishda GD-strukturalarini sintezlash uchun zarur bo'lgan barcha xossalarga ega bo'lgan *LISP* tili ishlatildi. Bugungi kunda (*LISP* bilan birgalikda) *C*, *Smalltalk*, *C++* tillaridan foydalanilmoqda.

Genetik dasturlashning boshlang'ich shartlari terminalset va functionset to'plamlarini belgilab olish; muvofiqlik (*fitness-function*) funksiyasining mos ko'rinishini aniqlash; evolyutsiyaning parametrlarini o'rnatish; evolyutsiyani modellashtirishni to'xtatish mezoni va evolyutsiya natijalari kodlarini ochish qoidalarini aniqlash hisoblanadi.

GD da muvofiqlik funksiyasi sifatini baholash usuli o'rtacha kvadratik xatolik (yoki "yutuq" mezoni) hisoblanadi va unga ko'ra yutuq matematik ifodaning aniq qiymatiga qanchalik yaqinligidan kelib chiqib aniqlanadi. Genetik dasturlashdagi populyatsiyaning o'lchami μ odatda bir necha ming dasturdan tashkil topadi. Generatsiyalarning maksimal soni $t_{\max}$ uchun $t_{\max}=51$ qiymat ishlatiladi.

Genetik dasturlash amaliga murojaat qilamiz.

1. *Initializatsiya*. Bu bosqichda μ ta daraxtsimon dasturlardan iborat bo'lgan populyatsiya $P(0)$ stoxastik ishlab chiqiladi, chunki daraxtning ildizli uchlari har doim argumentlari *functionset* yoki *terminalset* to'plamlardan tasodifiy tanlanadigan funksiya hisoblanadi. Daraxtning tugallovchi uchlari esa o'zgaruvchilar yoki o'zgarmaslar bo'lishi kerak, aks holda generatsiya jarayonini rekursiv davom ettirish lozim. Agar daraxtning strukturasi murakkab bo'lib qolsa, unda daraxtning shoxlari soniga teng bo'lgan. ildizlari uchidan to yuqori uchlorigacha bo'lgan eng uzun yo'l – daraxtning maksimal balandligi oldindan beriladi. Odatda tajribalarda daraxtning maksimal balandligi populyatsiya $P(0)$ uchun oltidan kechki populyatsiya $P(t)$ uchun 17 gacha oraliqda o'zgaradi.

2. *Yechimlarni baholash*. Har bir dasturning maqsad funksiyasi $P(0)$ da baholanadi. Barcha dasturlar tasodifiy tanlanganligi bois ularning ko'pchiligi yaxshi yechimdan uzoqroq bo'lgan maqsad funksiyasining qiymatiga ega bo'lishi mumkin, shuning uchun baho sifatida $P(0)$ populyatsiyadagi funksiyalarning eng yaxshi va eng yomon qiymatlari o'rtasidagi farqni qabul qilish mumkin.

3. *Yangi populyatsiyani ishlab chiqish va seleksiya*. GD ning asosiy operatorlari genetik algoritmlar [63,64] ga o'xshash sxemalar bilan bajariladigan rekombinatsiya (krossingover) va reproduksiya, seleksiya va replikatsiyalar hisoblanadi. Agar ba'zi dasturlarda reproduksiya operatori ishlatilsa, unda bu dastur yangi populyatsiyaga ko'chiriladi. Krossingover (chatishtirish)ni o'tkazish uchun ikkita otana xromosomalari tanlanadi, chatishtirish nuqtasi tasodifiy tarzda belgilanadi va almashinuv yo'li bilan ikkita avlod shakllantiriladi. LISP tilida dasturiy amalga oshirishda krossingover masalasi, yangi hosil qilinayotgan dasturlardagi sintaksik to'g'rilikni saqlagan holda, ikki dastur o'rtasidagi ro'yxat almashinuviga olib kelinadi.

4. *To'xtatish mezonini tekshirish*. Genetik dasturlash amali iteratsion hisoblanadi va to'xtatish mezonlari esa genetik algoritmlarning mezonlariga o'xshash bo'ladi.

Genetik dasturlashning istiqbolli yo'nalishlaridan biri avtomatik aniqlanuvchi funksiyalar (ADF) bilan ishlash hisoblanadi. Bunda asosiy g'oya modellashtirish jarayonida ishlab chiqiladigan ADF-modullar va asosiy dasturlardan tuzilgan dasturlarning modulli qurilishi hisobiga GD samaradorligini oshirishdan iborat. Tadrijiy rivojlanish boshlanishiga qadar dasturlarning strukturalari, ADF-modullar soni va har bir ADF ning parametrlari aniqlanadi. Ushbu strukturaning barcha uchlari o'z raqamlariga ega bo'ladi, argumentlarning ro'yxati ADF larni chaqirishda aniqlanadigan alohida lokal o'zgaruvchilarni o'z ichiga oladi. Asosiy (bosh) dasturning funksiyalari topshirig'i umumiy dasturning o'rnatilishini yakunlaydi.

ADF (ularning soni, argumentlari va shu kabilar) ni sozlash hisoblash resurslariga ega bo'lgan masalalar hamda dastlabki tajribaga bog'liq. Bunda daraxt uclarini turlarga ajratish lozim, aks holda krossingover operatorini bajarilishida sintaksik nokorrekt yechimlar sintezlanishi mumkin.

GD dagi boshqa istiqbolli yo'nalishlar qidiruv operatori sifatida nafaqat krossingoverni qo'llash, balki mutatsiya va GD ni transpyuterli

hisoblash tizimlarida amalga oshirish ham hisoblanadi. GD ning tezkorligini oshirishni ketma-ket mashinalarda ham amalga oshirish mumkin. Xususan, GD ni C tilida amalga oshirish genetik dasturlash tezligini taxminan ikki baravar oshiradi, GD ni *LISP*-amalga oshirish bilan solishtirganda, mashinali kodlarda amalga oshirish esa taxminan uch barabarga oshiradi.

GD yordamida olinadigan turli uzunlikdagi yechimlarni tadqiq qilgan holda, [64] ish mualliflari kichik strukturali murakkablikka ega yechimli, "siquvchi bosim" deb ataluvchi samaraga e'tibor qaratishdi. GD usuli bo'yicha ishlab chiqiladigan dasturlar, dasturning funksional imkoniyatlari va maqsad funksiyasiga ta'sir etmaydigan "ortiqcha" bloklarga ham ega bo'lishadi. Genetikada bu holat krossingoverga sezgir bo'lmagan intron tushunchasiga mos keladi. Agar maqsad funksiyasi yomonlashsa, krossingoverni qo'llash destruktiv xarakterga ega deb hisoblanadi. Strukturaviy murakkabligi nisbatan katta, lekin ko'p intronlari bo'lmagan dasturlar uchun krossingoverni destruktiv ta'siri ancha kamayadi. Ba'zi dasturlarning reproduktiv imkoniyatlari qanchalik yuqori bo'lsa, dasturlarning samarali va mutloq murakkabligi o'rtasidagi nisbat shunchalik kichik bo'ladi. Bunga ikki yo'l bilan erishish mumkin.

Birinchisi intronlarni qo'shish yo'li bilan mutloq murakkablikni oshirishdan, ikkinchisi esa oddiy yechimlarni qidirishdan iborat. Empirik ma'lumotlar [59], yuqorida keltirilgan fikrlarni tasdiqlaydi:

- rivojlanishning erta bosqichlarida maqsad funksiyasining o'rtacha qiymati populyatsiyadan populyatsiyaga o'tgani sari tez o'zgaradi, bu vaqtda maqsad funksiyasi nisbatan sekin o'zgaradi;

- keyinroq funksiyalarning o'zgarish sur'ati kamayadi, biroq samarali va mutloq murakkabliklar o'rtasidagi nisbat osha boshlaydi, "siquvchi bosim" ham ortadi va maqsad funksiyasi kamayadi;

- rivojlanishning so'nggi bosqichlarida dasturning mutloq murakkabligi intronlar hisobiga eksponensial o'sadi; samaradorlik mezonini nisbatan past darajada qoladi; o'rtacha qiymat yaxshilanishda davom etadi, krossingoverni destruktiv ta'siri kuchsizlashadi.

Nazariy asoslangan va empirik kuzatilgan "siqish" hodisasi o'zida GD ning suboptimal yechimga erta muvofiqligi xavfini yashiradi.

Bu holat, tadriijiy jarayon dinamikasini tavsiflash uchun *Schema*-teoremlarini qo'llash juda sodda yondashuv ekanligini bildiradi.

Populyasiyadagi xromosomalarni aks ettirilishining turli ko'rinishlarini nafaqat statik, balki dinamik xususiyatlarini ham batafsil tahlil qilish lozim.

Tashqi muhitdan keluvchi rag'batlarga innovatsion tarzda javob beruvchi intellektual avtomatlarni kompyuterli sintezlashda, tadrijiy dasturlash g'oyasi, [65] ish nashr etilgandan so'ng sun'iy intellektning yo'nalishlaridan biriga aylandi. Bu g'oyalar multiagent tizimlar, sun'iy hayot, jamoaviy xulq nazariyalari nuqtai nazaridan dolzarb va intellekt fenomeni va agentlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirlarni yaxshiroq anglashga yordam bermoqda.

Tadrijiy dasturlashni genetik dasturlashdan ajratib turuvchi prinsipial jihatlariga e'tibor qaratamiz. TD da populyatsiya tadrijiy rivojlanishning markazi sifatida qaraladi. TD, biologik tadrijiy rivojlanish, xromosomalardagi genetik darajalardagi kabi emas, balki xulq darajasidagi moslashuvchanlik jarayoni hisoblanadi degan farazdan kelib chiqadi. TD-populyatsiyasida tur (jonot) xulqiy reaksiyalar, muomala turi va shu kabi xarakterlarni aks ettiradi. Tabiatda fikrlashning bunday darajasi rekombinatsiyani nazarda tutmaydi. Shuning uchun ham tadrijiy dasturlashda krossingover operatori, shuningdek GD da ishlatiladigan boshqa operatorlar (masalan, inversiya) ham mavjud emas. Tadrijiy dasturlashda mutatsiya, genetik dasturlashdagi kabi genotip darajasida emas, balki fenotip darajasida muqobil yechimlarni qidirishning yagona operatori hisoblanadi.

TD-algoritmning standart shaklini ko'rib chiqamiz. n ta uzluksiz o'zgaruvchilarga bog'liq bo'lgan funksiya $F(a_1, \dots, a_n)$ ni minimallashtirish masalasi berilgan bo'lsin: $F: R^n \rightarrow R$.

TD da maqsad funksiyasining ko'rinishi va muqobil yechimlarni aks ettirishga, masalaning qo'yilishidan kelib chiqadiganlaridan tashqari, cheklanishlar yo'q. Haqiqiy o'zgaruvchilar vektor $\bar{A} = (a_1, \dots, a_n)$ ko'rinishida aks ettiriladi. Unda TD-algoritmining standart ko'rinishi quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi.

1) *Initsializatsiya*. Bu bosqichda tasodifiy tarzda μ ta turdan tuzilgan $P(0)$ populyatsiya $\bar{A}_i (i, 1, 2, \dots, \mu)$ ishlab chiqiladi. Populyatsiyaning tavsiya etiladigan o'lchami qiymati $\mu \geq 200$. Har bir $\bar{A}_i$ tur uchun a_i elementning qiymati $[l_i, r_i] \in R, l_i < r_i$ intervalda teng o'lchamli taqsimlanish yordamida tasodifiy o'rnatiladi. Intervalning

chegaralari l_j, r_j faqatgina shu bosqichda qiymatlarga ega bo'ladi. Rivojlanishning keyingi bosqichlarida qidiruv fazosi umuman cheksiz hisoblanadi. TD ning standartnaya shakli, optimal qiymati 0, $l_j = -50$, $r_j = 50$ ga teng bo'lgan optimallashtirish masalasini yechishni talab etadi.

2) *Yechimni baholash.* Har bir tur $\bar{A}_i$, ko'pincha maqsad funksiyasi bilan teng bo'lgan (umumiy holarda ular bir-biriga mos kelmasa ham) muvofiqlik funksiyasi $\Phi(\bar{A}_i)$ orqali aniqlanadi. Muvofiqlik va maqsad funksiyalari nomuvofiq bo'lgan hollarda qiymat Φ tasodifiy kattalik ξ , orqali o'zgartiriladi. Masalan, agar muvofiqlik funksiyasining natijalovchi qiymati manfiy bo'lsa, unda u skalyarlashtirish yo'li bilan musbat songa aylantiriladi. Shunday qilib, umumiy holda $\Phi(\bar{A}_i) = \Omega(F(\bar{A}_i), \xi_i)$ deb hisoblanadi. μ ta turlardan tashkil topgan to'plam TDning keyingi bosqichi uchun zarur bo'lgan ota-onalar to'plamini hosil qiladi.

3) *Avlodlarni ishlab chiqish.* Bu boqich μ marta bajariladi ($i = 1, 2, \dots, \mu$) va o'zida quyidagi harakatlarni mujassamlashtiradi.

3.1) i -ota-ona $\bar{A}_i = (a_1, \dots, a_n)$ ni nusxalash yo'li bilan *javob qaytarish*.

3.2) Nol matematik kutilmali va o'rtacha kvadratik og'ishi dinamik o'zgaruvchi normal taqsimlangan tasodifiy kattaliklarni qo'shish yo'li bilan nusxalangan ota-onalarni *mutatsiyalash*. Ota-ona $\bar{A}_i$ dan avlod $\bar{A}'_i$ yuzaga keladi. Tasodifiy kattalik bilan olingan standart og'ish («mutatsiya kengligi») muvofiqlik funksiyasi Φ ning ota-onaga xos qiymatiga bog'liq. Bunda global optimum 0 ga teng (agar bu yoqmasa, mos o'zgartirish o'tkaziladi).

G'oya, optimumga yaqinlashgan sari "mutatsiya kengligi" ni qisqartirish yo'li bilan optimallashtirish jarayoni samaradorligini oshirishdan iborat. Avlodlarning o'zgaruvchisi qiymati quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$a'_j = a_j + \text{sqrt}(k_j \Phi(\bar{A}_i) + z_j) N_j(0, 1)$$

bu yerda k_j – doimiy, $\Phi(\bar{A}_i)$ – ota-onalarning muvofiqlik funksiyasi qiymati, z_j – dispersiya, $N_j(0, 1)$ – standart normal taqsimlangan kattalik, ($j = 1, 2, \dots, n$).

k_j, z_j ($k_j, z_j \in R$) qiymatlar TD ning parametrlari hisoblanadi va foydalanuvchi tomonidan o'rnatiladi. Umumiy holda ushbu parametrlarning soni $2n$ ga teng. Biroq, amaliyotda $k_j = 1, z_j = 0$ ($j = 1, 2, \dots, n$) deb o'rnatiladi. Unda a'_j ni hisoblash formulasidagi kvadrat ildiz ($\sqrt{}$) soddalashtiriladi va u quyidagi ko'rinishni qabul qiladi:

$$a'_j = a_j + \sqrt{\Phi(\bar{A}_j)} N_j(0, 1).$$

3.3) *Avlodlarni baholash* uning muvofiqlik funksiyasi $\Phi(\bar{A}_i) = \Omega(F(\bar{A}_i), \xi_i)$ ni qiymatini aniqlash yo'li bilan amalga oshiriladi. shundan so'ng avlodlar populyatsiyaga qo'shiladi, chunki $\bar{A}'_i \rightarrow \bar{A}'_{\mu+i}$. 3-bosqich tugaganda populyatsiyaning o'lchami 2μ ga teng bo'ladi.

4) *Tasodifiy seleksiya*. Seleksiya bellashuv tamoyiliga ko'ra amalga oshiriladi, unga ko'ra har bir ota-ona yoki avlod h raqib bilan juft bo'lib bellashadi, chunki $h \in N(h \geq 1)$ TD ning parametri hisoblanadi. U foydalanuvchi tomonidan belgilanadi va odatda $h = 0.05\mu$ dan $h = 0.1\mu$ gacha bo'lgan qiymatlarni qabul qiladi. Raqiblar tasodifiy tarzda, teng o'lchamli taqsimlanish qonuni yordamida tanlanadi. G'olib muvofiqlik funksiyalarini juftli solishtirish yo'li bilan aniqlanadi. Agar turning muvofiqlik funksiyasi raqibnikiga qaraganda yomon bo'lmasa, u musobaqada g'alaba qozonadi.

Yuqorida keltirilgan i ta tur ($i = 1, 2, \dots, \mu$)ning g'alabalari soni W_i ni minimallashtirish masalasi uchun $W_i = \sum \{l, \text{agar } \Phi(\bar{A}_i) \leq \Phi(\bar{A}_l) \text{ bo'lsa}\}$ belgilanadi, chunki $d = 1, 2, \dots, h$ va $d \neq i$ uchun olib borilayotgan jamlash $[1, 2\mu]$ intervalda teng taqsimlangan butun qiymatlar hisoblanadi. Shundan so'ng turlar g'alabalar soni kamayuvchi tartibda saralanadi (muvofiqlik funksiyasining qiymati bo'yicha emas). Eng turlar yangi ota-onalarning μ o'lchamli populyasiyasini tashkil qiladi. G'alabalar soni bir xil bo'lganda muvofiqlik funksiyasi qiymati yaxshi bo'lgan tur afzallikka ega bo'ladi.

Ko'rinib turibdiki, tanlashning bunday mexanizmida "kuchsiz" turlar noldan ko'ra yaxshiroq reproduktiv ehtimollikka ega bo'lishadi. Parametr h ning qiymati oshib borishi bilan seleksiya diskriminatsion elitarli xarakterni qabul qila boshlaydi.

5) *To'xtatish mezon*i. To'xtatish mezon*i* sifatida foydalanuvchi tomonidan berilgan quyidagi hodisalar olinishi mumkin:

- rivojlanish jarayonida avlodarning berilgan soni $t_{\max}$ ga erishish;

- berilgan sifat darajasiga erishish;

- berilgan muvofiqlik darajasiga erishish, bunda populyatsiyadagi turlar shunchalik o'xshash bo'ladiki, ularni keyingi yaxshilashlar juda sekin boradi.

Tadrijiy dasturlash parametrlari, eng yaxshi yechimni qidirish va algoritmning ishlash tezligini ta'minlaydigan qilib tanlanadi.

Genetik algoritmlardan farqli ravishda, TD tadrijiy rivojlanishni modellashtirishning nisbatan eng kam o'rganilgan paradigmasi hisoblanadi. Nazariy natijalar ichidan eng e'tiborga moligi, yuqorida ko'rib o'tilgan, markov zanjiri nazariyasiga asoslangan TD ning standart shakli [66] ni asimptotik muvofiqligini isbotlashdir. Isbot, parametrlar k_j , z_j mos ravishda 1 va 0 qiymatlarni qabul qilgan va $\Phi(\bar{A}_j) = F(\bar{A}_j) > 0$ shart to'g'ri bo'lgan hol uchun keltirilgan. Markov zanjirlarining matematik apparati xuddi stoxastik jarayonlar tavsifining modeli kabi tadrijiy hisoblashlarning yagona konsepsiyasini shakllantirish uchun fundamental asoslardan biri sifatida xizmat qilishi mumkin: markov zanjirlari yordamida tadrijiy jarayonni samarali asoslash mumkin.

TD g'oyalarining istiqbolli yo'nalishlaridan biri quyidagi muammolarni yechish hisoblanadi:

- agar muvofiqlik funksiyasining global optimumi 0 dan farq qilsa, unda bu TD turg'unligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi;

- agar muvofiqlik funksiyasi qiymati juda katta hisoblansa, unda qidiruv kvazi tasodifiy bo'lib qoladi;

- agar foydalanuvchi global optimum haqida axborotga ega bo'lmasa, unda skalyarlashtirish Ω funksiyalarining mosligi va tanlovi qiyin bo'ladi;

- tadrijiy rivojlanish parametrlari k_j va z_j ning $2n$ qiymatini o'rnatish zarurati, hatto foydalanuvchi standart qo'yilma ($k_j = 1$, $z_j = 0$) dan foydalansa ham uning oldiga qo'shimcha optimallashtirish qiyinchiliklarini qo'yadi.

TD ning standart shakllarini ko'rsatilgan kamchiliklarini bartaraf etish, TD ning adaptiv xossalarini oshirish maqsadida uning takomillashtirishni talab etadi.

1.5. Xaos nazariyasi asoslari

Xaos nazariyasi – bu maqsadi, tizimlarning o'ta murakkab xulqini tavsiflash va tushuntirishdan iborat bo'lgan nazariya. Ular bir qarashda shunchaki tartibsiz va tushunarsiz, biroq ma'lum tartibga asoslangan. Ba'zi fizik tizimlarning xulqini fizikaning oddiy qonunlari bilan tavsiflashning imkoni yo'q. Bu, bunday tizimlarni tavsiflash uchun zarur bo'ladigan matematik apparat hattoki o'ta yuqori quvvatli kompyuterlar uchun ham juda murakkabligi bilan bog'liq. Bunday tizimlar ba'zida *nochiziqli* yoki *xaotik tizimlar* deb ataladi. Ularga murakkab mexanizmlar, elektr zanjirlari, shuningdek ob-havo kabi tabiat hodisalari kiradi.

Bunday tizimlarga *atmosfera, turbulent oqimlar, biologik populyatsiya, jamiyat* kabi kommunikatsiya tizimlari va ularning ost tizimlari: iqtisodiy, siyosiy va boshqa ijtimoiy tizimlar misol bo'la oladi. Ularni o'rganish, rekurrent munosabatlarga ega analitik tadqiqotlar bilan bir qatorda, odatda *matematik modellash* bilan kuzatiladi.

Xaos nazariyasi – matematika va fizikani bog'lab turuvchi tadqiqotlar sohasi.

1.5.1. Xaos nazariyasi elementlari

Xaotik tizimlar juda ko'p, masalan, elektron zanjirlar, mexanik tizimlar, biologiyada – hatto populyatsion dinamikada ham uchraydi. Atrofimizda xaotik xulqlarning keng tarqalganligiga qaramasdan, kaos ularni xalaqit deb qabul qildi va ular bilan kurashish yo'llarini qidirdi. Yaqin vaqtlardagina kaos ilmiy tadqiqotlarning o'ta muhim sohasi va yangi texnologiyalarning asosi deb qabul qilindi [67].

Samolyot qanotlarida yuzaga keluvchi kutilmagan tebranishlar, shamol ta'sirida ko'priklarning harakati, uchish vositalarini boshqarish ishlarining barqaror emasligi – bularning barchasi potensial xavfli va buzuvchi xaotik modellarni namoyon etadi. Hozirda, bunday

sharoitlarni aniqlash imkoniyatlari bo'lgan davrda, mutaxassislar ulardan qanday ogohlantirish mumkinligini bilishni xohlashmoqda.

Xaos nima?

Timsollar orqali aytganda, tartibsizlikdagi tartib, tasodifiylikdagi muntazam timsollar – bunday aniq paradoks xaotik tizimlarning o'zagi(markazi)da joylashgan. Yanada qat'iyroq aytadigan bo'lsak, xaos – bu determinik nochiziqli tizimdagi tasodifiy xulq.

Olimlar va muhandislar uzoq vaqt davomida tizimlarning xaotik xulqlari mohiyatini tushuna olishmadi, chunki ular ko'pincha nochiziqli tizimlarni chiziqlilari bilan silliqlantirishar edi.

Fizik tizimlarda nochiziqlilik juda ko'pligiga qaramasdan, ba'zi hollarda ularni chiziqli silliqlantirishdan foydalanish mumkin. chiziqli tizimlarning xulqini to'laligicha oldindan aytish mumkin, nochiziqli tizimlarnikini esa yo'q. Chiziqli tizimlarning vaqt bo'yicha xulqini yechimlarning berk shakliga ega bo'lgan differensial tenglamalar tizimi bilan tavsiflash mumkin. Chiziqli tizimlar faqatgina uch turdagi attraktorlarga ega bo'ladi:

- qayd etilgan nuqtali;
- davriy attraktor;
- kvazi-davriy attraktor.

Nochiziqli tizimlarda bo'ladigan harakatlar xilma-xil va murakkabroqdir. Chiziqli tizimlardan farqli ravishda, nochiziqli tizimlar xaotik rejimlar (xaotik attraktorlar) ga moslashgan.

Tartiblangan tizimlar xaotik bo'lishi mumkin (masalan, suvning teng o'lchamli oqimi, u qoyaga urilganda turbulent bo'lib qoladi). Monand tavsiflarning yo'qligi, ularning xulqini standart bashoratlab bo'lmasligini bildiradi. Xaos nazariyasi, xaotik tizimlarni tavsiflash va hatto ularning ehtimoliy xulqini umumiy bashoratini amalga oshirish imkonini beradigan matematik usullarni taklif etadi. Biroq, u tizimning boshlang'ich shartlarini juda kichik o'zgarishi ham bir muncha vaqt o'tib, juda katta farqlarga olib kelishi mumkinligini ham ko'rsatadi.

Xaos nazariyasi, ko'p marta takrorlanuvchi sodda sonli formulalar bilan matematik shakllantirish mumkin bo'lgan murakkab hodisalarni tavsiflash uchun xizmat qiladi. Ba'zi xaotik tizimlar *fraktal* hisoblanadi, ya'ni o'zaro o'xshash geometrik strukturalar yoki komponentlardan tashkil topadi.

Boshqacha so'z bilan aytganda, bunday tizimlarning katta bo'lmagan qismi butun tizimni eslatadi va tizimning qismlarini

matematik tavsiflash imkoniyati tizimni to'raligicha tavsiflash mumkinligini bildiradi. Fraktal strukturaga Serpinskiy "gubkasi" misol bo'ladi: u ko'p marta takrorlangan teng tomonli uchburchaklardan tuzilgan.

Tirik organizmlarga tegishli bo'lgan murakkab strukturalar (masalan, gulkaram) ham o'xshash elementlardan tashkil topadi va alohida to'pgullar butun gulbosh to'g'risida tasavvur uyg'otadi. O'chgan shamdan chiqayotgan tutun harakati, anglash qiyin bo'lgan murakkab rasm orqali tavsiflanadi, lekin u laminar va turbulent oqimlar tushunchalarini qo'llab modellashtiriladi. Yer sharining iqlimi – nihoyatda murakkab hodisa, biroq uning asosida sodda qonunlar yotadi. Quyoshning qizdirishi hisobiga dengiz sirtida suvning bug'lanishi yuz beradi, natijada quyosh nurlarni akslantiruvchi bulut hosil bo'ladi va u nurlarni sayyoramiz sirtiga yutilishiga to'sqinlik qiladi. Harorat tushib ketadi va yomg'ir yog'ishi mumkin. Agar biz ob-havo parametrlarini yetarlicha katta masshtablarda o'lchay olsak va mos matematik modelni yaratsak edi, ob-havoni xatoliklarsiz bashoratlash imkoni bo'lardi.

XX asrning 80-90-yillaridan boshlab, ilmiy munozaralarda "murakkablik haqidagi fan" (complexity sciences) bilan bog'liq bo'lgan yangi yo'nalish paydo bo'ldi. Diqqat-e'tibori markazida nochiziqli dinamika, noturg'un xulq, o'z-o'zini tashkil etish samarasi va xaotik rejimlar mavjud bo'lgan tizimlarni tadqiq etib turgan yangi fanlararo sohani ana shunday atash qabul qilingan edi.

O'z-o'zini tashkil jetishning murakab tizimlari xulqi to'g'risidagi yagona fan Olmoniyada *sinergetika* (G.Xaken), fransuz tilida so'zlashuvchi davlatlarda *dissipativ strukturalar* (I.Prigojin), AQSHda *dinamik kaos nazariyasi* (M.Feygenbaum) deb nomlandi [67].

Xaos nazariyasining birinchi elementlari XIX asrda paydo bo'lgan edi, lekin nazariyaning haqiqiy rivojlanishi XX asrning ikkinchi yarmiga to'g'ri keldi (Edvard Lorens va Benua B.Mandelbrot ishlari). Lorens o'z vaqtida ob-havoni bashoratlashda qanday qiyinchiliklar yuzaga kelishini ko'rib chiqdi. Lorens gacha bo'lgan davrda ob-havoni cheksiz uzoq vaqt davomida aniq bashoratlash imkoniyatlariga nisbatan ikkita fikr hukmronlik qilib kelgan.

Birinchi yondoshuvni 1776-yilda fransuz matematigi Per Simon Laplas ifodalagan: "... agar biz o'zimizni berilgan lahzada Olamdagi

barcha obyektlar o'rtasidagi barcha aloqalarni anglay oladigan darajada aqlli deb faraz qilsak, shundagina o'tmish yoki kelajakdagi ixtiyoriy vaqtda ushbu barcha obyektlarning mos holatlari, harakatlari va umumiy ta'sirlarini o'rnatish (aniqlash) mumkin". Laplas va uning tarafdorlari ob-havoni aniq bashoratlash uchun Olamdagi barcha zarrachalar va ularning joylashuvi, tezligi, massasi, harkatlanish yo'nalishi, tezlanish va shu kabilar haqidagi katta axborotni to'plash zarur deb hisoblashgan.

Ob-havoni bashoratlash imkoniyatiga bo'lgan ikkinchi yondashuvni 1903-yilda fransuz matematigi Jyul Anri Puankare ta'rifladi: "Agar biz tabiat qonunlari va Olamning holatini boshlang'ich momentda aniq bilsak edi, xuddi shu Olamning keyingi momentdagi holatini aniq bashoratlagan bo'lar edik. Lekin hatto tabiatning qonunlari o'zining barcha sirlarini bizga oshkor etganda ham, biz faqatgina boshlang'ich holatni taxminan bilar edik. Hatto bu bizga keyingi holatni xuddi shunday taxmin bilan bashoratlash imkonini berganda ham biz faqatgina hodisaning ma'lum qonuniyat bilan boshqarilishini bashorat qila olardik. Lekin bu har doim ham shunday emas, bo'lganda ham boshlag'ich holatdagi kichik arizmas farq ham yakuniy holatda juda katta farqni keltirib chiqarishi mumkin. Birinchisidagi kichik xatolik oxirgisida katta xatolikni yuzaga keltiradi. Bashorat imkonsiz bo'lib qolmoqda va biz tasodiflik bo'yicha rivojlanuvchi hodisa bilan ish ko'rmoqdamiz". Puankarening bu so'zlarida xaos nazariyasining boshlang'ich shartlar to'g'risidagi bog'liqlik postulati ifodalangan. Fanning keyingi rivoji (ayniqsa kvant mexanikasi) Laplasning determinizmini rad etdi.

1927-yilda olmon fizigi Ferner Geyzenberg noaniqlilik tamoyilini kashf etdi va ifodaladi. Unda ba'zi tasodifiy hodisalarning nima uchun Laplas determinizmiga bo'ysunmasligi tushuntirilgan. Geyzenberg noaniqlilik tamoyilini yadroning radioaktiv parchalanishi misolida tushuntirdi. Shunday qilib, yadroning o'lchamlari juda kichikligi sababli, uning ichida kechayotgan hodisalarning barchasini bilishning imkoni yo'q. Shuning uchun yadro haqida biz qancha axborot to'plamaylik, bu yadroning qachon parchalanishini bashoratlashning imkoni yo'q.

1926-1927 yillarda golland muhandisi B.Van-der-Pol yurak qisqarishining matematik modellariga mos keluvchi elektron sxema konstruksiyasini tuzdi. U ma'lum sharoitlarda sxemada yuzaga

kelayotgan tebranishlar davriy emasligi (me'yoriy yurak urishidagi kabi), balki nomuntazam ekanligini aniqladi. Uning ishi J.Littlvud va M.Kartraytlar radiolokatsiya tamoyillarini tadqiq qilishganda matematik asoslandi.

1960-yillarning boshlarida matematik S.Smeyl dinamik tizimlarning turli xilma-xilligi tasnifini tuzishga harakat qildi. Dastlab u davriy harakatlarning turli kombinatsiyalari bilan kifoyalansa bo'ldi deb o'yladi, biroq keyin yanada murakkabroq xulqlar mavjudligini payqadi. Xususan, u Puankarening uch jismni cheklangan masalasidagi murakkab harakatlari to'g'risidagi kashfiyotlarini batafsil o'rgandi, bunda u geomerik qurilishlardan va "Smeyl taqasi" deb nom olgan tizimdan foydalandi. U bunday tizim (uning determinantlanganligiga qaramasdan) tasodifiy xulqning ba'zi xossalarini namoyon qilishini isbotladi.

Bunday hodisalarga boshqa misollar dinamik tizimlar nazariyasi ustida ish olib borayotgan turli ilmiy maktablar tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, ular orasida V.I.Arnoldning hissasi juda muhim sanaladi. Shunday qilib, xaosning umumiy nazariyasi yuzaga kela boshladi.

Nima uchun kompyuterlarning jadal takomillashuvi ob-havo bashoratini ishonchli o'rtacha tezkor muddatli (2-3 hafta oldinga) bo'lishga olib kelmadi? – degan savolni o'z oldiga qo'ygan amerikalik meteorolog Edvard Lorens (1963-yilda) boshlang'ich ma'lumotlarga bo'lgan sezgirlik xaosga olib kelishini tushundi. U havo konveksiyasini tavsiflovchi sodda modelni taklif etdi. Olingan natija – dinamik xaos – determinantlangan tizimlardagi nodavriy harakatlar (kelajak albatta o'tmish bilan aniqlanadi).

Xaos nima degan savolga qaytgan holda quyidagi ta'rifni berish mumkin [7].

Ta'rif 1.5.1. Xaos – bu ma'lum nochiziqli dinamik tizimning trayektoriyasi. Quyida (1.5.1) tenglama bilan tavsiflanuvchi dissipativ tizimlar ko'rib chiqiladi:

$$X = V(X), \quad X(0) = X_0, \quad (1.5.1)$$

bu yerda $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – n - o'lchamli vektor, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – vektor funksiya.

(1.5.1) tenglamaning yechimi o'zida $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ komponentlardan tuzilgan tizimning fazaviy fazodagi trayektoriyasini namoyon etadi:

$$x_i(t) = F_i(t, x_0), \quad i = \overline{1, n}.$$

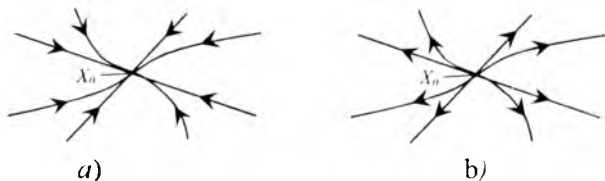
Agar $\operatorname{div} V = 0$ bo'lsa, unda tizim konservativ va uning fazaviy hajmi saqlanadi. Agar $\operatorname{div} V < 0$ bo'lsa, unda tizim dissipativ va vaqt o'tishi bilan uning fazaviy hajmi qisqaradi va $t \rightarrow \infty$ bo'lganda bunday tizimning barcha yechimlari, *fazaviy fazo* M ning *attraktorlari* deb nomlanuvchi bir nechta ost to'plam B bilan aniqlanadi. x_0 boshlang'ich nuqtalar to'plami — bu nuqtalardan boshlanuvchi trayektoriya attraktor B ga intiladi ($t \rightarrow \infty$ bo'lganda) — attraktor V ning o'ziga tortish sohasi hisoblanadi.

$V(x) = 0$ bo'ladigan x_0 nuqtalar muvozanat holatlari yoki (1.5.1) tizimning statsionar nuqtalari hisoblanib, turg'un yoki noturg'un bo'lish mumkin. Agar ixtiyoriy $\varepsilon > 0$ uchun $\delta(\varepsilon) > 0$ mavjud bo'lsa, unda (1.5.1) tizimning statsionar nuqtasi x_0 *Lyapunov bo'yicha turg'un* deyiladi. Bunda ko'rilayotgan tizimning ixtiyoriy yechimi $x(t)$ uchun boshlang'ich qiymat $\delta(\varepsilon) > 0$ tengsizlikni barcha $t \geq t_0$ da qanoatlantiradi va $\rho(x(t_0), x_0) < \varepsilon$ to'g'ri bo'ladi, bu yerda $\rho = x(\cdot), x_0$ koordinatali fazaviy nuqtalar o'rtasidagi masofa.

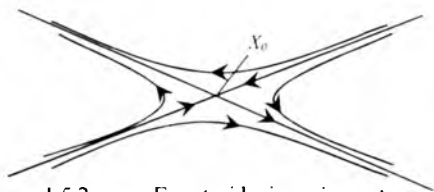
Misol sifatida quyidagi ikkita differensial tenglamalardan iborat tizimni ko'rib chiqamiz:

$$\dot{x} = V_1(x, y), \quad \dot{y} = V_2(x, y). \quad (1.5.2)$$

(1.5.2) tizimning xarakteristik tenglamasi ildizlari λ_1 va λ_2 ning qiymatlaridan qat'iy nazar, bu yerda asosiy nuqtalarning to'rt turi yuzaga keladi. Ildizlar λ_1 va λ_2 — haqiqiy va bir xil ishorali. Tugun turidagi asosiy nuqta olinadi (1.5.1-rasm). Ildizlar λ_1 va λ_2 — haqiqiy va turli ishorali. Egar turidagi statsionar nuqta olinadi (1.5.2-rasm).



1.5.1-rasm. Tugun turidagi asosiy nuqta.



1.5.2-rasm. Egar turidagi asosiy nuqta.

Ildizlar λ_1 va λ_2 – kompleks-qarama-qarshi. Fokus turidagi nuqta olinadi (1.5.3-rasm).



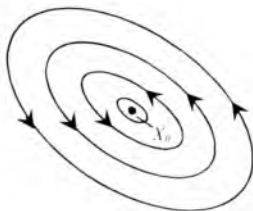
1.5.3-rasm. Fokus turidagi asosiy nuqta.

Ildizlar λ_1 va λ_2 - sof mavhum. Markaz shaklidagi nuqta hosil bo'ladi (1.5.4-rasm).

Shuningdek 1- va 2- turdagi (tugun-egar, 1.5.5-rasm) hamda 2- va 3-turdagi kombinatsiyalar (egar-fokus, 1.5.6-rasm) ham o'rinli bo'lishi mumkin.

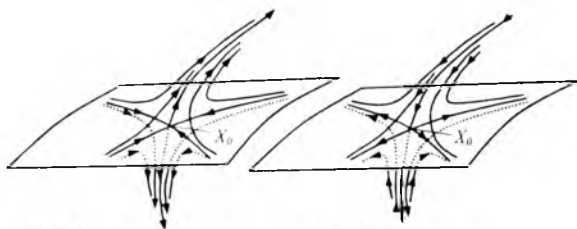
Turg'un tugun va turg'un fokus turidagi asosiy nuqtalar attaktorlar hisoblanishini aytib o'tish lozim.

Dissipativ tizimlardagi attraktorlarning boshqa turlari berk fazaviy egri chiziqlar bo'lib, ular davriy harakatlarga mos keluvchi *chegaraviy davrlar* deyiladi (1.5.7-rasm).

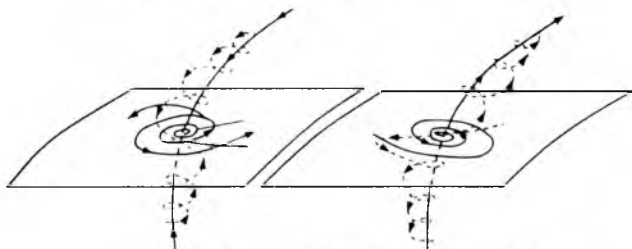


1.5.4-rasm. Markaz turidagi asosiy nuqta.

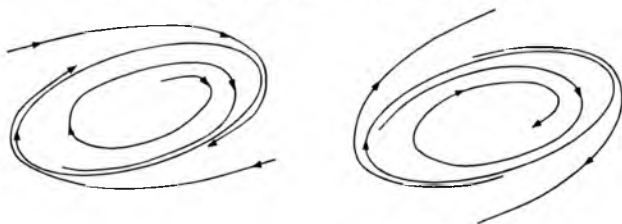
Ko'rinib turibdiki, 1.5.7.a dagi holat attraktorga mos keladi, 1.5.7, *b* variantdagisi esa yo'q. Davriy harakatlar turg'unligi Puankare tasviri bilan kechishi mumkin, ya'ni (1.5.1) tizimdan Puankare tasviriga o'tish va turg'unlikni aynan olingan tasvir asosida o'rganish zarur. Dinamik tizimning chegaraviy davri γ tasvir x^* ning qo'zg'almas nuqtasiga mos ravishda qo'yiladi va masala qo'zg'almas nuqtaning turg'unligini tahlil qilish masalasiga olib kelinadi (1.5.8-rasm).



1.5.5-rasm. Egar-tugun turidagi nuqta.



1.5.6-nuqta. Egar-fokus turidagi nuqta.



1.5.7-nuqta. Chegaraviy davrlar.

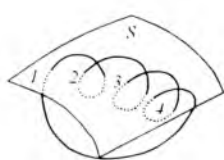
Puankare tasviri o'zida ketma-ket ulangan chekli sondagi nuqtalarni namoyon etganida fazaviy fazoda bunga berk trayektoriya bo'yicha harakatlar to'g'ri keladi va shunday qilib, tizimning xulqi

davriy bo'lad (1.5.9, *a*-rasm). Agar Puankare tasvirining nuqtalar to'plami ma'lum berk egri chiziqni qoplasa, bunga kvazidavriy harakatlar javob beradi (1.5.9, *b*-rasm).



1.5.8-rasm. Chegaraviy davr va Puankare tasviri.

Bu holatlar (1.5.1)-tizimning darajasi $n=3$ bo'lganda yuz beradi, shuning uchun ham ikki o'lchamli dissipativ tizimlarda fazaviy trayektoriyalar kesishmaydi va faqatgina ikki turdagi: turg'un statsionar nuqtalar va turg'un chegaraviy davr attraktorlari bo'lishi mumkin.



a)



b)

1.5.9-rasm. Tizimning harakatlanish rejimlari.

$n>3$ bo'lgan tizimlarda, ikki o'lchamli invariant torlarga nisbatan murakkabroq kvazidavriy harakatlar yuzaga kelishi mumkin va ular ikki ratsional chastotali kvazidavriy harakatlarga javob beradi.

Shu paytgacha ko'rib chiqilgan attraktorlar – turg'un statsionar nuqtalar, turg'un chegaraviy davrlar va invariant torlarning barchasi sodda attraktorlar hisoblanadi. Bunday attraktorlar dinamik tizimlarning fazaviy fazosining xilma-xilligi hisoblanadi. Fazoning xilma-xilligi M – bu fazodagi turli-tuman ostto'plamlar bo'lib, u $M' \subseteq M$ shaklida M' fazoning "bo'lagi" sifatida ko'rinadi va har bir nuqtada yagona urinma gipersirtga ega bo'ladi. Masalan, chegaraviy davr va ikki o'lchamli invariant tor mos ravishda bir o'lchamli va ikki o'lchamli xilma-xillikdir.

$n \geq 3$ bo'lgan dissipativ dinamik tizimlarda cheklangan o'ziga tortuvchi to'plamlar bo'lishi mumkin, ular attraktorlar hisoblanadi va shu bilan birgalikda xilma-xillik hisoblanmaydi. Bunday attraktorlar *g'ayrioddiy attraktorlar* deb ataladi. G'ayrioddiy attraktorli tizimlarda fazaviy egri chiziqlar vaqt o'tishi bilan attraktorlarga tortiladi va ular egallab turgan sohaga tushib qoladi hamda shu yerda abadiy qoladi. Shunday attraktorlarda harakatlar noturg'un hisoblanadi: tizimning ixtiyoriy ikkita trayektoriyalar, g'ayrioddiy attraktorda qolgan holda tezkorlik bilan eksponensial ravishda ajralishadi. G'ayrioddiy attraktorlar dissipativ dinamik tizimlarda xaotik harakatlarning timsoli bo'lib ham xizmat qiladi.

Ixtiyoriy dinamik tizim *fazaviy fazo* deb ataladigan fazoda nuqtalarning harakatini tavsiflaydi. Bu fazoning muhim tavsifi uning o'lchamliligi (yoki tizimning holatini aniqlash uchun berilishi lozim bo'ladigan nuqtalar soni) hisoblanadi. Agar nuqta fazaviy fazoda harakatlana turib, o'zidan iz qoldiradi deb hisoblansa, unda dinamik xaosga trayektoriyalar o'rami to'g'ri keladi.

Tartibsizlik – bu tartibning yo'qligi deb faraz qilish qabul qilingan. “Tartibsizlik” so'zi nima (tartib) nidir yo'qligini belgilash uchun ishlatiladi va yo'q narsa o'zicha mavjud bo'ladi. Biz tartibsizlik deb o'rganib qolgan narsa, zinhor tartib deb tushuniladigan narsaning yo'qligi hisoblanmaydi. Umuman boshqacha yo'l ham bor: “tartibsizlik” so'zidan keyin uning birlamchi ma'nosini keltirish va tartibsizlikni bildiruvchi narsani boshqa atama bilan belgilash mumkin.

So'nggi vaqtlarda bunday tushunchani anglatish uchun “xaos” so'zi ko'proq da'vogarlik qilmoqda. Bunda oddiy “xaos” va “determinanlangan xaos” larni o'zaro farqlash lozim [67].

Birinchidan, determinantlangan xaos oddiy xaosning xususiy holi bo'lishi kerak va shunga ko'ra quyidagi atamalarni kiritish lozim: umumiy xaos tushunchasi va uning ikkita xususiy holi bo'lgan – determinantlangan va determinantlanmagan xaoslar tushunchalari. Shuning uchun ham shunchaki xaos haqida so'z yuritamiz. “Xaos” so'zi qat'iy “determinanlangan xaos” haqida aytish mumkin bo'lmagan, ma'lum o'ziga tortuvchanlikka ega.

Qadimgi dunyoda “xaos” so'zi koinotgacha bo'lgan materiyaning tartibsizligini bildirgan va u shu nuqtai-nazardan “tartibsizlik” so'ziga sinonim sifatida qabul qilinishi mumkin. Lekin, bunday tushunchalar o'zida boshqacha fikrlarni ham tug'diradi.

Ehtimol, xaos o'ta tartibli deb atalsa bo'lardi, chunki u turli tartiblarning ulkan to'plamidan iborat.

Ko'pincha, tartib deganda, asosida u yoki bu simmetriya yotadigan fazoviy yoki fazoviy-vaqtli muntazamlik deb ataluvchi narsalar tushunilishini ko'rish mumkin.

Muntazam strukturaga ega bo'lgan tizimlar xulqini undagi simmetriya elementlariga asoslanib bashoratlash mumkin (ehtimollik darajasida). Dunyoning tartiblanganligi – bu unga bizning mo'ljall olishimizga imkon beruvchi narsadir. Bunday qarashlar natijasida tizimlarning tartibsiz, xaotik holatlarini uning bashoratlab bo'lmaydigan xulqi hisoblanishini aytish mumkin. bu holda xulq ham vaqt bo'yicha ham fazoviy ma'noga ega bo'lishi mumkin. Birinchi holda tizim berilgan vaqt momentida qanday holatdaligi, ikkinchi holda esa uning fazoviy konfiguratsiyasi haqida so'z yuritib bo'lmaydi.

Aynan bizning ajoyib dunyoda yashashga bo'lgan ichki (har doim ham anglanmaydigan) intilishlarimiz tartiblangan tizimlarga jozibadorlik beradi. Xaos esa vaziyatini o'zgartirmaydigan boy tartibni bildiradi. Ixtiyoriy yoki majburiy tarzda biz uni qo'rqituvchi va ongimizga begona qilib qabul qilamiz.

Intellektual darajada qaralganda, tizimlarning tartiblanganligi uning murakkabligi bilan bog'liq. Yaratuvchanlik tartiblilikni nazarda tutadi va buzilishlarni tartibsizlik deb qaraydi.

Yuqori murakkablikka ega, lekin muntazamlikdan mahrum bo'lgan tizimlar mavjud. Bizning fikrimizcha ularning elementlari o'rtasida aloqalar yo'q va ular tizimda tasodifiy joylashgan. Umuman olganda, aloqalar mavjud, lekin biz ularni ko'ra olmaymiz. Shuning uchun ham tartibni shunchaki tartibsizlik va xaos o'rtasidagi bir narsa deb aysak, xato bo'lmaydi. Tartibni strukturali xaos, tartibsizlikni esa strukturasiz deb ta'riflash mumkin. Shuning uchun ham xaos mustaqil va o'ziga etarli tushuncha hisoblanadi.

Tizimdagi tartibsizlik va xaos bir-biriga o'xshash va biz tizim elementlari joylashuvida qonuniyat borligini ko'rmaymiz. Buning farqi shundaki, tartibsizlikda aloqalar bo'lmaydi, xaos holatida esa ular mavjud, ammo ular joriy vaqt momentida elementlarning dolzarb joylashuvida emas, balki joylashuvchi ishlab chiquvchi ichki mexanizmlarda bo'ladi, chunki bunday mexanizmlar tizimning ichida amalga oshirilishi mumkin.

Xaos konsepsiyasining yirik dunyoqarashli ma'nosini yetarlicha baholamaslikning iloji yo'q. Atrofdagi olam nochiziqli hodisalar va jarayonlarga to'la bo'lib, xaosning imkoniyatlarini, shuningdek bu bilan bog'liq bo'lgan murakkab tizimlarning xulqini bashoratlashga bo'lgan cheklanishlarni tushunmasdan turib ularni to'g'ri aks ettirishning imkoni yo'q.

Bu ma'lum amaliy maqsadlar uchun turli tabiatli tizimlarda xaosdan foydalanish imkoniyatlarini muhokama etishga xalaqit bermaydi.

Toshqinli sharoitda kemalar yoki neftli platformalarning dinamikasi haqidagi masalaga e'tibor qaratamiz. Bu – tashqi davriy ta'sirli nochiziqli dinamik tizim. Kemaning me'yoriy, ishchi holati tizimning, boshqasiga aylantirilgan bitta attraktoriga javob beradi. Ikkinchi attraktorni o'ziga tortuvchi basseyn qanday joylashgan va qanday tuzilgan degan savolni berish mumkin. U to'liqning jadalligiga fanday bog'langan? Ravshanki, ikkinchi attraktorning tortuvchi basseyniga tushish halokatga olib boradi! Nochiziqli tahlilgina vaziyatni har tomonlama tushunish, halokatdan qutilish bo'yicha tavsiyalar va shartlarni ishlab chiqishni ta'minlashini ta'kidlab o'tamiz.

Xaotik rejimlarning dinamik tabiati va ularning kichik g'alayonlarga bo'lgan sezgirliigi sababli tashqi nazorat qilinadigan ta'sirlar vositasida samarali boshqarishga imkon tug'iladi. Bunday ta'sirning maqsadi tizimda xaos o'rniga davriy rejimni amalga oshirish yoki fazaviy fazoning berilgan sohasiga tushish hisoblanadi. Bu g'oya birinchi marta Merilend shtati universitetidagi bir guruh amerikalik tadqiqotchilar tomonidan ilgari surilgan bo'lib, amaliy rejada istiqbolli va sermahsullikni namoyon ilmoqda.

Xaoslar orqali boshqarishga muvaffaqiyatli misollar mexanik tizimlarda, elektron qurilmalarda, lazerlarda amalga oshirilgan. Misol sifatida, fazoviy apparatni oyga yo'naltirishga xaosli boshqarishni qo'llash uslubiyati ko'rib chiqilgan ishni keltirish mumkin. Kichik nazorat qilinadigan ta'sirlar yordamida yoqilg'ini juda ko'p miqdorda tejash masalasini yechish mumkin (haqiqatan, buning bahosi uchish davomiyligini oshirish hisoblanadi).

Nochiziqli dinamikaning g'oya va usullarini qo'llashning boshqa yo'nalishi signallarga ishlov berish muammosi bilan bog'liq. Tasavvur qilamiz, juda uzoqdagi, yetib bo'lmas obyekt tadqiq

qilinmoqda va bizning imkoniyatlarimiz faqatgina undan kelayotgan signallarni tahlil qilish bilan cheklanadi. So'nggi yillarda signal dinamik tizimlardan chiqqanligini aniqlash, shuningdek bu tizim xossalari va tavsiflari haqidagi axborotlarni olish imkonini beradigan uslublar taklif etilgan. Shunday qilib, nohiziqli dinamika apparati, obyektning strukturasi haqida xulosa yoki farazlarni keltirish hamda uning dinamik modelini konstruksiyalash imkonini beradigan tadqiqot vositasiga aylandi.

Signallarni tahlil qilish usullari va algoritmlarini ishlab chiqishni nohiziqli dinamikaning muhim yo'nalishlaridan deb hisoblash mumkin. Radiotexnika va elektronikada qator ilovalar ma'lum bo'lib, ularda shovqinga o'xshash tebranishlarni ishlab chiquvchi generatorlar zarur va ularning rolini dinamik xaos rejimida ishlovchi turli qurilmalar bajaradi. Misol sifatida yuguruvchi to'liqlar chirog'i uchun kechikuvchi aloqali generatorni keltirish mumkin.

Xaosning ilovalaridan biri dinamik tizimlar tomonidan ishlab chiqiladigan xotik signallardan kommunikatsiya maqsadlarida foydalanishdan iborat. Signallarning xotik tabiati hisobiga qamrab olish qiyin bo'lgan axborotlarni kodlashning yangi imkoniyatlari ochilmoqda.

Nohiziqli dinamikada olingan natijalar, axborotlarni siqish va saqlash, shuningdek ularga ishlov berish uchun yangi ma'noli imkoniyatlarni ochib bermoqda. Bunga qiziqarli misol qilib, bir o'lchamli aks ettirishlardan foydalanib, axborotlarni kodlash va ularga ishlov berish sxemasini keltirish mumkin. Axborotlarni siqishning samarali usullari fraktal geometriya g'oyalari asosida ishlab chiqilgan. An'anaviy kompyuterli arxitekturadan farq qiluvchi va nohiziqli dinamika fenomenlariga tayanuvchi tizimlarda hisoblash jarayonlarini amalga oshirish haqidagi masalalar ishlab chiqilmoqda.

Xaosni o'rganish uchun umumiy matematik tamoyillar va kompyuterli modellash tirish qo'llaniladi. Turli-tuman dinamik tizimlarning fundamental tavsifi iteratsiya, ya'ni bitta matematik qoidani tanlangan bir nechta holatga takroran (ko'p marta) qo'llash natijasi hisoblanadi. Tanlangan holda son yoki sonlar to'plami bilan tavsiflanishi mumkin, lekin bu geometrik shakl yoki konfiguratsiya bo'lishi ham mumkin.

Xaos nazariyasi bizga yangi metafizikani beradi va u butun tizimni qamrab olgan holda barcha bo'layotgan voqealarni to'la

tasvirlab bera oladi. Oqimdagi o'zgarishlarni o'z vaqtida anglay olish imkoni haqiqiy tizimli tahlilning masalasi hisoblanadi. Tashqi atrof-muhit ham xuddi bizning ichki dunyomiz va ongimizdagi oqimlar kabi xaotikdir. Bunday xaosdan biror-bir fikrni ajratib olishimiz uchun reallikning asosiy strukturasi aniqlashimiz, boshqacha aytganda xaos asosida yotadigan tartibni ochishimiz zarur [67].

Real dunyoning hodisasi bo'lgan bozor – umuman tartibsiz va mustaqil. Xaos bashoratlarni boshqaradi. Bozordagi savdoga sodda chiziqli yondoshish hech bir ish bermaydi. Bozor cheksiz murakkab. Xaosdan har doim yuqori tartib kelib chiqadi, lekin bu tartib o'z-o'zidan va kutilmaganda yuz beradi. Ob-havoga o'xshab, fondlar va mahsulotlar bozori, shuningdek boshqa xaotik tizimlar e'tiborga olmaydigan darajadagi kichik o'zgarishlar hisobiga kutilmagan natijalarga olib borishi mumkin. Bugungi kunda birjadagi o'yinchilar investitsiyalash va savdoda nochiziqli usullardan foydalanishmoqda. Fraktallar – bu bozorning yangi vositalari. Fraktallar – bu bozorlarning o'zini-o'zi tashkil etish usullari. Maxsus fraktal tashkilotlar xaos to'g'risidagi fanda *attraktorlar* deb ataladigan mexanizmlar yordamida tuziladi.

Hodisalarni saralash va yuz berayotganlarni tushunishni o'rganishda fikrlashdan foydalanish uchun reallikning asosiy strukturasi topishimiz kerak. Tartibni ochib beruvchi struktura xaosning asosida yotadi. Bizning ongimizda ushbu tartibni aniqlash uchun yordam beradigan to'rtta nochiziqli funksiyalar mavjud. Xaosni tadqiq qilayotgan olimlar, hech bir qonuniyatga bo'ysunmaydigan xaotik jarayonlar haqiqatda maxfiy (yashirin) tartibga bo'ysunishini aniqlashdi. Ular to'rt karra ochgan tartibga ko'ra barcha tashqi hodisalarga ular "to'rtta attraktorlar" deb atagan, tartibsizlikdan tartibni keltirib chiqaruvchi kuchlarga bog'liq ravishda yuz beradi. To'rtta attraktorlar: *nuqtali attraktor*, *davriy attraktor*, *Toras attraktori* va *g'ayrioddiy attraktor* deb nomladi.

Nuqtali attraktor – bu xaosda tartibni yo'lga qo'yishning eng sodda usuli. U cheksiz nuqtalardan tashkil topgan chiziqni birinchi o'lchashda yashaydi. Inson ushbu attraktor ta'sirida bir faoliyatdan boshqasiga o'tishga bo'lgan qiziqishni boshdan kechiradi. Bu – attraktor birinchi o'lchamlili bo'lib, u bozorlardagi savdo uchun ishlatilishi mumkin.

Davriy attraktorning tavsifi – mayatnik yoki davriy magnitga oʻxshab orqaga-oldinga harakatlanish. U oʻziga tortadi, keyin oʻzidan itaradi, soʻng yana tortadi va shu kabi. U cheksiz sondagi chiziqlardan iborat boʻlgan tekislikdagi ikkinchi oʻlchashda yashaydi. U maʼlum vaqt davomida narx yuqoriga va pastga oʻzgaruvchi bozorni tavsiflaydi. Bu attraktor nuqtaliga qaraganda murakkabroq va murakkabroq xulq uchun asosiy struktura hisoblanadi. Bir faoliyat avtomatik tarzda takrorlanuvchi tartibda boshqasiga olib boradi. Masalan, paxta bozorida bu holat yillik xarakterga ega.

Uchinchi, murakkabroq attraktor *Toras attraktori* sifatida maʼlum. U oldinga harakatlanishga koʻra oʻzini takrorlovchi murakkab sirkulyatsiyadan boshlanadi. Bu attraktor cheksiz tekisliklardan tuzilgan uchinchi oʻlchashda yashaydi. Nuqtali va davriy attraktorlarga nisbatan Toras attraktori yuqori darajadagi tartibsizlikka ega va uning modellari ham murakkabroqdir. Bu sathda bashorat koʻproq aniq xarakterli va modellar tugallangan tendensiyaga ega boʻladi. Grafik shaklda u halqa yoki shox shaklidagi buloqchaga oʻxshaydi. U turli tekisliklar qatorida spiralsimon aylana hosil qiladi va baʼzida toʻla aylanishni tugallab oʻziga qaytib keladi. Uning asosiy tavsifi – takrorlanuvchi harakat. Shunga oʻxshash hodisani dunyo boʻyicha qimmatli qogʻozlarning xavfsizlikka intilishida kuzatish mumkin. Agar davlat qimmatli qogʻozlari boʻyicha stavka oshib ketsa, ular koʻproq investorlarni jalb etadi. Keyin ularning narxi oshadi va foizli stavkalari tushib ketib, ularga boʻlgan qiziqishni tushirib yuboradi.

Toʻrtinchi oʻlchashdan boʻlgan *gʻayrioddiy attraktor* oʻzini-oʻzi tashkil etuvchidir. Bu – tugʻilish joyi, erkinlik va haqiqatda bozor qanday ishlashi toʻgʻrisidagi tushunchalardir. Tashqi qarashlar mutloq xaos kabi qabul qilinadi va unda hech qanday tartib sezilmaydi, toʻrtinchi oʻlchashda kuzatilganda esa gʻayrioddiy attraktor asoslanuvchi maʼlum tartib borligi bilinadi. Gʻayrioddiy attraktorning boshqa tavsifi – bu baʼzida “kapalak samarasi” deb nomlanadigan boshlangʻich shartlarga sezgirlikdir. Keyinchalik boshlangʻich shartlardan ogʻish, natijada katta farqlarga olib kelishi mumkin. Bitimlarni tuzishdagi boshlangʻich shartlarning farqlari savdo tizimi rentabelligiga besh karra taʼsir etishi mumkin. boshqacha soʻz bilan aytganda, sezgi bolangʻich shartlarda bitim tuzish foydani 500 foizga oshishiga olib kelishi mumkin.

Sodda attraktorga muntazam harakatlar mos kelishi, g'ayrioddiy attraktorli tizim dinamikasi esa xaotik hisoblanishi aniqlangan. Shuning uchun, muntazam harakatlarni xaotik harakatlardan farqlovchi ba'zi mezonlarni, boshqacha aytganda bir turdagi attraktorlarni boshqa turdagilaridan ajratish imkonini beruvchi mezonlarni belgilab olish zarur. (1.5.1)-tizimni tadqiq qilamiz.

Xaotiklik fazaviy trayektoriyalarning noturg'unligi natijasi hisoblansa, unda farqlash mezonni sifatida dinamik tizimlarning fazaviy egri chiziqlarining tarqalish o'lchamini tanlash maqsadga muvofiqdir:

$$d(t) \approx d(0)e^{kt}, \quad (1.5.3)$$

bu yerda $d(t)$ – ikkita yaqin fazaviy nuqtalar orasidagi masofa, $d(t) = |x_2(t) - x_1(t)|$, k – trayektoriyalarning eksponensial tarqalishining o'rta tezligi.

(1.5.3) ifodadan k quyidagicha aniqlanadi:

$$k \approx t^{-1} \ln[d(t)/d(0)]. \quad (1.5.4)$$

Agar (1.5.4) formulada $d(0) \rightarrow 0$ va $t \rightarrow \infty$ bo'lsa, unda Kolmogorov-Sinay yoki KS-entropiyalari bo'lgan quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$h = \lim_{\substack{d(0) \rightarrow 0 \\ t \rightarrow \infty}} t^{-1} \ln[d(t)/d(0)], \quad (1.5.5)$$

Xaotik harakatlar yuzaga kelganda $h > 0$. Agar tizimning harakatiga turg'un statsionar nuqta javob bersa, unda $h < 0$. $h = 0$ bo'lsa, tizimning davriy yoki kvazidavriy xulqidan darak beradi.

Tizim (1.5.1) uchun $\vec{\xi} = x_2(0) - x_1(0) = d_0$ boshlang'ich siljish vektorlari orqali aniqlanadigan quyidagi funksiya tuzilgan:

$$\wedge(\vec{\xi}(0)) = \lim_{t \rightarrow \infty} t^{-1} \ln(|\vec{\xi}(t)|/|\vec{\xi}(0)|),$$

bunda $|\vec{\xi}(0)| = \varepsilon$, $\varepsilon \rightarrow 0$.

$\vec{\xi}(0)$ vektorning turli o'zgarishlarida funksiya $\wedge$ sakrab o'zgaradi va $\{\lambda_i\}$, $i = \overline{1, n}$ qiymatlarning so'nggi qatorini qabul qiladi. λ_i – Lyapunov ko'rsatkichlari deb ataladi. Kolmogorov-Sinayning h – entropiyasi haqiqatda Lyapunov ko'rsatkichlarining maksimal tavsiflari hisoblanadi.

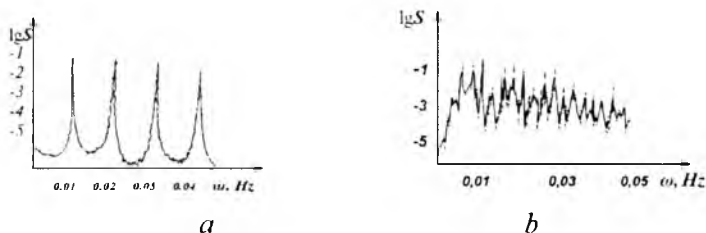
Ikki o'lchamli tizimlarda ikki turdagi attraktorlar: turg'un statsionar nuqta va chegaraviy davr yuzaga kelishi mumkin. $\{\lambda_i\}$ orqali ular quyidagicha identifikatsiyalanishi mumkin. Agar

$(\lambda_1, \lambda_2) = (-, -)$ bo'lsa, unda attraktor turg'un nuqta bo'ladi, agar $(\lambda_1, \lambda_2) = (-, 0)$ bo'lsa, unda chegaraviy davr bo'ladi. Agar tizim (1.5.1) da $n = 3$ bo'lsa, attraktorlarning barcha turlari quyidagicha identifikatsiyalanishi mumkin: $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = (-, -, -)$ – turg'un fokus yoki tugun; $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = (-, -, 0)$ – turg'un chegaraviy davr; $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = (-, 0, 0)$ – turg'un tor; $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = (-, 0, +)$ – g'ayrioddiy attraktor.

Nochiziqli tizimlarning muntazam va xotik harakatlarini farqlashning boshqa muhim mezonlari tizim xulqining avtokorrelyatsion funksiyasi hisoblanadi. Tabiiyki, tizimning xulqi davriy va kvazidavriy bo'lganda avtokorrelyatsion funksiya ham davriy va kvazidavriy funksiya bo'ladi. Agar vaqt o'tishi bilan avtokorrelyatsion funksiya nolga intilsa va tizimda turg'un statsionar nuqtalar bo'lmasa, unda tizimda harakatlanishning xotik rejimi kuzatiladi.

(1.5.1) tizim xulqining xotikligini identifikatsiyalashning puankare tasviriga asoslanuvchi yana bir mezoniga e'tibor qaratamiz.

Avtokorrelyatsion funksiyaning o'rniga xususi sohada spektral zichlikni qabul qilish mumkin. Sonli usulda hisoblash yoki tajribaviy aniqlash orqali, spektral ichlikning ko'rinishga ko'ra tizim xulqini muhokama etish mumkin. Masalan, tizim harakatining spektri uzluksiz bo'lsa, bu xotik rejim mavjudligidan darak beradi. 1.5.10-rasmda Belousov-Jabotinskiy kimyoviy reaksiyalari oraliq birikmalarining konsentratsiyalari o'zgarishining xususiyatlari aks ettirilgan.



1.5.10-rasm. Belousov – Jabotinskiy reaksiyalari dinamikasi.

Puankare tasvirlari yordamida (1.5.1) tizimning harakatlari turg'unligini tadqiq qilish, ushbu paragrafda oldinroq ko'rib chiqilgan (1.5.9-rasm) va 1.5.9,a-rasm chegaraviy davrga, 1.5.9,b-rasm esa tor bo'yicha harakat, ya'ni kvazidavriy xulqqa tegishli ekanligi ko'rsatib

o'tilgan edi. Agar (1.5.1) tizim dinamikasi trayektoriyasini aks ettiruvchi nuqtalar, S sirtida muntazam bo'lmagan tarzda ba'zi sohalarni to'ldirsa, unda bu tizimda g'ayrioddiy attraktorning mavjudligini, bu esa o'z navbatida xaoslik xulqini bildiradi (1.5.11-rasm).



1.5.11-rasm. Xaoslik harakatda Puankare tasviri.

Puankare tasviri dinamik tizimlarning to'la xarakterini aniqlab beradi. Xaosni identifikatsiyalashning yuqorida muhokama etilgan mezonlaridan tashqari, attraktorning geometrik strukturalari, ya'ni fraktallarga asoslanuvchi, aniqroq yana bitta mezon mavjud.

Faraz qilamiz, tizim (1.5.1) n -o'lchamli fazaviy fazoda tavsiflanadi. M fazaviy fazoning A to'plami tomonlarini, to'plamning barcha nuqtalari kubiklardan iborat bo'ladigan qilib, n -o'lchamli kubiklar bilan qoplaymiz. N - A to'plamni qoplash uchun zaruriy kubiklarning minimal soni.

$$d(A) = \lim[\ln N(\varepsilon) / \ln(1/\varepsilon)],$$

bu yerda $d(A) \equiv dF$ - metrik o'lcham va u *fraktal o'lcham* deb nomlanadi.

Muntazam to'plamlar uchun fraktal o'lcham oddiy o'lcham bilan mos keladi, masalan, sirt uchun $dF=2$, chiziq uchun $dF=1$. Chegaraviy davrga muvofiq $dF=2$ (ikkala attraktor ham sodda). G'ayrioddiy attraktorlar uchun fraktal o'lcham kasr qiymatga ega.

Shunday qilib, fraktal o'lchamdan sodda va g'ayrioddiy attraktornlarni identifikatsiyalash, ya'ni muntazam xaoslik harakatlarni farqlash mezoni sifatida foydalanish mumkin. Fraktal o'lchamni qanday hisoblaymiz? - degan savol tug'iladi. Fraktal o'lcham dF quyidagicha aniqlanadigan Lyapunov o'lchami bilan mos tushadi:

$$dL = j + \sum_{i=1}^j \lambda_i / |\lambda_{i+j}|, \quad (1.5.6)$$

bu yerda $\lambda_j \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n$, son j esa quyidagi shartdan aniqlanadi:

$$\sum_{i=1}^j \lambda_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^{j+1} \lambda_i < 0. \quad (1.5.7)$$

(1.5.1) da $n=3$ va u g'ayrioddiy attraktorda yuz beradi deb hisoblasak, (1.5.6) ifoda quyidagi ko'rinishni oladi:

$$DL = 2 + \lambda_1 / |\lambda_3|,$$

chunki bunday tizimlar uchun $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$ va $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = (+, 0, -)$.

Tizimning g'ayrioddiy attraktorining fraktal o'lchami sonli aniqlangan:

$$x = y(z - 1 + x^2) + \gamma x,$$

$$y = x(3z + 1 - x^2) + \gamma y, \quad z = -2z(v + xy), \quad v = 1.1, \quad \gamma = 0.87.$$

Bunday tizimlarda g'ayrioddiy attraktor uch o'lchamli shakl va sirt o'rtasidagi oraliq holatni egallashi aniqlangan $dF = 2.318 \pm 0.002$.

Agar ko'rib chiqilayotgan tizim parametrga bog'liq bo'lsa, unda uning o'zgarishi orqali attraktorlarning tavsiflarini asosiy o'zgarishiga, shuningdek tizim xulqini o'zgarishiga erishish mumkin. Xususan, agar $n=2$ bo'lganda (1.5.1) tizimning parametrlari ozgina o'zgartirilsa, turg'un nuqta ozroq siljiydi va chegaraviy davr o'z shakli va davrini o'zgartiradi. Agar parametrlarni o'zgartirish davom ettirilsa, u kritik qiymatgacha yetib boradi. Attraktor sifatli topologik qayta tuzilishga bardosh berishi mumkin, lekin tizimning xulqi keskin o'zgaradi. Tizimdagi harakatlarning o'rnatilgan (qaror) rejimlarining topologik qayta tuzilishi *bifurkatsiya* deb ataladi. Tizim parametrlarining uzluksiz o'zgarishiga bifurkatsiyalar ketma-ketligi to'g'ri keladi.

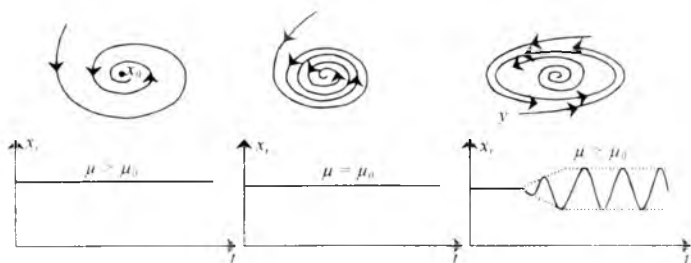
Boshqaruvchi parametr μ ga bog'liq bo'lgan tizim berilgan bo'lsin:

$$x = V(x, \mu). \quad (1.5.8)$$

μ ning ma'lum qiymatida statsionar yechim $X_0 = X_0(\mu)$ ga egamiz deb hisoblaymiz. Shuningdek, $\mu < \mu_0$ da (1.5.1) tizimning statsionar nuqtasi $X_0(\mu)$ turg'un, $\mu > \mu_0$ da esa noturg'un deb faraz qilamiz. Nuqta μ_0 *bifurkatsion nuqta* deyiladi va xaosning rivojlanishi uchun $\mu > \mu_0$ dagi yechimlar sohasi qiziqarlidir.

Xaos rivojlanishini boshqarish, μ parametrni rostlash yoʻli bilan xaotik harakatlarni taʼminlovchi bifurkatsiyalar ketma-ketligini olishdan iborat.

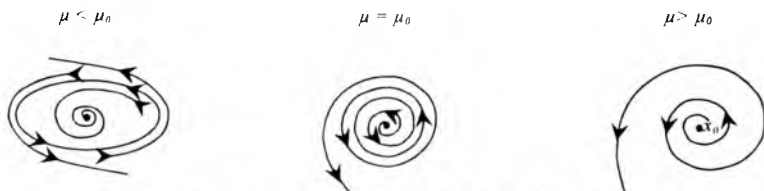
Avtomatik boshqarish boʻyicha mutaxassislariga yaxshi maʼlum boʻlgan usul – Andronov-Xopf bifurkatsiyasi hisoblanib, unda X_0 statsionar yechim turgʻunligini yoʻqotganda chiziqlantirish matritsasining kompleks-qarama-qarshi xususiy qiymatlari juftligi $\lambda_{1,2} = \xi + i\omega$ oʻng yarimtekislikka oʻtadi. Bunda bifurkatsiya yuz beradi – turgʻun statsionar nuqtadan chegaraviy davr paydo boʻladi. Agar paydo boʻlgan chegaraviy davr turgʻun boʻlsa, unda turgʻunlikning kichik miqdorda yoʻqotilishi yuz bergan boʻladi (1.5.12-rasm).



1.5.12-rasm. Turgʻunlikni yoʻqotishning fazoviy tasviri.

Turgʻunlik katta miqdorda yoʻqotilganda (1.5.13-rasm) tizim μ_0 orqali harakatlanishning boshqa rejimiga sakrab oʻtadi. Faraz qilamiz, bifurkatsiya natijasida turgʻun chegaraviy davr yuzaga keldi. μ parametrning keyingi uzluksiz oʻzgarishlarida tizimda turli xil bifurkatsiyalar yuzaga keladi. Ularning xaos rivojlanadiganlariga toʻxtalamiz. Birinchi: faraz qilamiz, boshlangʻich davr turgʻunligini yoʻqotilishi va invariant ikki oʻlchamli torning yuzaga kelishi yuz berdi (1.5.14-rasm).

Bunda ikki oʻlchamli invariant tor turgʻunligini yoʻqotib, uch oʻlchamli toroidal xilma-xillik yuzaga kelishi mumkin. Tizimning xulqi bunday hollarda uchta mustaqil chastotalar bilan tavsiflanadi. Keyin boshqarish parametri μ ni oʻzgartirib, bifurkatsiyalar ketma-ketligini hosil qilish mumkin va natijada oʻsib boruvchi oʻlchamli invariant torlar yuzaga keladi. Umuman eng oxirida oʻlchanmaydigan k chastotali murakkab kvazidavriy harakat paydo boʻladi va juda katta k da u xaotik boʻladi.



1.5.13-rasm. Turg'unlikni yo'qotishning fazoviy tasviri.



1.5.14-rasm. Chegaraviy davrdan ikki o'lchamli torga o'tish.

Boshqarish parametri μ uzluksiz o'zgarganda, uch bifurkatsiyadan so'ng, turg'unligi osongina buziladigan uch chastotali kvazidavriy harakat paydo bo'ladi va buzilgan uch o'lchamli tor o'rnida g'ayrioddiiy attraktor yuzaga keladi.

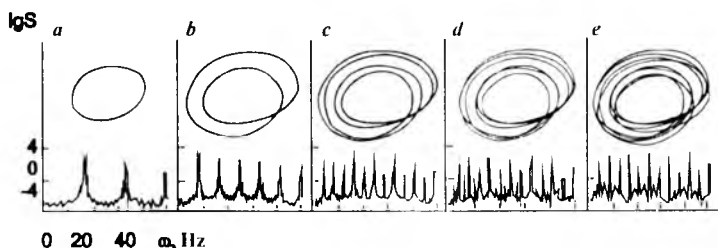
Ikkinchi: ikkilangan (ikki karra oshirilgan) davrning chegaraviy davri yuzaga keladi. Boshqarish parametrini yanada oshirib borish natijasida turg'unlikni yo'qotishning bifurkatsiyalari yana yuz berishi va to'rt hissa oshirilgan davr va shu kabilar paydo bo'lishi mumkin. Bifurkatsiyaning bunday ketma-ketligi μ qiymatlarining chekli intervalida yuz beradi va tizimni turg'un davriy harakatdan xaotik harakatga olib boradi. Xaos rivojlanishining bunday ko'rinishi kimyoviy reaksiyalarni tavsiflovchi quyidagi tenglamalar tizimi misolida aks ettirilgan:

$$x = -(y+z), \quad y = x + y/5, \quad z = 1/5 + z(x - \mu).$$

$\mu = \mu_1$ ning ma'lum qiymatlarida, ya'ni $\mu = 2.6$ da bifurkatsiya natijasida turg'un nuqtadan davrning chegaraviy davri yuzaga keladi (1.5.15, a-rasm).

Navbatdagi bifurkatsiya $\mu = \mu_2$ da, ya'ni $\mu = 3.5$ bo'lganda davrning sikli τ_1 davrdan ikki baravar katta bo'lgan $\tau_2 = 2\tau_1$ turg'un chegaraviy davrga aylanadi (1.5.15, b-rasm). μ ning keyingi oshishi bilan, ya'ni $\mu = 4.1$ va $\mu = 4.18$ bo'lganda tizimda $2^m \tau_1$ davrga mos

keluvchi turg'un davriy harakatlar yuzaga keladi, bunda $m=3,4,\dots$ (1.5.15, c,d-rasmlar).



1.5.15-rasm. G'ayrioddiy attraktorga o'tish

Chegarada, ya'ni $\mu = \mu_c$ bo'lganda chegaraviy davr tutashmaydigan tortuvchi fazoviy trayektoriyaga aylanadi $\mu > \mu_c$ bo'lganda, ya'ni $\mu = 4.23$ da g'ayrioddiy attraktor shakllanadi (1.5.15, e-rasm).

Xaos nazariyasini axborotlarga ishlov berishga qo'llash uchun turli chiplar va xaotik tarmoqlar ishlab chiqilgan. Xaotik chip noxiziqli diskret tizimlar xulqini tahlil qilish uchun ishlatiladi. Assotsiativ xotira global bog'lovchi tasvirlardan foydalandi, bunda simmetrik kubik funksiyalar ishlatiladi.

Xaotik chipning strukturasi 1.5.16-rasmda tasvirlangan bo'lib, tutib turishning noxiziqli elementlari, chiziqli elementlari, jamlovchi element va boshqaruv impulslari generatorini o'zida birlashtiradi.

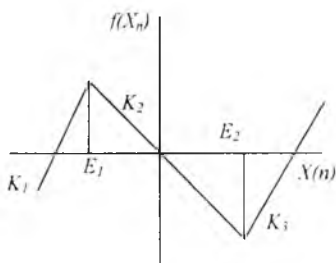
Bu yerda xaotik chip, shakli 1.5.16-rasmda keltirilgan noxiziqli aks ettiruvchi N -shakli funksiyalar bilan tavsiflanadi va u quyidagicha yoziladi:

$$f(x_n) = a(R_3) f_N(x_n, R_1, R_2, R_3) + 0.5x_n, \quad (1.5.9)$$

bunda R_i - tashqi rezistorlar bo'lib, R (chipdagi rezistor) va kuchlanishlar V_1, V_2, V_3 orqali noxiziqli parametrlar k_1 (chap qiyalik), k_2 (markaziy qiyalik), k_3 (o'ng qiyalik), E_1, E_2 (mos ravishda berilgan pik qiymat x_n va minimal qiymat $f(x_n)$) bilan beriladi).

Shunday qilib, noxiziqli parametrlarning ma'lum uyg'unligida xaotik chipdan foydalanib amalga oshiriladigan sodda dinamik noxiziqli tizim xaotik xulqni ta'minlashi mumkin:

$$x_{n+1} = f(x_n), \quad (1.5.10).$$



1.5.16-rasm. Tashqi uchlanish va rezistorlar bilan aniqlanadigan xotik chipdagi noxiziqli akslantiruvchi N -shaklli funksiya.

Xotik elementlar o'zaro birlashib, yuqori o'lchamli xaosni o'rnatadigan xotik tarmoqlarni hosil qilishi mumkin. Faraz qilamiz, uchta xotik elementlardan tuzilgan xotik tarmoq differensial tenglamalar tizimi bilan tavsiflansin

$$\begin{aligned} X_{n+1} &= (1-e)f(x_n) + \frac{e}{2}\{f(y_n) + f(z_n)\}, \\ Y_{n+1} &= (1-e)f(y_n) + \frac{e}{2}\{f(x_n) + f(z_n)\}, \\ Z_{n+1} &= (1-e)f(z_n) + \frac{e}{2}\{f(x_n) + f(y_n)\}, \end{aligned} \quad (1.5.11)$$

bu yerda e – xotik elementga boshqa xotik elementdan kelayotgan umumiy kirish funksiyasi.

Bunday tizimlar xulqning yanada yuqori o'lchamli imkoniyatlarini hosil qiladi.

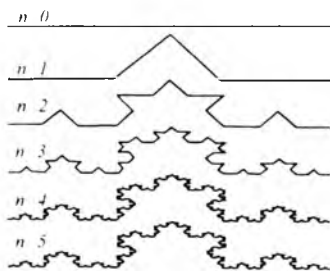
Bugungi kunda mashinali grafikada fraktallarning roli yetarlicha kattadir. O'ta murakkab shakldagi chiziqlar va sirtlarni bir nechta koeffitsiyentlardan foydalanib berish talab etilganda ular yordamga keladi. Mashinali grafika nuqtai-nazaridan, sun'iy bulutlar, tog'lar, dengiz sirtini ishlab chiqishda fraktal geometriya o'rnini hech narsa egallay olmaydi. Timsollari tabiiy holdagisiga juda o'xshash bo'lgan murakkab noyevklid obyektlarni aks ettirishning yengil usullari topilgan.

Fraktallarning asosiy xossalaridan biri *o'ziga o'xshashlik* hisoblanadi. Eng oddiy holda, fraktalning katta bo'lmagan qismi butun fraktal haqidagi axborotga ega bo'ladi.

Mandelbrot tomonidan fraktalga berilgan ta'rif: "qaysidir ma'noda butun holatga o'xshash bo'lgan qismlardan tashkil topgan strukturaga *fraktal* deyiladi".

Geometrik fraktallar. Bu sinfdagi fraktallar – eng yaqqol fraktallar. Ikki o'lchamli holatda ular *generator* deb ataladigan ba'zi siniq chiziqlar (yoki uch o'lchamli holatda sirt) yordamida hosil qilinadi. SinIQ chiziqlarni tashkil etuvchi kesmalarning algoritmini har bir qadamida sinIQ chiziqli-generator mos masshtabga o'zgaradi. Bu amalning cheksiz takrorlanishi natijasida geometrik fraktal hosil qilinadi. Bunday fraktalli obyektlardan biri – Koxning rioldi egri chizig'ini ko'rib chiqamiz. Egri chiziqni yasash birlik uzunlikdagi kesmadan boshlanadi (1.5.17-rasm) – bu Kox egri chizig'ining nolInchi avlodi. Keyin har bir bo'g'in (nolInchi avlodda bitta kesma) 1.5.17-rasmda $n=1$ bilan belgilangan shakllantiriluvchi elementga o'zgaradi.

Bunday almashinishlar natijasida Kox egri chizig'ining keyingi avlodi hosil bo'ladi. Birinchi avlodda egri chiziq har birining uzunligi $1/3$ bo'lgan to'rtta to'g'ri chiziqli bo'g'indan tashkil topadi. Uchinchi avlodni olish uchun har bir bo'g'in kichraygan elementga aylanguncha ushbu harakatlarni davom ettirish zarur.



1.5.17-rasm. Koxning trioldi egri chizig'ining tuzilishi.

Shunday qilib, har bir keyingi avlodni olish uchun oldingi avlodni kichraygan tasvirlovchi element bilan almashtirish kerak. Ixtiyoriy chekli n dagi n -avlod egri chizig'i *fraktal oldi* deb ataladi. 1.5.17-rasmda egri chiziqning besh avlodi tasvirlangan. n bo'lganda cheksizlikka intiluvchi Kox egri chizig'i fraktal obyekt bo'lib qoladi.

Mashinali grafikada geometrik fraktallardan foydalanish daraxt, buta, qirg'oq chiziqlari tasvirlarini hosil qilish uchun zarur. Ikki

o'lchamli geometrik fraktallar hajmli teksturalar (obyekt sirtidagi rasmlarni) yaratish uchun ishlatiladi.

Algebraik fraktallar. Bu – fraktallarning eng katta guruhi. Ular n -o'lchamli fazoda nochiziqli jarayonlar yordamida hosil qilinadi. Eng ko'p ikki o'lchamli jarayonlar o'rganilgan. Nochiziqli iteratsion jarayonni diskret dinamik tizim sifatida qarab, bu tizimlar nazariyasining atamalaridan foydalanish mumkin: fazoviy tasvir (portret), qaror (o'rnatilgan) jarayon, attraktor va shu kabilar.

Ma'lumki, nochiziqli dinamik tizimlar bir nechta turg'un holatlarga ega bo'ladi. Ba'zi holatlarda dinamik tizim bir nechta iteratsiyalardan so'ng boshlang'ich holatga bog'liq bo'lib qoladi. Shuning uchun ham har bir turg'un holat (yoki attraktor) boshlang'ich holatlarning ba'zi sohalariga ega bo'ladi va ularning birida tizim albatta ko'rib chiqilayotgan so'nggi holatga tushadi.

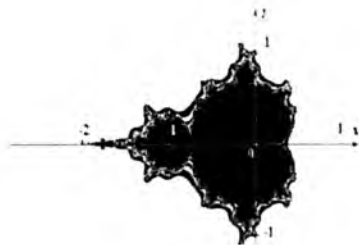
Shunday qilib, tizimning fazoviy fazosi attraktorlarning tortishish sohalariga bo'linadi. Agar ikki o'lchamli fazo fazoviy deb hisoblansa, unda tortishish sohalarni turli ranglar bilan bo'yab, bu tizim (iteratsion jarayon) ning rangli fazoviy tasvirini hosil qilish mumkin. Rang tanlash algoritmini almashtirib, ajoyib rang-barang gulli murakkab fraktal tasvirni olish mumkin. Matematiklar uchun sodda algoritmlar yordamida juda murakkab ma'noli strukturalarni hosil qilish imkoniyatlari kutilmagan hol bo'lib chiqdi.

Misol sifatida Mandelbrot to'plamini ko'rib chiqamiz (1.5.18 va 1.5.19-rasmlar). Uni qurish algoritmi juda sodda va oddiy iteratsion ifodaga asoslangan:

$$z[i+1] = z[i]^2 + C,$$

bu yerda $Z(i)$ va C – kompleks o'zgaruvchilar.

Iteratsiya kompleks tekislikning ostto'plami – to'g'ri to'rtburchakli yoki kvadratli sohasining har bir boshlang'ich nuqtasi C uchun bajariladi. Iteratsiya jarayoni toki $z[i]$ ning qiymati markazi (0,0) nuqtada yotgan (bu dinamik tizimning attraktori cheksizlikda ekanligini bildiradi) aylana radiusi 2 ning chegarasidan chiqib ketmaguncha yoki ko'p sondagi (masalan, 200-500) iteratsiyalardan so'ng $z[i]$ aylananing biror nuqtasiga yetib bormaguncha davom ettiriladi.



1.5.18-rasm. Mandelbrot to'plami.

$z[i]$ aylananing ichida qoladigan iteratsiyalar soniga ko'ra C nuqtaning rangini aniqlash mumkin (agar $z[i]$ ko'p sondagi iteratsiya davomida aylananing ichida qolsa, iteratsion jarayon tugatiladi va bu nuqta qora rangga bo'yaladi).

Ko'rib chiqilayotgan algoritm Mandelbrot to'plamiga yaqinlashish imkonini beradi. Bu to'plamga cheksiz sondagi iteratsiyalar davomida cheksizlikka ketmaydigan nuqtalar tegishli bo'ladi (qora rangli nuqtalar). To'plam chegarasidagi nuqtalar (aynan o'sha yerda murakkab strukturalar yuzaga keladi) chekli sondagi iteratsiyalarda cheksizlikka ketadi, to'plam chegarasidan tashqarida yotuvchi nuqtalar esa bir nechta iteratsiyadan keyin cheksizlikka ketadi (oq fon).



1.5.19-rasm. Mandelbrot to'plami chegaralari sohasi, 200 marta kattalashtirilgan.

Stoxastik fraktallar. Fraktallarning yana bir mashhur sinfi stoxastik fraktallar hisoblanib, ular iteratsiya jarayonida uning biror parametri tasodifiy o'zgarganda yuzaga keladi. Bunga misol sifatida tabiatdagi nosimmetrik daraxtlar, qirg'oq chiziqlari kesimi va shu kabi

obyektlarni olish mumkin. ikki o'ldhamli stoxastik fraktallar hududlar relyefi va dengiz sirtini modellastirishda ishlatiladi.

Fraktallarning boshqa sinflari ham mavjud (masalan, determinantlangan (algebraik va geometrik) va determinantlanmagan (stoxastik) fraktallar).

Nochiziqli tizimlarda muntazam bo'lmagan (xaotik) hodisalar uchun o'xshatishga ko'ra dinamik (yoki determinantlangan) xaos atamasi berilgan edi. Kuzatilayotgan xaotik xulq, shovqinning tashqi manbalari, erkinlik darajasi sonining kattaligi va kvant mexanikasi bilan bog'liq bo'lgan noaniqliklar hisobiga ham yuzaga kelmaydi. U xususan nochiziqli determinantlangan tizim dinamikasi orqali yuzaga keladi. Fazaviy fazoda tizimning bunday xulqiga *g'ayrioddiy attraktor* to'g'ri keladi. Bu holda attraktor – bu fazodagi trayektoriyalar to'plami bo'lib, unga qolgan barcha trayektoriyalar tortiladi va *tortishish hasseyini* deb nomlanadi. "G'ayrioddiy" atamasi xaotik xulqqa mos keluvchi attraktorning noodatiy xossalari ko'rsatish uchun ishlatiladi. Xulqning noturg'unligini sababi nochiziqli tizimlarning xossalari fazodagi cheklangan sohada dastlab yaqin bo'lgan trayektoriyalarni eksponensial tarzda tez ajratib yuborishi hisoblanadi. Xaotik tizimlar trayektoriyalari xulqini uzoq vaqt davomida bashoratlashning iloji yo'q, chunki boshlang'ich shartga bo'lgan sezgirlik yuqori, boshlang'ich shartni esa (fizik tajribalar va kompyuterli modellastirishda) chekli aniqlik bilangina berish mumkin.

Bir qarashda, xaos tabiati ularni boshqarish imkoniyatidan xoli ko'rinadi. Haqiqatda esa, aksincha: xaotik tizimlar trayektoriyalarining noturg'unligi ularni boshqarishga favquloda sezgir qilib qo'yadi. Masalan, g'ayrioddiy attraktorli tizimga ega bo'linsin va fazoviy trayektoriyani attraktorning bir nuqtasidan boshqasiga o'tkazish talab etilsin.

Xaotik trayektoriyalar vaqt o'tishi bilan attraktorga tegishli ixtiyoriy nuqta tevaragiga tushish xossasiga ega. Bu yuz berishi uchun talab etiladigan vaqt T dan ko'p bo'lmasa, talab etilgan natijani trayektoriyaning juda kichik g'alayonlarini bir yoki bir nechta hisobiga olish mumkin bo'ladi. Bu g'alayonlarning har biri trayektoriyani yengilgina o'zgartiradi. Lekin bir qancha vaqt o'tib, kichik g'alayonlarning to'planishi va eksponensial kuchayishi trayektoriyaning kuchli korreksiyanishiga olib keladi. G'alayonlar

to'g'ri tanlaganda trayektoriyani xaotik attraktordan chiqarmagan holda qo'yilgan masalani yechish mumkin.

Shunday qilib, xaosli tizimlar bir vaqtda ham yaxshi boshqariluvchanlikni ham ajoyib egiluvchanlik (tizim tashqi ta'sirlarga aniq javob berishi va shu paytda harakatlanish turini saqlab turishi) ni namoyon etadi. Ko'pgina tadqiqotchilarning fikriga ko'ra, boshqariluvchanlik va egiluvchanlikning kombinatsiyasi, xaotik dinamika ko'pgina tirik organizmlarning hayotiy muhim osttizimlari uchun xulqning xarakterli turi (masalan, yurak ritmining xaotik xarakteri yurakka fizik va ruhiy yuklamalarga yumshoq javob berish va dinamik mustahkamlik zaxirasini ta'minlash imkonini beradi) hisoblanishiga sabab bo'ladi.

Xaos qanchalik qiziqarli bo'lmasin, u nochiziqli tizimlarning murakkab xulqining bir qismi xolos. Shuningdek intuitiv anglashga mos kelmaydigan va *antixaos* deb atash mumkin bo'lgan hodisa ham mavjud. U ba'zi juda tartibsiz tizimlarning yuqori darajadagi tartibni o'zlashtirgan holda o'z-o'zidan "kristallanishi" bilan ifodalanadi. Antixaos biologik va tadrijiy rivojlanishda muhim rol o'ynaydi.

Dinamik tizimlarning yaxshi o'rganilgan uch turdagi xulqi – statsionar holat, davriy va kvazidavriy tebranishlar bilan bir qatorda foydalanish uchun qator argumentlar, shuningdek muntazam harakat va xaos o'rtasidagi chegaraga mos keluvchi maxsus to'rtinchi xulq ham mavjud. "Xaosning cheti" deb ataladigan bunday chegaralarga tadrijiy rivojlanish va axborotlarga ishlov berishga o'xshash jarayonlar ega bo'ladi [67].

Assotsiativ xotirani navigatsiyadagi mo'ljal olish maqsadlari uchun xaotik dinamikaning asosi sifatida qo'llash misolini ko'rib chiqamiz. Umumiy yuzasi 576 km^2 bo'lgan mo'ljalga olish sohasi masshtabi M1:20000 bo'lgan xaritada beriladi. Ushbu soha har biri o'zda 256-rangli alifbodagi o'lchami 200×200 piksellli rangli grafik timsolni namoyon qiluvchi 16 ta fragmentlarga bo'lingan. Timsollarning har biri bir xil ikki o'lchamli bo'lakli-chiziqli tasvirdagi chegaraviy davr kabi keltiriladi. Joyni aniqlash uchun foydalanuvchiga xaritaning ixtiyoriy bo'lagni berish yetarlidir. Agar bo'lakcha bo'yicha qidiruv muvaffaqiyatli bo'lsa (dasturda 1 km^2 gacha bo'lgan bo'lak, ya'ni boshlang'ich yuzaning 0,2 foizi qayd etilganda), xaritaning mos fragmenti ekranda paydo bo'ladi. Dastur, shuningdek buzilgan bo'lakcha bo'yicha identifikatsiyalash imkonini

ham namoyish etadi. Bizning misolimizda identifikatsiya uchun berilgan bo'lakchanning buzilish darajasi 70-80 foizni tashkil etadi.

Dinamik xaosga teskari bo'lgan, ba'zida *komplekslik* (*complexity*) deb ataladigan holat ko'pgina o'zaro ta'sirlashuvchi elementlardan tuzilgan tizimlarda yuzaga keladi. Bunday tizimlar ko'pincha nafaqat to'rtinchi xulqni namoyon etadi, balki adaptiv xossalarga ham ega. Bunda adaptatsiya (moslashuvchanlik) deganda tizimning ajratilgan elementlari to'plamini ko'p o'lchamli xaotik dinamikasi bilan solishtirganda tizimning dinamikasi keskin soddalashishi tushuniladi.

Quyida keltirilgan misollar xaos chetidagi tizimlarning qator umumiy xossalarini aks ettiradi.

Qafasli avtomatlardagi "Hayot" o'yiniga e'tibor qaratamiz. Bu qafasli avtomatda qoidalar to'plami (ya'ni tizimning parametrlari) quyidagicha, tizimning xulqi turg'unlik va xaos o'rtasidagi tor sohada turadi. Tizimda "haqiqiy" hayotiy jarayonlarga o'xshash xulqlar kuzatiladi. Bundan tashqari, "gleyderlar" va "katpultalar" kabi bunday obyektlarni tahlil qilishda Tyuring mashinasida "Hayot" o'yinining ekvivalentligi matematik jihatdan isbotlangan va shu bilan birgalikda unda universal hisoblashlarga ekvivalent bo'lgan jarayonlar mavjudligi ham isbotlangan.

Biologik evolyutsiya (tadrijiy rivojlanish). Darwin vaqtidan beri tadrijiy rivojlanishga tabiiy tanlanish jarayoni sifatida qarab kelishgan. Biroq, biologik tartib ko'pincha fonida tabiiy tanlanish mexanizmi ishlaydigan o'z-o'zidan tartiblanganlikni aks ettiradi. Boshqacha so'z bilan aytganda, tadrijiy rivojlanish jarayonida morfologik belgilar fazosida barcha kombinatsiyalar emas, faqatgina "attraktor" larning tanlangan to'plami amalga oshishi mumkin.

Bundan tashqari, bunday mexanizm tadrijiy rivojlanish jarayonini tezlashtiradi. U harakatlanishning mumkin bo'lgan trayektoriyalari to'plamini va shu bilan birgalikda u yoki bu biologik turning paydo bo'lishi uchun zarur bo'lgan "iteratsiyalar" sonini kamaytiradi. Bu yerda ekstremumni qidirishning tasodifiy va gradiyentli usullari muvofiqligi tezliklari o'rtasidagi o'xshashlik o'rinli bo'lib, birinchi holda qidiruv o'zgaruvchilarning butun o'zgarish sohasida, ikkinchisida esa faqatgina ma'lum trayektoriya bo'ylab amalga oshiriladi.

Biologiya nuqtai-nazaridan, morfologik imkoniyatlar fazosida attraktorlarning qaysi turi amalga oshirilishi muhim emas. Trayektoriyalar oqimlari, morfologik belgilar fazosida strukturali turg'un ko'rinishlar orollarini qoldirgan holda cheklangan sohada "yo'q bo'lib ketadi". Attraktorlarning o'zi esa oqimlar, davrlar, g'ayrioddiy attraktorlar bo'lishi mumkin.

O'z-o'zini tashkil etuvchi kritiklik. Ko'p sondagi o'zaro ta'sirlashuvchi elementlarga ega tizimlar, tabiiy ravishda, kam hollarda halokatga olib kelishi mumkin bo'lgan kritik holatlarga qarab rivojlanadi. Tarkibiy tizimlarda halokatga qaraganda ko'proq ahamiyatsiz hodisalar yuz berishiga qaramasdan, barcha masshtablardagi zanjir reaksiyalari dinamikaning ajralmas qismi hisoblanadi. Kritiklik nazariyasidan kichik hodisalar kichik mexanizmlarni, kattalari esa katta mexanizmlarni yuzaga keltirishi kelib chiqadi. Tizimning tarkibiy qismi hech qachon muvozanat holatiga erishmaydi, buning o'rniga bir metabarqaror holatdan boshqasiga tadrijiy rivojlanadi.

O'z-o'zini tashkil etuvchi kritiklik konsepsiyasidan, global tavsiflar (nisbatan ko'p va kam sondagi hodisalar) mikroskopik mexanizmlarga bog'liq emas degan fikr kelib chiqadi. Shuning uchun ham tizimlarning global tavsiflarini, ularning qismlarini alohidaligi bo'yicha tahlil qilgan holda tushunib bo'lmaydi.

Bog'langan dinamik tizimlarda moslashuvchanlik mexanizmlarini qanday aks ettirish mumkin? Tadrijiy muvozanat (xaos cheti) ning modeli xaotik sinxronlashning boshqa turlari kabi qiziq ko'rinadi. Haqiqatan, sinxronlash jarayoni attraktor o'lchamini pasaytirgan holda tizim dinamikasini keskin soddalashtiradi. U to'g'ridan-to'g'ri tizimning bog'langanlik darajasi bilan aniqlanadi – xaos chetiga harakatning "moslashuvchanlik mexanizmi" faqatgina kuchli aloqalar mavjud bo'lgandagina qo'shiladi.

Kichik o'lchamli tizimlardagi xaosning xossalriga e'tibor qaratamiz. Xaotik trayektoriyalarning xulqi katta vaqt intervalida bashorat qilinishi mumkin emas. Trayektoriya bo'ylab harakatlanishni bashoratlash, boshlang'ich shartdan uzoqlashishga ko'ra yanada noaniqroq bo'lib qoladi. Axborotlar nazariyasi nuqtai-nazaridan qaralganda, bu tizimning o'zi axborotlarni yuza keltirishini bildiradi, axborot yaratish tezligi qanchalik yuqori bo'lsa, tizimning xaotikligi

shunchalik katta bo'ladi. Tizim axborotni hosil qiladi va u tizim trayektoriyasini o'z ichiga oladi.

Xaos yordamida axborotlarni yozish, saqlash va qidirish. Tizimlarning trayektoriyalarini bizni belgilar ketma-ketligi ko'rinishida qiziqtiruvchi axborotlar bilan solishtirish mumkin emasmi? Agar bunga erishi mumkin bo'lsa, trayektoriyaaning ma'lum qismi axborotli ketma-ketlikka mos kelgan va ularni, tizimlarning dinamikasini aniqlovchi tenglamalarni yechib, olish mumkin bo'lar edi. Agar axborotli ketma-ketlikning ixtiyoriy (juda ham kichik bo'lmagan) fragmenti olinsa, uning yordamida berilgan trayektoriyaga mos keluvchi butun axborotli ketma-ketlikni tiklash mumkin.

Turli trayektoriyalarga turli axborotli ketma-ketlik to'g'ri keladi va ulardan ixtiyoriy birini ularning katta bo'lmagan ixtiyoriy fragmenti bo'yicha tiklash imkoniyati yuzaga keladi. Shu bilan birgalikda tizimda yozilgan barcha axborotlarga assotsiativ ruxsat (tarkib bo'yicha ruxsat) amalga oshiriladi.

Shunday qilib, axborot dinamik tizimning trayektoriyasi ko'rinishida eslab qolinadi va saqlanadi hamda assotsiativ xossalarga ega bo'ladi. Bu g'oya tirik tizimlar bilan axborotlarga ishlov berishda xaosning foydali bo'lishi mumkinligini tushunishga bo'lgan urinishlarda yuzaga kelgan va rivojlangan. Xaosli dinamik tizimlarning trayektoriyalari yordamida axborotlarni yozish, saqlash va chiqarishning prinsipial imkoniyatlarini namoyish etuvchi modellar qurilgan edi.

Elektron sxemalar elementlarining parametrlarini katta bo'lmagan o'zgarishlari ham xaotik tebranishlar xarakterini ko'p o'zgarishga olib kelishi aniqlangan. Bunday texnologiya ixtiyoriy turdagi ma'lumotlar: tasvirlar, matnlar, raqamli musiqa va nutq, signallar va shu kabilarni yozish, saqlash va ulardan foydalanish imkonini beradi. Texnologiyadan foydalanishga misol, assotsiativ ruxsatli faksimil hujjatlarni boshqarishning shaxsiy tizimi *Facs Data Wizard* hisoblanib, u saqlanayotgan barcha axborotlarni to'la avtomatik indeksatsiyalash bilan nostrukturallangan axborotlar arxivini yaratish imkonini ta'minlaydi.

Zaruriy hujjatlarni qidirish uchun foydalanuvchi, talab etilayotgan hujjat mazmuniga oid matnning bir nechta qatorining ixtiyoriy shaklini terish yo'li bilan so'rovni shakllantiradi. Agar boshlang'ich axborot tizimning bir qiymatli qidiruvi uchun yetarli

bo'lsa, u talab etilgan hujjatni beradi yoki variantlar to'plamini taklif etadi. Zarur bo'lsa, topilgan hujjatning maksimal nusxasini ham olish mumkin. so'rovda xatolarning mavjudligi va boshlang'ich axborotni matnli ko'rinishga o'tkazishda qidiruvning sifatiga ta'sir ko'rsatilmaydi. Elektron arxivni yaratish qo'shimcha diskli fazoni talab etmaydi. Yozilgan hujjatlarni saqlash uchun zarur bo'ladigan hajm hatto qisqarishi ham mumkin.

Ko'pgina zamonaviy aloqa tizimlarida axborot tashuvchi sifatida garmonik tebranishlardan foydalaniladi. Uzatkichlarda axborot signallari ushbu tebranishlarni amplituda, faza yoki chastota bo'yicha modullaydi, qabul qilgichda esa ular teskari amallar – demodulyatsiya orqali tiklanadi. Tashuvchilarning modulyatsiyasi yo tayyor garmonik tebranishlar hisobiga yo tebranishlarni shakllantirish jarayonida generator parametrlarini boshqarish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Shunga o'xshash tarzda axborot signallari bilan xaotik signallarni modulyatsiyalashni amalga oshirish mumkin. Biroq, bundagi imkoniyatlar kengroq hisoblanadi. Chunki, garmonik signallar holatida boshqariluvchi tavsiflar – bor-yo'g'i uchta (amplituda, faza va chastota), xaotik tebranishlar holatida esa hatto kichik bir o'zgarishlar ham tebranish xarakteriga ishonchli o'zgarishlar berishi mumkin. Bu holat, o'zgaruvchan parametrlı xaos manbalarida axborot signallarini xaotik signalga kiritish (ya'ni xaotik signallarni axborot signallari bilan modulyatsiyalash) sxemalarining keng to'plami mavjudligini bildiradi.

Bundan tashqari, xaotik signallar keng yo'llı bo'lib, bu imkoniyat radiotexnikada oldindan qiziqish uyg'otib kelgan va bu katta hajmli axborotlarni uzatishda qulay hisoblanadi. Aloqa tizimlarida chastotalarning keng yo'llaridan axborot uzatish tezligini oshirish va g'alayonlar sharoitida tizim ishining turg'unligini oshirish uchun foydalaniladi.

So'nggi paytlarda yo'ldoshli, mobil, uyali va optik-tolali ko'p foydalanuvchili kommunikatsiya tizimlarining rivojlanish bilan keng spektrli signallarga katta e'tibor qaratilmoqda. Bunda uzatilayotgan signal chastotalari yo'li axborot signali chastotasi yo'lidan ancha keng bo'lishi mumkin.

Xaosga asoslangan tizimlarning shovqinga bardoshlıligi va o'zini-o'zi sinxronlay olish qobiliyatlari ularga tasodifiy ketma-ketliklarga asoslanuvchi keng spektrli an'anaviy tizimlarga nisbatan

ustun bo'lish imkoniyalarini bermoqda. Bundan tashqari, ular katta energetik samaradorlik va amallarni yanada yuqori tezligi bilan sodda apparatli amalga oshirish imkonini bermoqda.

Xaosdan foydalanuvchi aloqa sxemalarida ham uzatkich va qabul qilgichlar manba sifatida nochiziqli va chiziqli tizimlardan foydalanadi. Qo'shimcha ravishda uzatkichga summator (jamlagich) va qabul qilgichga o'qiydigan moslamalar o'rnatilgan. Summatorda manbaning xaotik signaliga axborot signalini qo'shish amalga oshiriladi, qabul qilgichning o'qiydigan moslamasi esa axborot signallarini ajratish uchun xizmat qiladi. Xaosga o'xshash kanallardagi signal uzatilayotgan axborot belgilarini ko'rinarli qilib ko'rsatmaydi, ya'ni axborotlarning konfidensialligi ta'minlanadi. Nuqtalardagi signallar juftlari bo'yicha teng. Shuning uchun uzatkich summatori kirishiga axborot signali kelganda qabul qilgichning o'qish moslamasidan xuddi shunday signal chiqadi.

Xaotik signallarni qo'llash sferasi keng spektrli signallar tizimi bilan cheklanib qolmaydi. Ular shuningdek, spektrlarni kengaytirmasdan turib, axborot va uzatilayotgan signallar yo'llari mos tushganda uzatilayotgan axborotlarni yashirish uchun ham qo'llanilishi mumkin.

Bularning barchasi xaotik kommunikatsion tizimlarni faol tadqiq etishni rag'batlantirdi. Bugungi kunda kaos asosida axborot signallari spektrini kengaytirish, o'z-o'zidan sinxronlanuvchi qabul qilgichlar yaratish hamda uzatkich va qabul qilgichlarning sodda arxitekturalarini rivojlantirish uchun bir nechta yondashuvlar taklif etilgan. Taklif etilgan ko'pgina yechimlarning g'oyalari "yetakchi tizim" (uzatkich) tomonidan ishlab chiqiladigan boshlang'ich g'alayonsiz xaotik signallarni "yetaklanuvchi tizim" (qabul qilgich) orqali sinxronlashtirishga asoslangan. Bunday aloqa sxemalari yordamida ham analogli ham raqamli axborotlar turli tezlikdagi oqimlar va turli darajadagi konfidensiallik bilan uzatilishi mumkin. kaosdan foydalanuvchi aloqa sxemalarining yana bir afzalligi, ko'p foydalanuvchili kommunikatsiya tizimlarida muhim ahamiyatga ega bo'lgan, kanallarni ajratishning yangi usullarini amalga oshirish hisoblanadi.

Yaqin vaqtlargacha axborotlarni uzatishning konfidensialligi va ularni himoya qilishning yanada muhim muammosi, asosan, harbiy va maxsus qo'llanishlarga tegishli edi. Endi fuqarolarning ilovalariga

taalluqli soha yanada muhimroq bo'lib qolmoqda. Bunga kompyuter va kompyuter tarmoqlaridagi tijorat axborotlarini himoyalash, elektron to'lovlarning xavfsizligi, kompyuter tarmoqlari, Internet-telefonlar bo'ylab tarqaluvchi musiqiy, video va boshqa axborotlarni *CD-ROM* dan o'g'rincha nusxalashlaridan himoyalalanishlarni misol qilib keltirish mumkin.

Tijorat axborotlarini himoyalashda "klassik" usuldan tubdan farq qiluvchi talablar qo'yiladi. Xususan, ommaviy foydalanish imkoniyati va "axborot" mahsuloti birligi tannarxining past bo'lishi tipik talablardan biridir. Bundan tashqari, axborotlarni himoyalashga bo'lgan yondashuvlar ham o'zgarishi mumkin. Shuningdek, kompakt-disklardagi musiqiy va video axborotlarni o'g'rincha nusxalashdan himoyalash uchun yozilgan axborotlar "yovuz niyatli odamlar" uchun to'la erishib bo'lmaydigan bo'lishi: eshittirish sifatini iste'molchi uchun nomaqbul darajagacha pasaytirish talab etiladi.

Xulosa o'rinda shuni aytib o'tish mumkin-ki, axborotlarni himoyalashning bunday "maishiy" muammolarini yechish uchun istiqbolda determinantlangan xaosga asoslanuvchi vositalar muvaffaqiyatli qo'llanishi mumkin.

1.6. Hisoblash intellekti asosidagi gibrid tizimlar

Gibrid intellektual tizimlar (GIT) deganda, masalalarni yechishda insonning intellektual faoliyatini aks ettiruvchi birdan ortiq usullardan foydalanuvchi tizimlarni tushunish qabul qilingan. Shunday qilib, GIT – bu analitik modellar, ekspert tizimlari, sun'iy neyron tarmoqlari, noaniq tizimlar, genetik algoritmlar, imitatsion va statistik modellar to'plamidir.

Gibrid intellekt atamasi birinchi 1975-yilda F.F.Vend tomonidan kiritilgan va 1977-yilda esa gibrid intellekt tizimlar nazariyasi asoslari bayon etilgan. Gibrid intellektual tizimlar nazariyasi o'zida tabiiy, sun'iy va aralash tizimlarni birliktirgan holda boshqa turdagi barcha tizimlar uchun umumiy bo'lgan qonunlar asosida qurilishi mumkin [68,69]. Bunday qonunlar sifatida V.F.Vend tomonidan tizimlarning o'zaro moslashishi va transformatsiyalanishi kabi qator qonunlar taklif etilgan.

"Intellektual gibrid tizimlar" atamasida ekspert tizimlar, neyrotarmoqlar va genetik algoritmlar kabi intellektual usullarning

gibridlari birlashadi. Ekspert tizimlar belgilarni, neyro tarmoqlar va genetik algoritmlar esa sun'iy intellektning adaptiv usullarini namoyon etadi.

“Gibridli yondashuv” faqatgina neyronli va belgili modellarning sinergetik kombinatsiyasi kognitiv va hisoblash imkoniyatlarining to'la spektriga erishadi deb hisoblaydi. Bunda, “gibrid” atamasi ikki yoki undan ortiq integrallangan osttizimlardan tuzilgan tizim sifatida tushuniladi. Bunda har bir osttizim turli aks ettirish tillari va chiqarish (xulosalar) usullariga ega bo'lishi mumkin. Osttizimlar o'zaro semantik bog'lanadi va har biri o'zicha harakatlanadi.

«Gibrid integrallangan tizimlar» bittadan ortiq kompyuterli texnologiyadan foydalanuvchi tizim sifatida ilgari suriladi (chunki, texnologiya bilimlar, konneksionistik modellar va ma'lumotlar bazasiga asoslanuvchi tizimlar kabi sohalarga tarqaladi). Texnologiyalarning integratsiyasi ularning potensialidan masalalarning maxsus xususiyatlarini yechishda to'la foydalanish imkonini beradi. Gibrid tizimlarga joriy etiladigan texnologiyani tanlash yechilayotgan masalaning xususiyatlariga bog'liq.

“Gibrid axborot tizimlari”ni axborotlarga an'anaviy ishlov beradigan va bilimlarni samarali integratsiyalovchi katta, murakkab tizimlar sifatidagi ta'riflari ma'lum. Ular ma'lumotlar, bilimlar va an'anaviy texnologiya predmetlarini saqlash, qidirish va ularga ishlov berish imkoniyatlarini beradi.

So'nggi yillarda sun'iy intellektning an'anaviy vositalari va usullaridan ratsional foydalanish imkonini beradigan gibrid intellektual tizimlar jadal rivojlanmoqda va ular sun'iy intellektning an'anaviy vositalari hisobiga ifodalangan va ifodalanmagan bilimlarni yanada samaraliroq bog'laydi.

So'nggi yillarda yaratilgan intellektual tizimlar (IT) ni arxitekturasidan kelib chiqqan holda, quyidagicha tasniflash mumkin: bir komponentli (*single component*) va ko'p komponentli (*multi component*) IT lar.

Bir komponentli IT lar sun'iy intellektning yagona vositasidan foydalanishga asoslanadi (bu xuddi noaniq mantiq yoki sun'iy neyron tarmog'i kabi).

Ko'p komponentli IT lar o'zida yagona hisoblash modelidagi turli sun'iy intellekt vositalarini birlashtiradi. Ular komponentlari xususiy funktsionallikka ega va iyerarxik ko'p qatlamli modelga

birlashuvchi murakkab tizimlarni aks ettiradi. Bunday tizimlarning ishi barcha qatlamlar ishining to'g'riligiga bog'liq. Bir qatlamdagi xatolik boshqa qatlamlarga tarqalishi va butun tizimning ishida aks etishi mumkin. Ko'p komponentli IT lar qo'yilgan masalaning yechimini olish uchun o'zaro ta'sirlashuvchi sun'iy intellektning turli vositalarini birlashtiradi.

Intellectual tizimlarning bunday xilma-xilligi turli xil ma'lumotlar va bilimlarni ifodalash zarurati bilan belgilanadi, chunki har doim ham ixtiyoriy turdagi ma'lumot va bilimlar uchun ifodalash jarayoni muvaffaqiyatli amalga oshirilmaydi. Shuning uchun so'nggi yillarda sun'iy intellektning an'anaviy vositalari afzalliklaridan foydalanuvchi va sun'iy intellektning alohida usullari orqali yechilmaydigan masalalarni yecha oladigan gibrid intellektual tizimlar (ko'p komponentli intellektual tizimlarning turlaridan biri) jadal rivojlanmoqda. Gibrid IT lar sun'iy intellektning an'anaviy vositalari integratsiyasi hisobiga ifodalanmagan va ifodalanmagan bilimlarni samarali birlashtirish imkonini berdi [70,71].

Gibrid IT lardan tibbiyot, bank ishi, texnik tizimlarda timsollarni tanish va shu kabi aniq va noaniq bilimlar bilan ish ko'riladigan sohalarida foydalanish samaralidir.

Gibrid IT larni arxitekturasidan kelib chiqqan holda quyidagicha tasniflash mumkin: kombinatsiyalashgan (aralash) (*combination*), integrallangan (*integration*), birlashgan (*fusion*) va assotsiativ (*association*) gibrid intellektual tizimlar [72]. Bundan tashqari, yana bitta gibrid tizimlar turini ko'rib chiqish mumkin bo'lib, uning paydo bo'lishini Internet global tarmog'i orqali olinadigan taqsimlangan ma'lumotlar bazalarida saqlanadigan bilimlar va ma'lumotlar hajmining keskin oshib ketishi bilan belgilanadi. Bunday turdagi gibrid IT ning arxitekturasini *taqsimlangan (distributed)* deb atash mumkin.

Kombinatsiyalangan (combination) gibrid intellektual tizimlar. Kombinatsiyalangan gibrid IT larga misol sifatida, o'zida ekspert tizimlar va neyron tarmoqlarni birlashtiruvchi va ifodalanmagan (ekspert tizimlarda) va ifodalanmagan (neyron tarmoqlarda) bilimlarni bog'lovchi tizimlar integratsiyasini namoyon etuvchi gibrid ekspert tizimlarni ko'rsatish mumkin.

Kombinatsiyalangan tizimlarga boshqa misollar qilib, og'ir bemorlarni og'riqsizlantirish uchun ishlatiladigan gibrid ekspert

tizimni [73]; adaptiv o'rganishning ekspertli tizimini [74]; tibbiy diagnostikaning gibrid ekspertli tizimini [68] keltirish mumkin. So'nggi tizimning tarkibiga uchta asosiy tashkil etuchi: noaniq neyron tarmoq, noaniq ekspert tizim va qaror (yechim) qabul qilish moduli kiradi. Bundan tashqari, gibrid ekspertli tizimlar tarkibiga neyron tarmoq va ekspertli tizimni o'zaro bog'lovchi qo'shimcha interfeysli modul ham kiradi va u noaniq neyron tarmoq va noaniq ekspertli tizimlarning ma'lumotlarini birgalikda o'zgartirish imkonini beradi. Tibbiy diagnostikaning gibrid ekspertli tizimi o'zida bilimlarni sonli va lingvistik aks ettirishni uyg'unlashtiradi. Tizimda o'z-o'zidan tashkil bo'ladigan noaniq neyron tarmoq (*online*-o'qitish imkoniyati bilan) va genetik algoritim orqali optimallashtirilgan noaniq ekspertli tizimning iyerarxik integratsiyasidan foydalaniladi.

Neyron tarmog'i tez o'rganishga imkon beradi, bu vaqtda ekspertli tizim noaniq ma'lumotlarni aks ettirish va olingan yechimni tushuntirishni amalga oshirishga imkon beradi. Neyron tarmog'i o'qituvchi bilan va o'qituvchisiz o'rganishi mumkin.

Noaniq ekspertli tizim – bu noaniq to'plamlar bilan birlashgan va o'qitilgan neyron tarmog'iga joriy etilgan bilimlar asosida qurilgan tizimdir. Ekspertli tizim foydalanuvchi uchun shaffofdir. Ekspertli tizim tomonidan olingan yechimlarni eslab qolish oson, chunki bilimlar bazasidagi qoidalar “agar unda” (*if then*) formatida bo'lib, tabiiy tildan foydalanadi. Gibrid tizimlarga tashqi kirish ma'lumotlari ekspert tizimlarda qanday bo'lsa neyron tarmoqlarida ham shunday kelib tushadi. Ekspertli tizim va neyron tarmog'ining chiqish ma'lumotlari yechimni topuvchi va tushuntiruvchi modulning kirishiga kelib tushadi.

Integrallangan (integration) gibrid intellektual tizimlar. Integrallangan IT lar strukturasi asosiy modul – integrator ustuvor bo'lib, u qo'yilgan maqsad va yechimni topishning joriy shartidan kelib chiqqan holda ishlashi uchun tizimga kiruvchi u yoki bu intellektual modulni tanlaydi va ishlab turgan modullarning javoblarini birlashtiradi.

Integrallangan gibrid IT larga misol bo'lib, gibrid ekspertli tizim RAISON [69], robotlarning harakatlanish rejimlarini yaratuvchi gibrid intellektual tizimlar [75] xizmat qilishi mumkin.

Gibrid ekspertli tizim RAISON – bu bilimlarga asoslanuvchi, integrallangan ekspertli tizim bo'lib, tarmoq, ma'lumotlar bazasi,

geoinformatsion analizator, grafik va dasturiy-tilli komponentlarni o'z ichiga oladi.

Ekspertli tizim integrallovchi modul hisoblanib, gibrid tizimning boshqa komponentlari bilan bog'langan. Yordamchi osttizimlar (ma'lumotlar bazasi va geoinformatsion tizimlar kabi) ekspertli tizimlarni to'la funktsionalli tashqi ma'lumotlar bazasi va geoinformatsion tizimlar bilan bog'lovchi bo'g'in bo'lib xizmat qiladi.

Ekspertli tizimlarning ishlashi induksion daraxtni qo'llovchi algoritmdan foydalanishga asoslanadi (algoritm ma'lumotlar to'plamining namunalari asosida qoidalarini ishlab chiqishga imkon beradi). Ma'lum va mavjud qoidalar ekspert tomonidan taklif etiladi. Qoidalar so'rovlarning to'g'ri va teskari ketma-ketliklari uchun ishlatilishi mumkin. Chunki daraxtning strukturasi deyarli optimal hisoblanib, xulosa olish uchun talab etiladigan so'rovlar soni esa minimaldir.

Geoinformatsion tizimlarning ma'lumotlar bazasi va xaritasi, shuningdek RAISON tizimida ishlatiladigan neyron tarmoqlar ham o'rganish vositasi sifatida foydalanishga beriladi. Neyron tarmoqlari kirish ma'lumotlarini qabul qilishi va o'qituvchi bilan o'rganish uchun ulardan timsollar sifatida foydalaniladi. Tizimning chiqish ma'lumotlari ma'lumotlar bazasida, masalan, geoinformatsion xaritalar ko'rinishidagi ma'lumotlar bazasida saqlanishi mumkin.

Robotlarning harakatlanish rejalarini yaratuvchi gibrid intellektual tizim harakatlanishni rejalashtirishning adaptiv algoritmi (HRAA) va atrof-muhitni modellashtirish uchun obyektli-mo'ljallangan bilimlar bazasini o'z ichiga oladi. Olingan ma'lumotlar (atrofdagi holatning taxminiy shakllantirilgan xaritasi va robot atrofidagilar haqidagi dinamik axborotlar) asosida HRAA yo'lni aniqlaydi va robotning navigatsiyasi uchun buyruqlar ketma-ketligini ishlab chiqadi.

Gibrid tizim to'rt modul: rejalashtiruvchi, yordamchi, harakat ijrochilari va boshqaruvchi markazdan tashkil topadi. Tizimda boshqaruvchi markazdan foydalanuvchi arxitektura amalga oshirilgan bo'lib, markaz sanab o'tilgan modullar bilan bog'langan va ularning faoliyatini boshqaradi (koordinatalar orqali). Tizimda shuningdek, bilimlarning iyerarxik bazasidan foydalanilgan bo'lib, baza uchta axborot sohasi: atrof-muhit modeli, perseptron va boshqaruv rejimini sozlovchi supervizorni o'z ichiga oladi. Bu yerda obyektgacha bo'lgan

masofa va yo'l kengligini aniqlovchi noaniq xulosaning soddalashtirilgan sxemasi ishlatilgan. Hisoblash hajmini qisqartirish uchun noaniq uchburchakli tegishlilik funksiyasi qo'llaniladi. Noaniq xulosalash mashinasi noaniq qoidalar va noaniq uchburchakli tegishlilik funksiyalari bilan ishlaydi. Mos yo'lni qidirish uchun tizimda Xopfild tarmog'i ishlatilgan. Xulq buyruqlarini ishlab chiqish uchun noaniq xulosalash qoidalari ishlatilgan.

Birlashgan (fusion) gibrid intellektual tizimlar. Neyron tarmoqlari va genetik algoritmlarning xarakterli xususiyati – ularning o'rganish va optimallashtirish vositasida moslashish qobiliyatlari hisoblanadi. Bu usullarni boshqalari bilan birlashtirish o'rganish samaradorligini oshiradi. Gibrid IT larning bunday arxitekturasini birlashgan turga kiritish mumkin. Bunga investitsion loyihalarning gibrid ekspertli tizimlari [76] va energetik tizimlardagi nosozliklarni aniqlashning gibrid ekspertli tizimlari [77] misol bo'ladi.

So'nggisi kirish sharti moduli va chiqarish modulidan tashkil topadi. Chiqarish moduli sun'iy neyron tarmog'i (ko'p qatlamli perseptron) yordamida nosozlik turi va joyni topishni baholashga mo'ljallangan. Bu tizimda sun'iy neyron tarmoqlariga asoslangan va kirish vektori bevosita neyron tarmog'ining kirishiga emas, shartli modul kirishiga beriladigan kirish shartidan foydalanuvchi an'anaviy usuldan farq qiluvchi usullar qo'llanilgan. O'z navbatida, shartli modulning chiqish signali neyron tarmog'ining kirishiga beriladi va bu tarmoq ishini yanada samarali bo'lishini ta'minlaydi. Tizimda ikkita shartli usul ishlatilgan bo'lib, ulardan biri tokning og'ishlarini o'lchash uchun Furening tezkor almashtirishidan, ikkinchisi esa Fure almashtirishi yordanida olingan natijalarni determinantlangan nochiziqli klasterlashdan foydalanadi.

Assotsiativ (association) gibrid intellektual tizimlar. Assotsiativ gibrid tizimlar arxitekturasini, bunday tizimlar tarkibiga kiruvchi intellektual modullar avtonom hamda boshqa modullar bilan integratsiyada ham ishlashi mumkinligini nazarda tutadi. Bugungi kunda assotsiativ arxitekturali bunday turdagi tizimlar yetarlicha rivojlanmaganligi uchun yetarli darajada ishonchli emas va keng tarqalmasdan qoldi.

Taqsimlangan (distributed) gibrid intellektual tizimlar. Gibrid tizimlar rivojlanishining keyingi bosqichi, taqsimlangan sun'iy intellekt sohasidagi multiagentli yondashuvni amalga oshirishga

mo'ljallangan taqsimlangan intellektual tizimlar bo'lishi mumkin [78]. Bunday yondashuvda har bir funksional intellektual modulning avtonom ishlashi hamda ularning boshqa modullar (agentlar) bilan o'zaro ishlashini tarmoq orqali xabarlar jo'natish yo'li bilan ta'minlanadi. Bugungi kunda mavjud bo'lgan intellektual tizimlar (ekspertli tizimlar, neyron tarmoqlar va shu kabilar) agentlarga o'zgartirilishi mumkin. Bunday o'zgartirish jarayonlarida intellektual modullar, ularni multiagentli intellektual taqsimlangan tizimga birlashtirish uchun boshqaruvchi va kommunikativ bilimlar bilan to'ldirilishi mumkin.

Taqsimlangan intellektual tizimlarga oliy maktab o'qituvchilarini qo'llab-quvvatlovchi intellektual tizim misol bo'lishi mumkin [79]. Bu tizim o'rgatuvchi kursni shakllantiradi (har bir foydalanuvchi modelini aniq belgilash, shuningdek pedagogik yechimlar ishlab chiqish uchun sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanib, foydalanuvchilar talablariga moslashtirilgan ta'lim materiallarini taqdimotlari). Bu kurs yangi materialni o'zlashtirishda turli bilim darajasi va turli qobiliyatga ega bo'lgan foydalanuvchilarning ehtiyojlariga javob beradi.

Intellektual o'qitish tizimlari o'qitish jarayonini boshqarish jarayoniga yo'naltirilgan ekspertli tizimga asoslangan. Ekspert tizimlar bilimlarni, *neyroqoidalar* deb ataladigan gibridd aks ettirishdan foydalanadi.

Intellektual o'qitish tizimi quyidagi komponentlardan tashkil topadi: bilimlar domeni, foydalanuvchi modellari, pedagogik modellar, mantiqiy xulosa mashinalari va foydalanuvchi interfeysi. Bilimlar domeni o'rganilayotgan mavzuga tegishli va materialning dolzarbligini aks ettiruvchi bilimlardan tashkil topadi. Domen ikki qismdan iborat: bilimlar tushunchalari va kurs bloklari. Kurs bloklari foydalanuvchiga Web-sahifa ko'rinishida beriladigan materialdan iborat bo'ladi. Har bir kurs bloki ma'lum sondagi bilimlar tushunchalari bilan ifodalanadi. Tizim turli bilimlar aks ettirilgan bitta sahifaning variantlarini qo'llab-quvvatladi. Foydalanuvchi modellari foydalanuvchi bilan bog'liq bo'lgan axborotlarni yozish uchun qo'llaniladi. Pedagogik model o'qish jarayonini shakllantiradi. U foydalanuvchi modelidagi ma'lumotlarga ko'ra o'rganilayotgan materialni taqdimot qilishni moslashtirish uchun bilimlar infrastrukturasini taklif etadi. Ekspert tizimlarda bilimlarni aks ettirish rasmiyatchiligi neyroqoidalarga – gibridd qoidalarga asoslangan bo'lib, belgili qoidalarni

neyrohisoblashlar bilan integrallaydi. Neyroqoidalar yo empirik ma'lumotlar (o'rgatuvchi shablonlar) yo belgili qoidalar asosida hosil qilinadi. Har bir neyroqoida individual tarzda maxsus algoritmlar vositasida o'rgatiladi. Chiqarish mexanizmi teskari chiqarish strategiyasiga asoslangan.

Bugungi kunda inson faoliyatining turli sohalaridagi axborotlashtirish jarayoni axborot-qidiruvli, maslahat beruvchi, loyihalovchi va boshqa tizimlarning keng tarqalishi bilan kuzatilmoqda. Hajmi oshib borayotgan axborotlarga ishlov berishni avtomatlashtirishga bo'lgan doimiy o'sib boruvchi talablar, tizim elementi sifatidagi hisoblash texnikasi va inson rolining faollashuvi inson-mashina hisoblash tizimlari (IMHT) rivojlanishining zarurligini belgilab beradi. Rivojlanishning umumiy tendensiyasi tahlili, intellektual o'z-o'zidan tashkil bo'ladigan tizimlarni yaratish eng istiqbolli yo'nalish hisoblanishini ko'rsatmoqda. Biroq, IMHT loyihalash va ularni boshqarishning mavjud usullari va vositalari intellektual funksiyalarni yetarli o'lehamda integrallash imkonini bermaydi. Shuning uchun tabiiy va sun'iy tizimlarning rivojlanish qonunlarini qidirish ko'p narsadan darak beruvchi vosita hisoblanadi. Intellektuallashtirishning radikal yo'nalishi, imitatsion modellarni tadrijiy sintezlashning usul va vositalaridan kompleks foydalanish va ularning amaliy masalalarga moslashuviga tayanuvchi "tadrijiy intellektual texnologiya" paradigmasi asosidagi konsepsiya hisoblanadi.

Sun'iy tizimlarni rivojlantirish va takomillashtirish uslubiyati tabiiy obyektlar tadrijiy rivojlanishining "tajriba" va qonunlarini e'tiborga olishi kerak [54]. Biroq bu yerda o'zaro moslashuvchanlikdan ham qochib bo'lmaydi. O'zaro moslashish uslubiyati qaror qabul qilish jarayonlarining ko'p strukturaligini aniqlashga imkon beradi. U intellektual faoliyatning tashqi – texnik murakkabligidan, ichki – psixologik murakkablik omillariga o'tish, va tashqi va ichki mehnat sharoitlari ta'siri, shuningdek inson faoliyatini murakkablik, samaradorlik, ishonchlilik va kuchlanganlik mezonlari bilan nazorat qiluvchi faoliyatning psixologik strukturasi va strategiyasini aks ettiruvchi haqiqiy relevant omillarning cheklangan sonini tanlash imkonini beradi.

Shundan kelib chiqqan holda, insonning yangi texnik va mehnat sharoitiga o'zaro moslashuvining amaliy tamoyillarini ishlab chiqish,

odamlarning gibrid intellekt tamoyiliga ko'ra bir-biri bilan hamda EHM lar bilan moslashuvchan o'zaro harakatining samarali kompyuterlashtirilgan tizimlarini qo'llash. Ularni sintezlash usullari va nazariyasini yaratish nihoyatda muhim hisoblanadi.

Gibrid intellekt tizimlari uslubiya-tini muhandislik psixologiyasini an'anaviy uslubiya-tidan farqi, variantlar va urinishlarni tahlil qilish o'rniga ulardan optimalini tanlashdan iborat bo'lib, yechimlarning turli variantlarini sintezlash, yechimlarning yashirin va bevosita qatnashchilarini birlashtirish amalga oshiriladi [70]. Shuningdek bu yerda populyatsiyalar to'plami va ularga genetik algoritmlarni qo'llash haqida so'z yuritish mumkin.

Gibrid intellekt tizimini tashkillashtirish-tirilmagan tasodifiy ijod faoliya-tidan sun'iy intellekt tizimlarida shunga o'xshash masalalarni avtomatlashtirilgan yechishning yangi sinfiga o'tish bosqichi kabi qarash mumkin. Masalalarni yechish usullari va tizimining bunday tadrijiy rivojlanishi avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlari uchun A.A.Samarskiy tomonidan ko'rib chiqilgan [54].

Inson-mashina hisoblash tizimi (IMHT) ga qo'llaniladigan gibrid intellekt tizimlarini o'zida sun'iy va tabiiy intellektlarni integralli jamlagan aralash tizimlar sifatida qarash mumkin.

Sun'iy intellekt – bu aprior strategiya S_a ni amalga oshiruvchi intellektual tizim. Boshqacha so'z bilan aytganda, sun'iy intellekt –bu shunday tizim-ki, unda masalani yechishning aprior va real strategiya (S_p) larning korrelyatsiya koeffitsiyentining maksimal qiymati kuzatiladi: $r_{S_a S_p} = 1$. Tabiiy intellekt $-1 \leq r_{S_a S_p} \leq 1$ oraliqda ishlashi mumkin. $r_{S_a S_p} = 1$ bo'lganda tabiiy intellekt sun'iy intellektni modellashtiradi.

Gibrid intellekt tarkibida tabiiy va sun'iy intellektlarning kombinatsiyalashuvi quyidagicha amalga oshiriladi [38]. Q_{ru}^* , $F_{ru\min}$, (yoki bo'lakli oraliqlar) $\{F_{ru1\min} - F_{ru1\max}\}$, $\{F_{ru2\min} - F_{ru2\max}\}$ va shu kabilar aniqlanadi. Bu yerda Q_{ru}^* - tizimning minimal ruxsat etilgan samaradorligi; $\{F_{i\min} - F_{i\max}\}$ - tizim yechadigan masalalar intervali.

$Q_i \geq Q_{ru}^*$ shart bajariladigan ishonchli S_{a_i} va unga mos $\{F_{i\min} - F_{i\max}\}$ oraliqlar aniqlanadi.

Barcha S_{a_i} ning xarakteristik egri chiziqlari, masalaning murakkablik omili F dan kelib chiqib, xuddi samaradorlik funksiyasi

kabi quriladi. $Q_{a_i} \geq Q_{ru}$ bo'ladigan F ning barcha oraliqlari aniqlanadi. $Q_{a_i} < Q_{ru}$ bajariladigan boshqa qolgan oraliqlar ham aniqlanadi. Bu oraliqlar uchun qo'shimcha aprior strategiya – sun'iy intellekt turiga ko'ra avtomatik yechish dasturlari tanlanadi. Barcha aprior strategiyalar tanlab bo'lingach, bu oraliqlar uchun agentlar va ularga mos keluvchi real strategiyalar S_{p_i} tanlanadi va ular berilgan oraliqlarda samaradorlik $Q_{p_i} < Q_{ru}^*$ ni ta'minlashi mumkin.

Barcha aprior strategiyalar S_{a_i} va real strategiyalar S_{p_i} ular o'rtasida o'zaro o'tishlar bo'lishi uchun assotsiativlikka tekshiriladi, chunki javobgar o'tishlarning transformatsion nuqtalari yuqori samaradorlik $Q_{IP}^{OTB} \geq Q_{ru}^*$ ga mos kelishi zarur.

Strategiyalar o'rtasidagi o'tishlardan chiqish qiymatlariga ega bo'lganlari javobgar o'tish hisoblanadi. Masalan, agar tizimning ishlashi davomida F qiymat F_n dan F_{k+1} gacha uzluksiz o'zgarsa, shuningdek butun tizimning samaradorligini strategiya S_{k+1} belgilab bersa, unda S_k strategiyaning o'tish samaradorligi berilganidan kichik bo'lishi kerak emas: $Q_{k, k+1} \geq Q_{ru}^*$.

Bunday shartni *yuqori unumdorli transformatsiyalash sharti* deb atash mumkin.

Transformatsiyalash qonunining asosiy natijasi, ma'lum strukturali tizim samaradorligining barqaror maksimumiga erishganda uning samardorligini faqatgina strukturani o'zgartirib oshirish mumkinligidan iborat. Biroq, tizimning samaradorligi maksimumdan kam bo'lgan holda ham o'tish yuz berishi mumkin.

Ushbu qonunga asoslangan, tizimlarni o'rganish, rivojlanish va dinamikasini transformatsion nazariyasi individual va tizimli rivojlanishni bashoratlash va uning qonuniyatlarini tahlil qilish imkoniyatlarini kengaytiradi.

IMHT larini intellektuallashtirish masalalarini yechish inson faoliyatini tizimlar ishiga ta'sirini o'rganish bo'yicha o'tkaziladigan keng spektrdagi ilmiy-tadqiqot ishlari, shuningdek inson faoliyatini e'tiborga olgan holda tizimlar faoliyatini moslashtirish usullari va vositalarini ishlab chiqishga bog'liq.

Global axborot-hisoblash tizimlari (GAHT) konsepsiyasi quyidagilarni ta'minlaydi: insonni tizim tarkibiga faol intellektual element sifatida kiritish; inson va tizimning o'zaro intellektual

harakatlanish imkoniyatlari; makrotizimda yuz beruvchi dinamik jarayonlar va ularning elementlari holatlarini doimiy kuzatish sharoitlarida GAHT ning o'z-o'zini tashkil etish funksiyalarini amalga oshirish [79].

Bu g'oyalarning keyingi rivojlanishi [80] ishda keltirilgan bo'lib, unda jarayonni takomillashtirish asosida tizimning turg'un ishlashi va bilimlarni shakllantirish, olish, tanish, eslab qolish va ulardan foydalanishning texnologik vositalarini ta'minlash zaruriyati ko'rib chiqilgan.

Yondashuv asosida tadrijiy rivojlanishni makrotizim bilan birligini hisobga oluvchi texnologiyada bilimlarni to'plash jarayoni to'la aks ettirishi yotadi. Bu butun makrotizim komponentlarining qo'yilganlik konsepsiyasiga olib keladi, makrotizim komponentlariga bir tomondan turli sathli integrallangan bilimlar bazasi (BB) kabi osttizimlar, ikkinchi tomondan integratsiyani ta'minlovchi jarayonlar (bilimlarni o'zlashtirish jarayoni) kiradi. Bilimlarni o'zlashtirish tizimlari qo'yilganligining quyidagi sxemasidan foydalaniladi: anglash obyekti (makrotizim), anglash subyekti (tizim), subyektda obyektini aks ettirish vositasi va anglash natijasi.

1-bob bo'yicha nazorat savollari

1. Ma'lumotlar o'zida nimani aks ettiradi va ular qanday shakllarda keltirilishi mumkin?
2. Bilimlar qanday xossalarga ega?
3. Ekstensional bilimlar intensional bilimlardan nimasi bilan farqlanadi?
4. Deklarativ va protsedurali bilimlar o'rtasida qanday farq mavjud?
5. Ma'lumotlarni ifodalashga bo'lgan qanday yondashuvlar mavjud?
6. Strukturalanmagan ma'lumotlar qanday shakllantiriladi?
7. Deklarativ va protsedurali bilimlarni aks ettirishda qanday rasmiy modellashtirish ishlatiladi?
8. Neyron tarmoqlar va noaniq mantiq integratsiyasi nima maqsadda ishlatiladi?
9. Amaliy masalalarni yechishda noaniq mantiqni qo'llash nuqtai-nazaridan FAT-teoremlarining ahamiyatida nimadan iborat?
10. Noaniq mantiq qanday sohalarida qo'llaniladi?

11.Noaniq mantiqning matematik apparati nima maqsadda ishlab chiqilgan edi? Shu maqsadga erishishga xizmat qiluvchi boshqa nazariyalarni sanang.

12.Neyron tarmoqlari qo'llaniladigan sohalarni sanang.

13.Ergotik intellektual tizimlarning afzalliklarini ayting.

14.Ekspertli tizimlar sun'iy intellekt rivojida qanday rol o'ynadi?

15.Ommaviy qo'llaniladigan intellektual tizimlar avlodini ayting.

16.Sun'iy intellekt yaratishdagi tadrijiy yondashuv doirasida qanday yo'nalishlar mavjud?

17.Hisoblash intellekti va uning tashkil etuvchilari nima?

18.Neyrokompyuting tadrijiy rivojlanishini bayon qiling.

19.Xaos nazariyasining konseptual asoslari qanday?

20.Xaos nazariyasi usullari asosida axborotlarni yozish, saqlash va qidirish qanday amalga oshiriladi?

21.Hisoblash intellekti sun'iy intellektdan qanday farq qiladi?

22.Lingvistik o'zgaruvchi nima?

23.Noaniq to'plamning α -darajasi nima?

24.Noaniq to'plamga ta'rif bering.

25.Noaniq implikatsiyaning qanday turlarini bilasiz? Ularni solishtirma baholang.

26.Neyrotarmoqlarning arxitekturalarini solishtiring. Genetik algoritmninng alosiy operatorlarini tavsiflang.

27.Fraktal nima?

28.Xaos nazariyasiga ta'rif bering.

29.Attraktorlarning qanday turlari mavjud?

30.Gibrid intellektual tizimlarning qanday turlarini bilasiz?

1-bobga doir adabiyotlar

1. Yager R.R., Zadeh L.A. (Eds.), Fuzzy sets, neural networks and Soft Computing, VAN Nostrand Reinold. - New York, 1994. - 440 p.

2. Aliev R.A., Barak D., Chew G. et al., Soft Computing: Fuzzy Logic, Neural Network and Distributed Artificial Intelligent. F.Aminzadeh, Jamshidi M. (Eds.), PTR Prentice Hall Englewood Cliffs. - New Jersey, 1994. - 301 p.

3. Zurada Y.M., Marks R.J., Robinson C.Y. (Eds.). Computational Imitating Life, Piscataway. - NJ: IEEE Press, 1994. - 448 p.

4. Pearson D.W., Stele N.C., Albrecht R.F., (Eds.), Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms: Proceedings of the International. Conference In Ales. - France, 1995. -552 p.

5. Proceedings of the Second European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing. - Aachen, 1994. – 1750 p.
6. Алиев Р.Р. Soft Computing и повышение MIQ, Ученые записки Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии (АГНА). -№1. 1997.
7. Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Теория интеллектуальных систем и ее применение. –Баку: Чашыюглы, 2001 -720 с.
8. Юсупбеков Н.Р., Алиев Р.А., Адилев Ф.Т., Гулямов Ш.М. Аналитические информационные технологии автоматизации производственных процессов. –Ташкент: ТашГТУ, 2004. -159 с.
9. Aliyev R.A., Kanarangui R. (Eds.) Application of Fuzzy Systems. - Tabriz: University press of Tabriz, 1994. – 420p.
10. Welstead S.T., Neural Networks and Fuzzy Logic Applications in C/C++, John Willey Professional Computing. -New York, 1994. – 494 p.
11. Proceedings of the Third European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing. -Aachen, 1995. – 1916 p.
12. Mohamad H., Hassoun, Fundamentals of artificial neural networks, MIT press Cambridge, Massachusetts. -England (London), 1995. – 511 p.
13. Haykin S., Neural Networks: A. Comprehensive Foundation, Marmillau and IEEE Computer Society, 1994. – 696 p.
14. Goldberg D.E., Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning, Reading, MA: Addison – Wesley, 1989.
15. Юсупбеков Н.Р., Алиев Р.А., Юсупбеков А.Н., Алиев Р.Р. Вычислительный интеллект и его составляющие. Международный научно – технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». – Ташкент, 2013. -№ 3.
16. Алиев Р.Р. Интеллектуальные комбинации элементов Soft Computing. Ученые записки Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии (АГНА). - №2. 1997.
17. Aliev R.A., Fazlollahi B. and Aliev R.R. Soft Computing and its Application in Business and Economics. (Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg), 2004.
18. Aliev R.A. and Aliev R.R. Soft Computing and Its Application. (World Scientific, New Jersey, London, Singapore, Hong Kong), 2001
19. http://zadeh.narod.ru/ZADEH_Rol_mjajikh_vychisleniy.html
20. http://www.prj-exp.ru/dwh/dwh_fuzzi_scts.php
21. Aliev R.A., Mamedova G.A., Aliev R.R. Fuzzy Sets Theory and Its Application. –Tabriz: Tabriz University, 1993. -224p.
22. Hirota K. Concepts of Probabalistic Sets. FSS 5, 1981-p.p. 31-46
23. Norwich A.M., Turksen I.B., A model for the Measurement of Membership an consequences of the Empirical Implementation, FSS 12, 1984 – p.p. 1-25.

24. Bandemer H., Gottwald S. Fuzzy sets. Fuzzy Logic, Fuzzy method with Applications, 1995.
25. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. Information Sciences, 1975, Part 1,8, pp.199 -249, Part 2,8, pp.301-357; Part 3,9, pp.43-80.
26. Dubois D., Prade H. Fuzzy sets and systems: Theory and applicalions. -NewYork: Acad. Press, 1980, - 394p.
27. Lee C.C. Fuzzy logic in control systems: Fuzzy Logic Controller, Part 1,11. IEEE Transactions on systems, man and cybernetics, vol 20, №2 march, april 1990, - p.p. 304 – 305.
28. Zadeh L.A. Fuzzy sets: Inform. and Control. 1965, №8, pp. 338-353.
29. Zimmerman H.J. Fuzzy set Theory and its Applications. Second Revised Edition, 1990 – 398p.
30. Yager R.R., Ovchinnikov S., Tong R.M., Nguyen H.F. (Eds.), Fuzzy sets and Applications-Selected papers by L.A. Zadeh, John Wiley and Sons. - New York, 1987. – 680p.
31. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Пер. с англ. -М: «Мир», 1976. -165с.
32. Bohme G., Fuzzy – logic. Springer – Verlag, 1993. – 320 p.
33. Kaufmann A., Gupta M.M. Introduction to fuzzy Arithmetic. -New York: Van Nostrand, 1985.
34. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
35. Алиев Р.А., Либерзон М.И., Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления. -М.: Радио и связь, 1987. – 207 с.
36. Aliev R.A., Bonfig K.W., Aliev F.T. Messen, Steuern und Regeln mit Fuzzy Logik. Frazis-Verlag GmbH. -Munchen, 1994. - 309p.
37. Алиев Р.А., Церковный А.Е., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. -М: Энергоатомиздат, 1991. – 240с.
38. Bandler W., Kohout L., Fuzzy power sets and fuzzy implications operators. Fuzzy sets and systems. 1980, №1. - pp- 13-30.
39. Rescher. Many-Valued Logic. Me. Graw-Hill. - New York, 1969. - 239p.
40. Mizutmotu M., Fuzzy Conditional Inference under Max – Compozition, Information Sciences. - 1982, №27. – p.p. 183-209.
41. Mamdani E.H. Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic systems: IEEE Transactions on Computer C-26, 1977. pp.1182-1191.
42. Baldwin J.F., Pilsworth B.W. A model of fuzzy reasoning through multivalued logic and set theory: International Journal on Man-Machine Studies, 1979, №11. - pp.351-380.

43. Kosco B, Neural Networks and Fuzzy systems: Prentice-Hall International, Inc., 1993, - 449p.
44. Aliev R. Production control on the basis of Fuzzy Models. Fuzzy sets and systems. 1987, vol.22. №1. - pp. 43-56.
45. Fukami S., Mizumoto M., Tanaka K. Some Considerations of fuzzy Conditional Inference: Fuzzy sets and Systems, 1980. №4 – p.p. 243-273.
46. Zadeh L.A. On line of a new approach to the analisis complex systems and decision processes : IEEE Trans. Syst. Man Cybern., vol.SMC-31973. - pp. 28- 44.
47. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом. -М.: Радио и Связь, 1990. -264с.
48. Zadeh L.A. Fuzzy orderings: Inform. Sciences, 1971. №3, - pp.117-200.
49. Mizumoto M., Zimmerman H.J. Comparison of Fuzzy Reasoning Methods: Fuzzy sets and systems, 1982. – p.p. 253-283.
50. http://matica.org.ua/lineynie_operatori_kvadratichnie_formi/6-3-nechetkie-muozhestva-osnovnie-opredeleniya
51. <http://osp.ru/os/1998/04/179534/>
52. <http://www.timebiology.ru/tmb1-1079.html>
53. <http://refdb.ru/look/2017027-3.html>
54. <http://works.doklad.ru/view/7mebqtNNrKM/all.html>
55. <http://www.km.ru/referats/7A3FCAE7DC74E8074586E18756E05#>
56. Ф. Розенблатт. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга. –Москва: Мир, 1965.
57. А. Горбань, Д. Россиев Нейронные сети на персональном компьютере. –Новосибирск:Наука, 1996.
58. Курейчик В.М., Родзин С.И. Эволюционные алгоритмы: генетическое программирование. Обзор // Известия РАН. ТиСУ. 2002. №1. - с. 127-137.
59. Nissen V. Einführung in evolutionäre algorithmen. – Braunschweig: Vieweg, 1997.
60. Wolpert D.H., Macready W.G. No free lunch theorems for search // Operations research: Santa Fe Institute, 1995.
61. Родзин С.И. Гибридные интеллектуальные системы на основе алгоритмов эволюционного программирования // Новости искусственного интеллекта. 2000. №3. - с. 159-170.
62. Koza J.R. Genetic Programming. Cambridge: MA: MIT Press, 1992, 1994.
63. Родзин С.И. Параллельные нейроэволюционные вычисления // Известия НАН Украины. Искусственный интеллект. –Донецк: Наука і освіта, 2003. №4. - с. 485-492.
64. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Состояние. Проблемы. Перспективы // Известия РАН. ТиСУ. 1999. №1. - с. 144-160.

65. Nordin P., Banzhaf W. Evolving turing-complete programs for a register machine with self-modifying code// Proc. of The sixth inter. conf. on genetic Programming. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1995.
66. Fogel L.J., Owens A.J., Walsh M.J. Artificial Intelligence through simulated evolution. N.Y.: J.Wiley&Sons, 1966.
67. http://krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/matematika/HAOSA_TEORIYA.html.
68. Ванда В.Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации.- М.: Машиностроение, 1982. -400 с.
69. Ванда В.Ф. Системы гибридного интеллекта : Эволюция, психология, информатика. – М.: Машиностроение, 1990. - 408 с.
70. Fogel D.B. Evolutionary Computation. Toward a New Philosophy of Machine Intelligence. – N.Y.: IEEE Press, 1995.
71. Zadeh L.A. Toward a Theory of Fuzzy Systems // Aspect Network and System Theory. – New York: Rinehart and Winston, 1971.
72. Zadeh L.A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning, Part 1, 2 and 3// Information Sciences. – 1975. – Vol. 8. – p.199-249, 301-357 and Information Sciences.-1976. – Vol. 9. –p. 43-80. Имеется русский перевод: Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
73. Wang J. “Encyclopedia of data warehousing and mining”, 2006.
74. Букатова И.Л., Макрусов В.В. Интеллектуализация глобальных информационно-вычислительных систем: основы, концепция, проблемы. М.:ИРЭ РАН.- Препринт №7 (595),1994.- 37 с.
75. Букатова И.Л., Макрусов В.В. Когнитивные процессы эволюционирующих систем. М.: ИРЭ РАН.- Препринт №10 (598), 1994. - 3– с.
76. Клименко А.В. Основы естественного интеллекта. Рекуррентная теория самоорганизации. Версия 3.-Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1994. - 3-4 с.
77. Jacobsen H.A. A generic architecture for hybrid intelligent systems // IEEE Fuzzy Systems. Ancourage. –Alaska, 1998. -p. 709-714.
78. Kandel A. Fuzzy intelligent hybrid expert system and their application // IEEE. 1995. -p. 2275-2280.
79. Herrmann C. A hybrid fuzzy-neural expert system for diagnosis // Proc. of IJCAI. –Montreal, 1995. -p.1-10.
80. Fenton B., Mc Ginnity M., Maguire L. Fault diagnosis of electronic systems (using artificial intelligence) // IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. 2002. №9. - p. 16-20.

2-BOB

BOSHQARISHNING INTELLEKTUAL TIZIMLARIDA BOSHQARUVCHI QURILMALAR

2.1. Noaniq mantiq asosida boshqarish

So'nggi yillarda dinamik tizimlarning keng sinfini avtomatik boshqarishda, ayniqsa murakkab kimyo-texnologik jarayonlarni boshqarishda tizimlarning sifatli yangi sinfi bo'lgan intellektual boshqarish tizimlari muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda. Bu tizimlar mumtoz determinantlangan va stoxastik kontrollerlarni qo'llab bo'lmaydigan, noxiziqli, aniqlanmagan dinamik obyektlar ko'rinishidagi yomon shakllantirilgan, murakkab texnik tizimlarni boshqarish uchun o'zlarini yaxshigina tavsiya etishdi.

Avtomatik boshqarishning intellektual tizimlari (ABIT) – bu boshqarish obyektining xulqi, uni boshqarish tizimi va tashqi ta'sirlar to'g'risidagi axborotlarni saqlab qolish va tahlil qilish hisobiga o'rganish, moslashish yoki sozlanish imkonini beradigan tizimlardir. Ushbu sinfdagi tizimlarning muhim jihatlari ma'lumotlar bazasi, mantiqiy xulosa mashinalari, tushuntirishlarga oid osttizimlar va boshqalarning mavjudligi hisoblanadi.

Boshqarishning intellektual tizimlari sinfiga quyidagi belgilar mos keladi:

- boshqarish tizimlarining real tashqi dunyo bilan o'zaro ta'siri aloqaning axborot kanallaridan foydalanish orqali mavjudligi;
- tizimlarning ochiqligi bilimlarni to'ldirish va o'zlashtirish uchun zarur;
- tizimlar faoliyat ko'rsatish muhitining o'zgarishini bashoratlash mexanizmlarining mavjudligi;
- boshqarish obyekti (BO) to'g'risidagi axborotlarning aniq emasligini boshqarish algoritmini intellektuallashtirish darajasini oshirish hisobiga to'ldirilishi mumkin;
- aloqalar uzilib qolganda faoliyat ko'rsatishni saqlab qolish.

Boshqarishning intellektual tizimlari orasida eng keng tarqalganlari, professor L.Zoda tomonidan noaniq mantiq (fuzzy logic) ni ishlab chiqqanidan so'ng paydo bo'lgan noaniq boshqarish tizimlari deb ataluvchi tizimlar bo'ldi [1].

Noaniq mantiq asosida matematik tushunchalarning barchasini noaniq o'xshashliklarini qurish va insonning fikrlash va masala yechish qobiliyatini modellashtirish uchun zaruriy bo'lgan rasmiy apparatlarni yaratish mumkin. Noaniq to'plam (fuzzy set) – ixtiyoriy tabiatli elementlar to'plami bo'lib, ularga nisbatan u yoki bu elementni ushbu to'plamga tegishli ekanligini to'la aniqlikda tasdiqlab bo'lmaydi.

Noaniq to'plamlar nazariyasi ekspertli axborot deb nomlash qabul qilingan “insonga xos bilimlar” bilan ish ko'radi. Boshqarish obyektiga ta'sir etuvchi boshqarish ta'sirlarini ishlab chiqish uchun sifatli ifodalangan ekspertli bilimlarni bevosita qo'llash noaniq boshqarishga xosdir [2].

Noaniq rostlagichning boshqarish obyekti (jarayoni) bilan o'zaro ta'siri haqidagi bilimlar quyidagi ko'rinishda aks ettiriladi: «AGAR (boshlang'ich vaziyat), UNDA (javob reaksiyasi)». Bunday qoida eng sodda insoniy harakatlarga to'g'ri keladi. Bunda tahlil qilinayotgan parametrlar, sifatli ko'rsatkichlarga ko'ra baholanadigan lingvistik o'zgaruvchilar sifatida qaraladi.

Noaniq to'plamlar nazariyasida lingvistik o'zgaruvchilar (LO'), lingvistik kattaliklar (LK) va tegishlilik funksiyalari $\mu'(x)$ tushunchalari markaziy rolni o'ynaydi.

Matematik noaniq to'plamlar $(x, \mu^m(x))$ ko'rinishidagi tartiblangan juftliklar ko'rinishida, bu yerda x universum $X(x \in X)$ ning elementi hisoblanadi, funksiya $\mu'(x)$ esa x element (lingvistik element) ning noaniq to'plam T (term) ga $[0, 1]$ diapazondagi sonli qiymat ko'rinishida tegishlilikni aniqlab beradi.

Noaniq to'plam to'laligicha uning tegishlilik funksiyalarini tavsiflaydi. Masalan, lingvistik kattaliklar (noaniq to'plam) ni “xatolik” ning “manfiy”, “musbat”, “katta”, “kichik” lingvistik o'zgaruvchilari deb faraz qilgan holda ularning tegishlilik funksiyalari yordamida sifatli tavsiflangan fizik kattaliklar – avtomatik boshqarish tizimlari xatoligi yoki nomuvofiqligini o'zgarish diapazonini belgilab beradi.

Lingvistik kattaliklarning tegishlilik funkiyalari bir-birini qoplaydi, shuning uchun ham bu funksiyalarning bir xil lingvistik o'zgaruvchilari noldan farqli bo'lgan lingvistik kattaliklarning turli “haqiqiylik darajalari” haqida ma'lumot berishi mumkin.

Noaniq rostlagichning kirish o'zgaruvchilarini joriy qiymatini haqiqiylikning lingvistik kattaligiga o'tkazish *fazzifikatsiya amali* deb nomlanadi. Noaniq rostlagichlarda "AGAR-UNDA" turidagi qoidalar (qoidalar bazasi) asosida tegishlilik funksiyalarini natijalovchi noaniq to'plam ko'rinishidagi mantiqiy yechimlarni shakllantirish amalga oshiriladi. Tegishlilikning berilgan natijalovchi funksiyalari uchun yagona miqdoriy qiymatning chiqish lingvistik o'zgaruvchilari – noaniq rostlagich chiqishidagi boshqarish ta'sirini olish va chiqish kattaligi (boshqarish obyekti uchun boshqaruv ta'sirlari) ni ishlab chiqish amalining o'ziga *defazzifikatsiya* deyiladi.

Noaniq boshqaruvda namoyon bo'ladigan noaniq mantiqning afzalligi uning inson fikrlarini muvaffaqiyatli shakllantirish imkonini berishdan iborat bo'lib, ular tomonidan qarorlar va murakkab obyektlarni, uzoq vaqt mobaynida nafaqat insonlarni muloqot vositasi sifatida, balki obyektiv dunyoni aks ettiruvchi struktura sifatida shakllangan tabiiy til vositasida modellashtirish usullarini qabul qila oladi.

Dunyoni anglash fikrlashga asoslanadi, anglash esa o'z navbatida ma'lum belgili tizimsiz amalga oshmaydi. Bunday turdagi eng mukammal tizim tabiiy til hisoblanib, o'zida insonga xos fikrlashni tugallangan, eng kuchli va asoslangan amalga oshirilishini aks ettiradi. Til ta'riflab bo'lmaydigan, murakkab va ko'p belgili tushunchalar bilan ishlash imkoniga ega.

Qaror qabul jarayonida inson murakkab vaziyatlarni alohida hodisalarga ajratadi va har bir hodisa uchun mos keluvchi qaror (yechim) larni oldingi tajribalarga asoslanib, qabul qiladi va umumiy yechimga olib keladi [3]. So'nggi qarorni qabul qilishda unifikatsiyalangan qiymatli mezonlardan emas, balki ko'pincha bir-biriga to'g'ri kelmaydigan ko'p sondagi iqtisodiy mezonlardan foydalaniladi. Axborotlar to'la bo'lmagan holda xulosalardan foydalanib qaror qabul qilish mumkin. Noaniq boshqarishda insonga xos bo'lgan, alohida holatlar, boshqarish qoidlari va noaniq xulosalar bo'yicha taqsimlangan qaror qabul qilish usullari kiritiladi.

Inson kun davomidagi faoliyatida hech qachon matemaik ifodalarga asoslanuvchi rasmiy modellashtirishdan foydalanmaydi, u barcha muammoni tavsiflovchi bir tilni qidiradi. Inson ishlatadigan til – bu noaniq tabiiy til. Olingan model unifikatsiyalangan hisoblanmydi: u yo obyekt fragmentlarini tavsiflaydi yo ma'lum shart asosida

qo'yilgan lokal modellarning bir nechtasidan iborat to'plam hisoblanadi. Lokal modellarning o'zi sonli qiymatlardan foydalanmaydi. Ular umumlashtirilgan holda sifatli sathda qabul qilish uchun soddadir. Noaniq boshqaruvda AGAR-UNDA turidan foydalanib, noaniq so'zlar orqali operator faoliyatining modeli tuziladi. Raqamli qiymatlar zanjirini tuzish o'rniga, inson "kichik", "o'rtacha", "katta" va shu kabi turdagi noaniq chegaralarni qo'yadi. Noaniq so'zlardan foydalanish hisobiga ma'lumotlari to'la bo'lmagan holatlarni osongina tushunish mumkin [4].

Rostlagichlarni loyihalashda noaniq to'plamlar nazariyasini qo'llash, ularning "intellekti", funksional imkoniyatlarini inson intellektiga yaqinlashtirish imkonini beradi [5].

Noaniq boshqarishning asosiy jihatlarini ajratib ko'rsatamiz.

Birinchisi noaniq boshqarish qoidalari mantiqiy hisoblanishidir. Qoidalardan foydalanish mantiqiy xulosa mexanizmlari orqali amalga oshiriladi. Mantiqiy boshqarish, ekspertning mantiqiy boshqaruvini oson anglash va ba'zi harakatlarga ko'ra turli xil farazlarni qo'yish mumkinligini bildiradi. Texnologik jihozlar uchun – bu nafaqat boshqaruvda to'la axborotlardan foydalanish (klassik boshqarishdan farqli ravishda), balki shartga (masalan, vaqt va parametrlarning qiymatlariga) ko'ra boshqarish rejimlarini o'zgartirish hamdir. Real jihozlarning ko'pgina turlari uchun turli ish rejimlarida (masalan, Texnologik jihozni ishga tushirish rejimida) alohida e'tibor qaratish lozim. Bu holda avtomatlashtirish uchun noaniq boshqarishdan foydalanish qulay, chunki ishga tushirish va me'yoriy ish rejimlari uchun "AGAR-UNDA" shaklida qoidani bir xil tavsiflash mumkin.

Ikkinchi jihat – parallel boshqarish. Noaniq boshqarish usullarining o'zi turlicha farqlanadi. Boshqarishning an'anaviy usullari – bu yo klassik yo zamonaviy usullar bo'lib, boshqarishning umumlashgan algoritmi bir formula yordamida ifodalanib, noaniq boshqarishda ko'p sondagi xususiy qoidalarni ishlatadi. Har bir qoida boshqarishda ishlatiladigan axborot fazosining ma'lum sohasi uchun o'rinlidir.

Taqsimlangan axborot fazosining har bir lokal sohasi uchun alohida boshqarish qoidalarini yaratish maqsadga muvofiqdir. Bundan tashqari, agar ko'p rostlanuvchi kattaliklar berilgan bo'lsa, unda ularning har biri uchun alohida boshqarish algoritmlarini yaratish kerak.

Agar boshqarish maqsadlari ko'p bo'lsa, iloji boricha har bir zanjir uchun o'zining boshqarish qoidasini tuzish lozim.

Klassik boshqarish, funksiyalarni umumlashtirish maqsadida maqsadlarning turli-tumanlik imkoniyatlarini cheklab qo'ygan edi. Noaniq boshqarishda maqsad funksiyasiga bo'lgan zarurat va optimal boshqarish masalasi chekinadi, shuning uchun ham bunda maqsadlarning xilma-xilligi hattoki o'zaro teskari maqsadlar bilan ham ishlasa bo'laveradi.

Noaniq boshqarishning *uchinchi jihati* operator bilan dialog shaklidagi boshqarishni tashkil etishdan iborat bo'lib, boshqarish qoidasini "AGAR-UNDA" ifodasi shaklida yozish mumkin.

Noaniq to'plamlar nazariyasi asosida boshqarish tizimlarini shakllantirishga bo'lgan boshlang'ich qo'yimlar, ta'sirlarni boshqaruvchi murakkab tizimlar holatini sintezlanayotgan tizimda sifatli termlar (tabiiy til vositalari) bilan baholanadigan lingvistik o'zgaruvchilar kabi qarash hisoblanadi. Har bir term noaniq to'plam sifatida aks ettiriladi va mos keluvchi tegishlilik funksiyasi yordamida shakllantiriladi. Boshqarish ta'sirlarini shakllantirish ma'lum qoidalar to'plamiga asoslanib amalga oshiriladi va bu qoidalar to'plami tabiiy til vositasida dinamik tizim holati va boshqarish ta'sirlari o'rtasida aloqa o'rnatadi. Boshqarish ta'sirlarining aniq qiymatini aniqlash, "*boshqarish ta'sirlari*" lingvistik o'zgaruvchisini tavsiflovchi natijaviy tegishlilik funktsiyalaridan aniq son qiymatiga o'tishni amalga oshirish yo'li bilan bajariladi. Natijada boshqarish obyektining dinamik xulqini tavsiflashning noaniqligi darajasiga ko'ra yuqori bo'lgan boshqarish algoritmi bilan kompensatsiyalanadi va bunda obyektning dinamik xulqi belgilari e'tiborga olinadi [6].

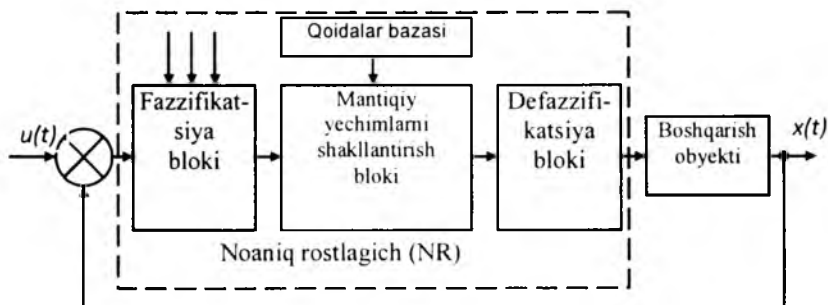
Amaliyotda noaniq mantiq algoritmlarini amalga oshirish uchun quyidagi usullar qo'llaniladi:

- mos dasturiy ta'minot (DT) yordamida noaniq algoritmlarni amalga oshirish;
- inson ishlatadigan tabiiy til va xulosalash qoidalaridagiga o'xshash buyruqlar yordamida ma'lumotlar, axborotlar va bilimlarga ishlov berishga mo'ljallangan maxsus "noaniq" kompyuterlarni ishlab chiqish;
- katta integral sxemalar (KIS) va o'ta yuqori integral sxemalar (O'YUIS) asosida analogli va analog-raqamli amalga oshirish.

Noaniq to'plamlar va noaniq mantiq nazariyalari asosida boshqarishni amalga oshirish uchun boshqarish obyektiga beriladigan boshqarish ta'sirlarini shakllantiruvchi qurilma – noaniq rostlagich (noaniq mantiq asosida ishlovchi rostlagich) zarur.

Noaniq mantiq asosida ishlovchi avtomatik boshqarish tizimining funksional sxemasi 2.1.1-rasmda keltirilgan. Tizim solishtirish qurilmasi, noaniq rostlagich (NR), boshqarish obyekti va teskari aloqa zanjiridan tashkil topgan. Noaniq rostlagich (fuzzy-controller) uchta asosiy blok: fuzzifikatsiyalash (fuzzyfication) bloki, mantiqiy yechim (qaror)ni shakllantirish (inference) bloki va defazzifikatsiyalash (defuzzyfication) blokini o'z ichiga oladi.

Fazzifikatsiyalash blokida kirish lingvistik o'zgaruvchilari $x_1, \dots, x_n$ ni *tizimning xatoligi* θ , *xatolikni o'zgarish tezligi (birinchi hosila)* $\dot{\theta}$, *xatolikning tezlanishi (ikkinchi hosila)* $\ddot{\theta}$ kabi ifodalash term-to'plamlar a_i (lingvistik kattaliklar) bilan sifatli tavsiflanadi. So'nggi kattalik sifatida *manfiy* (M), *o'rtacha manfiy* ($O'M$), *kam manfiy* (KM), *nolli* (N), *kam musbat* ($KMus$), *o'rtacha musbat* ($O'Mus$), *musbat* (Mus) kattaliklar olinishi mumkin bo'lib, ular U universal to'plamda $\mu_m(u)$ tegishlilik funksiyalari (TF) bilan tavsiflanadi.



2.1.1-rasm. Noaniq mantiq asosidagi boshqarish tizimining funksional sxemasi.

TF har bir i elementni to'plam U ga tegishlilik darajasini 0 va 1 sonlari oralig'ida aniqlaydi. Bu sonlar oralig'i ko'rib chiqilayotgan termda lingvistik o'zgaruvchilarning *haqiqiylik darajasi* deyiladi. Kirish o'zgaruvchilari, masalan ($[<g_{min}, g_{max}]$, $[0_{min}, <g_{max}]$, $[w_{min}, w_{max}]$) va ularning joriy qiymatlari yagona universal to'plamda aks ettiriladi, bu yerda L_i – har bir lingvistik o'zgaruvchi $X = \overline{1, n}$ da yoki universal

to'plam U dagi termlarning soni – $[0,1]$. Har bir lingvistik o'zgaruvchi uchun termlar soni j bir xil tanlanadi.

Shunday qilib, kirish o'zgaruvchilarining har bir joriy qiymati uchun ma'lum lingvistik o'zgaruvchini xarakterlovchi term (noaniq ostto'plam) ga tegishlilik darajasi (haqiqiylik kattaligi) aniqlanadi.

TF lari odatda bir-birini qoplaganligi sababli bir nechta TF ning bir xil kirish o'zgaruvchilari haqiqiylikning noldan farq qiluvchi turli miqdorlaridan darak berishi mumkin.

Mantiqiy yechimni shakllantirish blokida bilimlar matritsasi asosida "AGAR (boshlang'ich vaziyat) – UNDA (javob reaksiyasi)" ko'rinishidagi lingvistik qoida yozilishi mumkin va u ko'pincha *ishchi qoida* deb ataladi.

"AGAR-UNDA" turidagi TF ning kirish va chiqishlari o'rtasidagi ta'sir *implikatsiya* (mantiqiy aloqa) kabi belgilanadi [7,8]. Implikatsiya (faollashtirish) – bu noaniq xulosaning bosqichi bo'lib, o'zida "AGAR-UNDA" turidagi mantiqiy qoidalardan har birining haqiqiylik darajasini topish amali namoyon etadi. Agar qismi (qo'yim yoki shart) mantiqiy amallarning birlashuvini, Unda qismi (yechim, xulosa) esa noaniq rostlagichning chiqish ta'sirlari (boshqarish obyektiga beriladigan boshqarish ta'sirlari) uchun lingvistik kattaliklarni ko'rsatishni aks ettiradi. Qoidalarning mos ifodalanishiga ko'ra natijaga erishiladi, bunda boshqarish ta'sirining ixtiyoriy lingvistik kattaligi uchun minimum darajada qoidalardan birini qabul qiladi.

Eng ko'p mantiqiy yechimning "minimaksli" (Max-Min Inference) usuli qo'llaniladi, bunda dastlab TF ning UNDA qismi har bir qoidadagi AGAR qismining haqiqiylik kattaligi bilan birlashadi ("mini" amali), keyin cheklangan TF laridagi UNDA qismi birgalikda qo'yish yo'li bilan maksimal haqiqiylikka ega bo'lgan natijalovchi TF ni tanlanadi ("maks" amali). Bu natijalovchi TF o'zida qoidalar to'plami ta'sirini belgilab beradi. Natijalovchi TF ni shakllantirish orqali qoidalar bazasiga ishlov berish amali o'zida NR ning chiqish kattaligini hisoblashning mantiqiy yechimini aks ettiradi.

Noaniq xulosa (chiqish) noaniq mantiq va noaniq boshqarish tizimlarida markaziy ahamiyatga ega. Noaniq xulosalash jarayoni o'zida noaniq shartlar asosida yoki noaniq mantiq tushunchalaridan foydalanib, noaniq xulosalar olish algoritmi yoki amali namoyon qiladi. Bu jarayon o'zida noaniq to'plamlar nazariyasining barcha

asosiy konsepsiyalari: tegishlilik funksiyalari, lingvistik o'zgaruvchilar, noaniq mantiq amallari, noaniq implikatsiyalash va naniq kompozitsiyalash usullarini birlashtiradi.

Shuni ta'kidlab o'tish kerak-ki, algebradagi implikatsiyalash (mantiqiy aloqalar) va kompozitsiyalash amallari kabi noaniq to'plamlarni turlicha amalga oshirish (natijalar ham turlicha bo'ladi) mumkin, lekin ixtiyoriy holatda umumiy mantiqiy xulosa quyidagi to'rt bosqichda amalga oshiriladi.

Noaniqlilikni aniqlash (fazzifikatsiyalash). Kirish lingvistik o'zgaruvchilar termlari uchun yagona universal fazoda tegishlilik funksiyalari beriladi va o'zgaruvchilarning ma'lum qiymatlari uchun har bir qoidaning har bir qo'yimining haqiqiylik darajasi aniqlanadi.

Mantiqiy xulosa. Har bir qoidaning qo'yimi uchun hisoblangan haqiqiylik qiymatlari har bir qoidaning xulosasi uchun qo'llanadi. Mantiqiy xulosalar qoidalari sifatida ko'pincha **min** (minimum) yoki **prod** (ko'paytirish) amallari bajariladi. Mantiqiy xulosa **min** da xulosaning tegishlilik funksiyasi qoida qo'yimining hisoblangan haqiqiylik qiymati balandligi bo'yicha "kesiladi" (noaniq mantiq "VA"). Mantiqiy xulosa **prod** da xulosaning tegishlilik funksiyasi har bir qoida qo'yimlari haqiqiyliги darajalarining ko'paytmasi bilan masshtablanadi.

Kompozitsiya. Olingan noaniq ostto'plamlari (tegishlilik funksiyasining "balandligi bo'yicha kesilganlari") o'zgaruvchan xulosa (yechim) uchun bitta noaniq ostto'plamni (natijalovchi tegishlilik funksiyasini) shakllantirish uchun birlashtiriladi. Birlashtirish uchun odatda **max** (maksimum) yoki **sum** (yig'indi) amali ishlatiladi. Max kompozitsiyasida natijalovchi noaniq ostto'plam olingan barcha noaniq ostto'plamlar bo'yicha nuqtali maksimum kabi kontrutsiyalanadi ("YOKI" noaniq mantig'i). **Sum** kompozitsiyasi yordamida natijalovchi noaniq ostto'plam olingan barcha noaniq ostto'plamlar bo'yicha nuqtali maksimum kabi kontrutsiyalanadi.

Aniqlikka o'tkazish (defazzifikatsiya). Noaniq xulosa aniq songa o'zgartiriladi. Defazzifikatsiyalash blokida olingan, boshqarish obyektiga ta'sir etuvchi boshqarish ta'sirining natijalovchi tegishlilik funksiyasi sonli kattalikka o'zgartiriladi (natijalovchi TF ning grafigi ostidagi natijalovchi shaklning S tekisligi "og'irlik markazi" (centre of gravity) ni aniqlashdagi kabi). O'zgaruvchi i ning qiymati $i = U_1$ dan $i = U_2$ gacha o'zgarganda natijalovchi funksiya $u_i(u)$ bilan qamrab

olingan $S_c=S(u_c, \mu_c)$ yuzaning og'irlik markazi ning absissasini hisoblashning umumiy qoidasi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$u_c = \frac{\int_{U_1}^{U_2} u \mu_c(u) du}{\int_{U_1}^{U_2} \mu_c(u) du}. \quad (2.1.1)$$

Yuzaning og'irlik markazi *yuzaning sentroidi* deyiladi. Shuning uchun ham aniqlikka keltirishning yuqorida tavsiflangan usuli sentroid (centroid of area) deb ataladi. O'zgaruvi u_s – defazzifikatsiyalash natijasi.

Trapetsiyalar usuliga ko'ra (diskretlash qadami i_0 bo'yicha) sonli integrallashga o'tib, (2.1.1) formulani quyidagicha yozamiz:

$$u_c = \frac{\frac{U_1 \mu_0}{2} + \sum_{j=1}^{M-1} u_j \mu_j + \frac{U_2 \mu_M}{2}}{\frac{\mu_0}{2} + \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i + \frac{\mu_M}{2}}, \quad (2.1.2)$$

bu yerda U_0 – diskretlash qadami, $M - U_2 - U_0 = 1, 2, 3, \dots, (M-1)$ oraliqdagi diskretlar soni.

Xususiyl holda, natijalovchi TF bo'lakli-chiziqli bo'lsa, "og'irlik markazi"ning absissasi quyidagicha aniqlanadi:

$$u_c = \frac{\sum_{k=1}^N (a_{k+1} - a_k) [(2a_{k+1} + a_k)b_{k+1} + (2a_k + a_{k+1})]}{3 \sum_{k=1}^N (a_{k+1} - a_k)(b_{k+1} + b_k)}, \quad (2.1.3)$$

bu yerda N – qirralar soni, k, b_k – natijalovchi shakl qirralarining koordinatalari.

Olingan qiymat u_c keyin universal to'plamdagi teskari akslantirish yo'li bilan lingvistik o'zgaruvchili $[w_{min}, w_{max}]$ oraliqda *boshqarish ta'siriga* o'zgartiriladi.

Bir nuqtali to'plamlar uchun og'irlik markazi usuli (centre of gravity for singletons) quyidagicha hisoblanadi:

$$u_c = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \mu_c(u_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_c(u_i)}, \quad (2.1.4)$$

bu yerda n – bir nuqtali (bir elementli) noaniq to'plamlar soni, ularning har biri ko'rib chiqilayotgan chiqish lingvistik o'zgaruvchisining yagona qiymatini xarakterlaydi.

MATLAB [9] interaktiv tizimining noaniq mantiqlar paketi (Fuzzy Logic Toolbox) da natijalovchi tegishlilik funkiyalaridan foydalanganda aniqlikka keltirishning boshqa usullari: eng kichik maksimum (smallest of max, **som**), eng katta maksimum (largest of max, **lom**), o'rtacha maksimum (mean of max, **mom**), bisektorli (bisector of area) usul ham keltirilgan. sentroid usul natijalariga yaqin natijalarni bisektorli usul beradi, unda aniq chiqish qiymatining qiymati quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\int_{U_1}^{u_c} \mu_c(u) du = \int_{u_c}^{U_2} \mu_c(u) du. \quad (2.1.5)$$

Yuzaning bissektrisasi, natijalovchi tegishlilik funksiyasi bilan chegaralangan yuzani teg ikkiga ajratuvchi abssissaga teng.

Amaliyotda noaniq xulosalarning bir nechta algoritmlari ishlatiladi. MATLAB interaktiv tizimda ishlatiladigan Mamdani algoritmgiga e'tibor qaratamiz (1974 - yilda Ebrahim Mamdani [10] tomonidan taklif etilgan). Soddalashtirish uchun bilimlar bazasi quyidagi ko'rinishli ikkita noaniq qoidalar bilan tashkil etiladi deb faraz qilamiz:

$$\text{Agar } (u_1 = a_1^1) \text{ va } (u_2 = a_2^1) \text{ bo'lsa, unda } (u_c = a_c^1); \quad (2.1.6)$$

$$\text{Agar } (u_1 = a_1^2) \text{ va } (u_2 = a_2^2) \text{ bo'lsa, unda } (u_c = a_c^2),$$

bunda U_i – yagona universal to'plamda hisoblagan kirish o'zgaruvchilarning joriy qiymati, $(i=1,2)$, a_i^j – kirish o'zgaruvchilarining lingvistik baholari, masalan, $a_j \in \{manfiy (j=1), \text{musbat } (j=2)\}$, a_i^j – yagona universal to'plamdagi joriy chiqish o'zgaruvchisi i ning lingvistik bahosi, u_c^* – u_1^*, u_2^* chiqish o'zgaruvchilarining aniq qiymatlari va keltirilgan axborotlarda aniqlanishi kerak bo'lgan chiqish o'zgaruvchisining aniq qiymati, $\mu^j(u)$ – $(j=1,2)$ o'zgaruvchilar uchun berilgan tegishlilik funksiyasi.

Mamdani algoritmi quyidagi tarzda matematik tavsiflanadi.

1. *Noaniqlik (fazzifikatsiyalash amali - fuzzification)*: har bir qoidaning sharti (kirish o'zgaruvchisi) yoki qo'yimlari uchun haqiqiylik darajasi topiladi:

$$\mu^1(u_1^*), \mu^2(u_1^*), \mu^1(u_2^*), \mu^2(u_2^*),$$

bunda $\mu^1(u_1), \mu^2(u_1) - u_1, \mu^1(u_2)$ o'zgaruvchilar uchun tegishlilik funksiyalari, $\mu^2(u_2) - u_2$ o'zgaruvchi uchun tegishlilik funksiyasi.

2. *Noaniq xulosa*: har bir qoidaning sharti yoki qo'yimlari uchun "kesish" sathi (haqiqiylik darajasi) topiladi (*agregatlash amali - aggregation*):

$$\begin{cases} A = \mu^1(u_1^*) \wedge \mu^1(u_2^*); \\ B = \mu^2(u_1^*) \wedge \mu^2(u_2^*), \end{cases} \quad (2.1.6)$$

bunda " $\wedge$ " orqali mantiqiy minimum (min) amali belgilangan.

Keyin o'zgaruvchan xulosa yoki xulosa – chiqish o'zgaruvchi i_s uchun kesilgan tegishlilik funksiyasi topiladi (*faollashtirish amali - activation*):

$$\begin{cases} \mu_c^1(u) = A \wedge \mu^1(u_c); \\ \mu_c^2(u) = B \wedge \mu^2(u_c); \end{cases} \quad (2.1.7)$$

bunda $\mu^1(u_c), \mu^2(u_c) - u_c$ o'zgaruvchi uchun tegishlilik funksiyasi.

3. *Kompozitsiya (akkumulyatsiya amali - accumulation)*: kesib topilgan funksiyalar birlashtiriladi, natijada natijalovchi tegishlilik funksiyali chiqish o'zgaruvchi uchun natijaviy noaniq to'plamni hosil qilamiz:

$$\mu_c(u) = \mu_c^1(u) \vee \mu_c^2(u), \quad (2.1.8)$$

bunda " $\vee$ " orqali mantiqiy maksimum (max) amali belgilangan.

4. *Aniqlikka keltirish (defazzifikatsiya amali - defuzzification)* – chiqish o'zgaruvchisi i_s^* ning aniq qiymatini topish (masalan, sentroid usuli bilan).

(2.1.6)-(2.1.8) formulalarini ishlatuvchi Mamdani algoritmi noaniq xulosaning "*minimaksli*" usuli deb ataladi. Bu algoritmi amaliyotda keng ishlatiladi. Bu algoritmnining ko'plab modifikatsiyalari mavjud. Agregatlash amalida (2.1.6) formula bilan beriladigan *mantiqiy kon'yuksiya* (And method, **min**-amali) amali o'rniga *algebraik ko'paytirish* amali (**prod**-amali) ishlatilishi mumkin:

$$\begin{cases} A = \mu^1(u_1^*) \times \mu^1(u_2^*); \\ B = \mu^2(u_1^*) \times \mu^2(u_2^*). \end{cases} \quad (2.1.9)$$

Faollashtirish amalida (2.1.7) formula bilan belgilanadigan **min**-faollashtirish amalidan tashqari **prod**-faollashtirish amali ham ishlatilishi mumkin:

$$\begin{cases} \mu_c^1(u) = Ax\mu^1(u_c); \\ \mu_c^2(u) = Bx\mu^2(u_c); \end{cases} \quad (2.1.10)$$

yoki **averag-faollashtirish** amali:

$$\begin{cases} \mu_c^1(u) = 0.5 \times [A + \mu^1(u_c)], \\ \mu_c^2(u) = 0.5 \times [B + \mu^2(u_c)]. \end{cases} \quad (2.1.11)$$

Kompozitsiya amalida (2.1.8) formula bilan beriladigan mantiqiy *diz'yunksiya* (Or-method, **max**-amallari) amaldan tashqari, *chegaraviy yig'indi* (**sum**-amali)

$$\mu_c(u) = \min\{\mu_c^1(u) + \mu_c^2(u), 1\} \quad (2.1.12)$$

yoki *algebraik yig'indi* (**probor**-amali) ishlatilishi mumkin:

$$\mu_c(u) = \mu_c^1(u) + \mu_c^2(u) - \mu_c^1(u) \cdot \mu_c^2(u). \quad (2.1.13)$$

Bilimlar bazasi quyidagi ikkita noaniq qoidalarni tashkil etuvchi boshqa algoritmni ko'rib chiqamiz:

Agar $(u_1 = a_1^1)$ yoki $(u_2 = a_2^1)$, unda $(u_c = a_c^1)$;

Agar $(u_1 = a_1^2)$ yoki $(u_2 = a_2^2)$, unda $(u_c = a_c^2)$.

Algoritm quyidagicha tavsiflanadi.

1. *Noaniqlik* – xuddi Mamdani algoritmidagidek.

2. *Noaniq xulosa*: har bir qoidaning sharti yoki qo'yimlari uchun “kesish” sathi (haqiqiylik darajasi) topiladi (*agregatlash amali - aggregation*):

$$\begin{cases} A = \mu^1(u_1^*) \vee \mu^1(u_2^*); \\ B = \mu^2(u_1^*) \vee \mu^2(u_2^*); \end{cases} \quad (2.1.14)$$

bunda “v” belgi orqali mantiqiy maksimum (**max**) amali belgilangan.

Keyin o'zgaruvchan xulosa yoki xulosa – chiqish o'zgaruvchi i , uchun kesilgan tegishlilik funksiyasi topiladi (xuddi Mamdani algoritmidagi kabi (2.1.7) formula bo'yicha **min-faollashtirish** amali yoki (2.1.10) formula bo'yicha **prod-faollashtirish** amali).

3. *Kompozitsiya*: natijalovchi tegishlilik funksiyasi Mamdani algoritmidagi kabi (2.1.8) formula bo'yicha aniqlanadi.

4. *Aniqlikka keltirish*: natijalovchi tegishlilik funksiyasining maksimumlari $\max[A, V]$ dan eng kattasining i_{staxl} va w_{cmax2} chegaralari topiladi va o'rtacha maksimum usuli (mean of max, **mom**) orqali i_c^* chiqish o'zgaruvchisining aniq qiymati aniqlanadi:

$$i_c^* = \frac{u_{cmax1} + u_{cmax2}}{2}. \quad (2.1.15)$$

Agregatlash amalida (2.1.14) formula bilan aniqlanadigan *mantiqiy diz'yunksiya* (Or method, **max**-amallari) o'rnida *algebraik yig'indi (probor- amali)* ishlatilishi mumkin:

$$\begin{cases} A = \mu^1(u_1^*) + \mu^1(u_2^*) - \mu^1(u_1^*) \times \mu^1(u_2^*); \\ B = \mu^2(u_1^*) + \mu^2(u_2^*) - \mu^2(u_1^*) \times \mu^2(u_2^*). \end{cases} \quad (2.1.16)$$

MATLAB interaktiv tizimida 0-tartibli Sugeno (Sugeno) algoritmda quyidagi shakldagi qoidalar to'plami ishlatiladi:

Agar $(u_1 = a_1^1)$ va $(u_2 = a_2^1)$ bo'lsa, unda $(u_c = c_1)$;

Agar $(u_1 = a_1^2)$ va $(u_2 = a_2^2)$ bo'lsa, unda $(u_c = c_2)$,

bunda s_1 va s_2 – individual xuloslar yoki tugallangan qoidalarining aniq qiymatlari (ba'zi haqiqiy sonlar).

Algoritm quyidagicha tavsiflanadi:

1. Noaniqlik – xuddi Mamdani algoritmidagi kabi.

2. Noaniq xulosa: qoidalarining har birini sharti yoki qo'yimlari uchun “kesish” darajasi topiladi:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \mu^1(u_1^*) \wedge \mu^1(u_2^*) \\ A_2 &= \mu^2(u_1^*) \wedge \mu^2(u_2^*) \end{aligned} \right\}, \quad (2.1.17)$$

bunda “ $\wedge$ ” orqali mantiqiy minimum (min) amali belgilangan; lekin qoidalarining individual xulosalari aniqlanadi:

$$u_{c1}^* = c_1, \quad u_{c2}^* = c_2.$$

3. Aniqlikka keltirish: chiqish o'zgaruvchisining aniq qiymati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$u_c^* = \frac{A_1 u_{c1}^* + A_2 u_{c2}^*}{A_1 + A_2} = \frac{\sum_{i=1}^2 c_i A_i}{\sum_{i=1}^2 A_i}, \quad (2.1.19)$$

bu yerda C_i – individual xulosalar yoki qoidalar xulosalarining aniq qiymatlari (ba'zi haqiqiy sonlar), A_i – qoidalarining har birini sharti yoki qo'yimlari uchun haqiqiylik darajasi, ya'ni bir nuqtali to'plam (2.1.4) uchun og'irlik markazi usuli shaklidagi takomillashgan variant ishlatiladi.

Defazzifikatsiyalashdagi Sugening noaniq xulosa algoritmda, (2.1.4) yoki (2.1.19) formulalar bilan aniqlanadigan o'rtacha tortilgan wtaver usuli (weighted average) dan tashqari, tortilgan yig'indi wsum (weighted sum) usulini ham ishlatish mumkin.

Agregatlash amalida (2.1.17) formula bilan aniqlanadigan mantiqiy *kon'yunksiya* (And-method, min-amali) amalining o'rniga *algebraik ko'paytma* (prod-amali) ishlatilishi mumkinligini ta'kidlab o'tamiz:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \mu^1(u_1^*) \times \mu^1(u_2^*); \\ A_2 &= \mu^2(u_1^*) \times \mu^2(u_2^*). \end{aligned} \right\}$$

Birinchi tartibli Sugeno algoritmda quyidagi shakldagi qoidalar to'plami ishlatiladi:

Agar $(u_1 = a_1^1)$ va $(u_2 = a_2^1)$ bo'lsa, unda $(u_c = a_1 u_1 + b_1 u_2 + c_1)$;

Agar $(u_1 = a_1^2)$ va $(u_2 = a_2^2)$ bo'lsa, unda $(u_c = a_2 u_1 + b_2 u_2 + c_2)$, individual xulosalar yoki qoidalar xulosalari esa quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} u_{c1}^* &= a_1 u_1^* + b_1 u_2^* + c_1; \\ u_{c2}^* &= a_2 u_1^* + b_2 u_2^* + c_2. \end{aligned}$$

bu yerda: a_i, b_i – ba'zi vaznli koeffitsiyentlar.

Mamdanining noaniq xulosa algoritmda asosiy bosqichlar qoidalar bazasini shakllantirish, noaniq qoidalar shartchalarni agregatlashtirish, kichik xulosalarni faollashtirish va noaniq qoidalar xulosalarini akkumulyatsiyalash (kopmpozitsiyalash) hisoblanadi. Sugening noaniq xulosa algoritmda akkumulyatsiya umuman yo'q, chunki hisoblashlar sodda haqiqiy sonlar bilan amalga oshiriladi.

Bugungi kungacha noaniq xulosaning bir nechta boshqa algoritmlari ham taklif etilgan. Biroq, ko'pgina amaliy holatlarda Mamdani [10] yoki Sugeno [17,18] ning noaniq xulosalar algoritmlaridan foydalanishning o'zi yetarlidir.

Noaniq rostlagich (NR) amalda mikroEHM (yoki mikroprotsessorda) da amalga oshiriladi va diskret rejimda ishlaydi. Shuning uchun noaniq rostlagichli avtomatik boshqarish tizimlarida mikro EHM ni boshqarish obyekti bilan ulovchi qurilma – analog-raqamli o'zgartkich (ARO') va raqamli-analog o'zgartkich (RAO') mavjud. 2.1.2-rasmda noaniq rostlagichli boshqarish tizimining strukturaviy sxemasi keltirilgan.

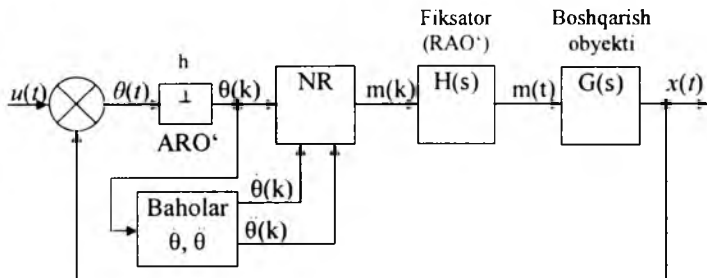
ARO' uzluksiz xatolik $\theta(t) = u(t) - x(t)$ ni h kvantlash qadami bilan kvantlaydi. Xatolik bo'yicha olingan birinchi va ikkinchi tartibli hosilalar sifatida odatda quyidagi formulalar bo'yicha birinchi va ikkinchi tartibli farqlar hisoblanadi:

$$\dot{\theta}(k) = [\theta(k) - \theta(k-1)]/h;$$

$$\ddot{\theta}(k) = [\dot{\theta}(k) - \dot{\theta}(k-1)]/h = [\theta(k) - 2\theta(k-1) + \theta(k-2)]/h^2,$$

bu yerda $\theta(k)$ – ARO^{*} chiqishidagi kvantlangan xatolik.

RAO^{*} o'zida $H(s) = (1 - e^{-hs})/s$ uzatish funksiyali nolinch tartibli fiksatorni aks ettiradi.



2.1.2-rasm. Noaniq rostlagichli boshqarish tizimining strukturaviy sxemasi.

Noaniq rostlagichning ba'zi xususiyatlarini keltirib o'tamiz. U diskret rejimda ishlaydi. Shuning uchun u har bir kvantlash qadamida barcha zaruriy hisoblashlarni bajarishi kerak. NR barcha kirish o'zgaruvchilariga ishlov beradi, shuning uchun unga boshqarish obyektidagi jarayonlarni tavsiflovchi qo'shimcha o'zgaruvchilarni berish mumkin, shuningdek u boshqarish dinamikasiga keng ta'sir etishni ta'minlaydi. NR li tizim faoliyat ko'rsatish qoidalarining noaniq tabiatiga ko'ra boshqarish obyektining parametrlari o'zgarishiga nisbatan turg'un ishlaydi. Rostlagichlarni an'anaviy tavsiflash (masalan, uzatish funksiyalari vositasida) NR lar uchun to'g'ri kelmaydi va talab etilmaydi ham. NR nochiziqli va uning muhim xususiyati shundaki, uning o'zida dinamika mavjud emas. "Xotira" va loyihalash amali, shuningdek lingvistik qoidalar bilan xarakterlanuvchi boshqarish jarayonining so'zli tavsif mavjud emas, bu NR ning asosiy xususiyati hisoblanadi.

Noaiq rostlagichlar yuqori darajadagi dasturiy ta'minot shaklida amalga oshiriladi va bu ularni sozlashda katta egiluvchanlikka ega bo'lishni ta'minlaydi. Bunda berk konturdagi noaniq rostlagichlari bo'lgan boshqarish tizimlarini modellashtirish va sinash natijalari bo'yicha lingvistik o'zgaruvchilarining miqdoriy diapazonlarini, tegishlilik funksiyalarini o'zgartirish hamda talab etilgan boshqarish sifatini olish maqsadida qoidalar bazasini takomillashtirish mumkin.

Boshqarish obyektlari uchun katta qiziqish uyg'otuvchi noaniq rostlagichlar rasmiy tavsiflashga tushmaydi (yoki katta qiyinchiliklar bilan amalga oshiriladi). Hatto matematik modellari olingan boshqarish tizimlarida qo'llanilganida ham boshqa rostlagichlarga nisbatan bu rostlagichlar afzal sanaladi, chunki ular yuqori sifatli avtomatik boshqarish tizimlarini hosil qilishga imkon yaratadi (o'tish va qaror rejimlarida xatolik kichik bo'ladi).

Noaniq mantiq asosidagi boshqarish algoritmlari faqatgina EHM dan foydalanib, amalga oshirilganligi sababli noaniq rostlagichli avtomatik boshqarish tizimlari raqamli hisoblanadi [11]. Raqamli boshqarish tizimlarining muhim jihati oniy kalitning h kvantlash qadami (analogli signalni diskretlash intervali) hisoblanadi. Qiymat h ko'p hollarda raqamli avtomatik boshqarish tizimlarining boshqa parametrlarini aniqlab beradi (xususan, an'anaviy raqamli rostlagichlarning parametrlarini). Shuning uchun noaniq rostlagichli avtomatik boshqarish tizimlarini loyihalashda kvantlash qadami h ning qiymatini tanlashga alohida e'tibor qaratish lozim.

Noaniq rostlagichli boshqarish tizimlarining strukturalarini shakllantirishda noaniq rostlagichning kirish parametrlarini tanlash muhim hisoblanadi [12]. Boshqarishning lingvistik qoidalari zamonaviy EHM lar asosida o'z-o'zidan amalga oshib qolmaydi. Ularni shakllantirish amallari zarur. Shunga ko'ra ekspertli bilimlarni shakllantirish usulini tanlash muhim sanaladi.

Noaniq to'plamlar tegishlilik funksiyalari orqali shakllantirilganligi sababli ularning turi va parametrlarini tanlash muhim rol o'ynaydi. Zamonaviy EHM lari asosida noaniq boshqarishni amalga oshirishda tegishlilik funksiyalarining parametrlarini, birinchi navbatda, ularning o'zgarish chegaralarini aniqlashni berish lozim.

2.2. Noaniq mantiq asosida boshqarishning intellektual tizimlarini qurishning umumiy tamoyillari

Noaniq mantiqni qo'llash boshqarish tizimlarini loyihalashga yangicha yondashishni ta'minlaydi, yangi axborot texnologiyalaridagi "yorib o'tishlar" keng doiradagi muammolarni yechish imkoniyatlarini kafolatlaydi, bu muammolarga ma'lumotlar, maqsad va chegaralar

juda murakkab yoki yomon aniqlanganlik hamda shu sababli aniq matematik tavsifning berilmasligi kiradi.

Dinamik tizimlarning noaniq modellari ishlatilishi mumkin bo'lgan vaziyatlarni ko'rsatib o'tamiz:

- jarayonni sifatli aks ettiradigan va bevosita noaniq mantiqiy qoidalar to'plamini qurish imkonini beradigan lingvistik tavsifga ega bo'linadigan vaziyatlarda;

- boshqariluvchi jarayon xulqini tavsiflaydigan ma'lum tenglamalarga ega bo'linganda, lekin bu tenglamalarning parametrlari aniq identifikatsiyalanmasligi mumkin;

- jarayonni tavsiflovchi ma'lum tenglama juda murakkab hisoblanganda, bu tenglamalar lingvistik modellarni qurish uchun noaniq tarzda aks ettirilgan bo'lishi mumkin;

- kirish/chiqish ma'lumotlari asosida tizim xulqining noaniq mantiqiy qoidalari baholanadigan vaziyatlarda.

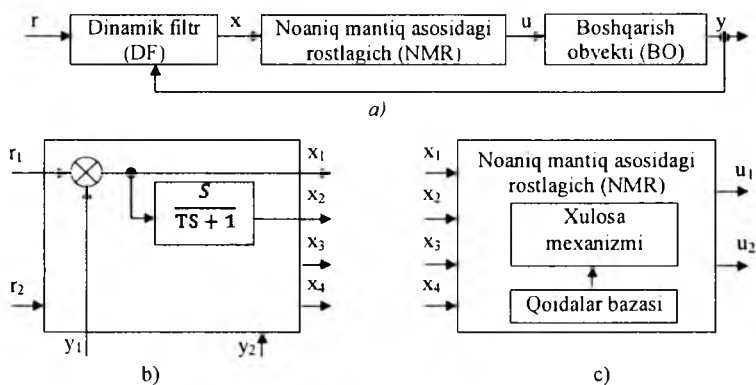
Noaniq mantiq algoritmlarini real texnik obyektlarni boshqarishga amaliy qo'llashning birinchi natijalari, eslatib o'tganimizdek, 1974 - yilda professor Mamdanining [10] elektr stansiyalaridagi bug' generatorlarini rostlash muammolariga bag'ishlangan ishida nashr etilgan edi. Bu ishda noaniq boshqarish tizimining klassik strukturaviy sxemasi taklif etilgan edi (2.2.1-rasm).

Ushbu holda noaniq boshqarish (fuzzy control) deganda obyektning faoliyatiga nisbatan empirik orttirilgan bilimlarga asoslanuvchi boshqarish strategiyasi tushuniladi va u ba'zi qoidalar to'plami ko'rinishidagi lingvistik shaklda beriladi.

2.2.1-rasmda: DF – dinamik filtr, u boshqarish xatoligi signallari $x_1=r_1-y_1$ va $x_3=r_2-u_2$ dan ularning hosilalari $\dot{x}_2=\dot{x}_1$ va $\dot{x}_4=\dot{x}_3$ ni ajratadi; NMR – noaniq mantiq asosidagi rostlagich ("noaniq rostlagich" o'zida bilimlar bazasi (qoidalar bazasi) va mantiqiy xulosa mexanizmlarini biriktiradi); $r=(r_1, r_2)^T$, $X=(x_1, x_2, x_3, x_4)^T$, $u=(u_1, u_2)^T$ va $y=(y_1, y_2)^T$ – mos ravishda ta'sirlar, NMR kirish va chiqishlari, shuningdek boshqarish obyekti (ya'ni bug' generatori) chiqishlarini beruvchi vektorlar; t – vektorni transponirlash operatori.

NMR kirish va chiqishlari sifatida quyidagilar olinadi: $x_1=P_E$ - bug' qozonidagi (y_1) bosimning talab etilgan qiymat(r_1)ga nisbatan og'ishi; $x_2=C_{PE} - R_E$ parametrlarning o'zgarish tezligi; $x_3=S_E$ - bosim (u_2) ning unga berilgan qiymat (r_2) ga nisbatan o'zgarish tezligining

og'ishi; $x_s = C_{SE}$ - SE ning o'zgarish tezligi; $u_l = H_c$ - bug'ni qizitish darajasining o'zgarishi; $U_2 = T_s$ - drossel holatining o'zgarishi.



2.2.1-rasm. Noaniq boshqarish tizimining strukturali sxemasi.

Mamdani bu kattaliklarni xuddi lingvistik o'zgaruvchilar kabi qabul qilishini taklif etgan bo'lib, ularning har biri quyidagi to'plam qiymatlaridan birini qabul qilishi mumkin:

$$L = \{NB, NM, NS, NO, PO, PS, PM, PB\}.$$

Bu yerda: belgilashdagi birinchi harf sonli o'zgaruvchining ishorasini ko'rsatadi va inglizcha negative ("manfiy") yoki positive ("musbat") so'zlariga, ikkinchi harflar esa o'zgaruvchilarning mutloq qiymatlari: big ("katta"), middle ("o'rtacha"), small ("kichik") yoki O ("nolga yaqin") so'zlariga mos keladi. Masalan, NS belgisi "manfiy kichik" degan ma'noni anglatadi.

Ko'rib chiqilayotgan boshqarishning intellektual tizimlari (BIT) har bir vaqt momentida ikkita algoritmdan birini ishlatadi: ulardan birinchisi bug'ni qizdirish N_c ni o'zgartirish yo'li bilan qozondagi bosimni rostlashni amalga oshirsa, ikkinchisi esa rostlanuvchi drossel holati T_s ni o'zgartirish yordamida bosimning talab etilgan o'zgarish tezligini qo'llab quvvatlaydi.

Algoritmning har biri tabiiy tilda quyidagi tiplar kabi yozilgan, qoidalar qatoridan tashkil topadi: "Agar qozondagi bosimning og'ishi katta, ishorasi manfiy hamda bu og'ish katta yoki o'rtacha tezlik bilan kamaymasa, Unda bug'ni qizdirish darajasini kuchli oshirish zarur". Yoki: "Agar bosimning o'zgarish tezligi me'yordagidan sal kamroq

va u keskin oshayotgan bo'lsa, Unda drosselning holatini yetarlicha kichik miqdorda musbat tomonga o'zgartirish zarur".

Yuqorida keltirilgan belgilanishlardan foydalanib, bu qoidalarini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

"AGAR ($P_E=NB$ VA $C_{PE}=EMAS$ (NB YOKI NM)), UNDA $N_S=RV$ ";

"AGAR ($S_E=NO$ VA $C_{SE}=PB$)), UNDA $T_C=PS$ ".

Bunda ko'rib o'tilgan noaniq boshqarish algoritmlarini amalga oshirish, teskari aloqa konsepsiyasi (feed-back control) asosida qurilgan klassik ("qattiq") algoritmlardan tubdan farq qiladi, chunki klassik algoritmlar ba'zi berilgan funksional bog'liqlik yoki differensial tenglamalarni ishlab chiqadi.

Noaniq rostlagich o'ziga odatda tajribali va aqlli xizmat ko'rsatuvchi personal bajaradigan funksiyalarni oladi. Bu funksiyalar tizim xulqining sifatli baholari, o'zgarayotgan joriy vaziyat tahlili va bu vaziyat uchun obyektни boshqarishning eng maqbul yo'lini tanlash bilan bog'liq. Boshqarishning ushbu konsepsiyasi ilgari boshqarish (yoki ogohlantiruvchi) (feed-forward control) deb nom oldi.

Noaniq rostlagichning blok-sxemasi umumiy ko'rinishda 2.1.1-rasmdagi holatni qabul qiladi. Ushbu sxemaga muvofiq $u_1, u_2, \dots, u_m$ boshqarish ta'sirlarini shakllantirish quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:

- boshqariluvchi koordinatalar va ularning o'zgarish tezliklarini og'ishi olinadi – $x_1, x_2, \dots, x_n$;

- bu ma'lumotlarni "fazzifikatsiyalash", ya'ni olingan bilimlarni lingvistik o'zgaruvchilar shaklidagi noaniq ko'rinishga o'tkazish;

- qoidalar bazasida yozilgan mantiqiy xulosaning oldindan shakllantirilgan qoidalari asosida $u_1, u_2, \dots, u_m$ chiqish o'zgaruvchilarining noaniq (sifatli) qiymatlarini aniqlash (ularning noaniq to'plamlariga mos keluvchi tegishlilik funksiyalari ko'rinishida);

- "defazzifikatsiyalash", ya'ni obyektlarni boshqarish uchun ishlatiladigan $u_1, u_2, \dots, u_m$ chiqishlarning real sonli qiymatlarini hisoblash.

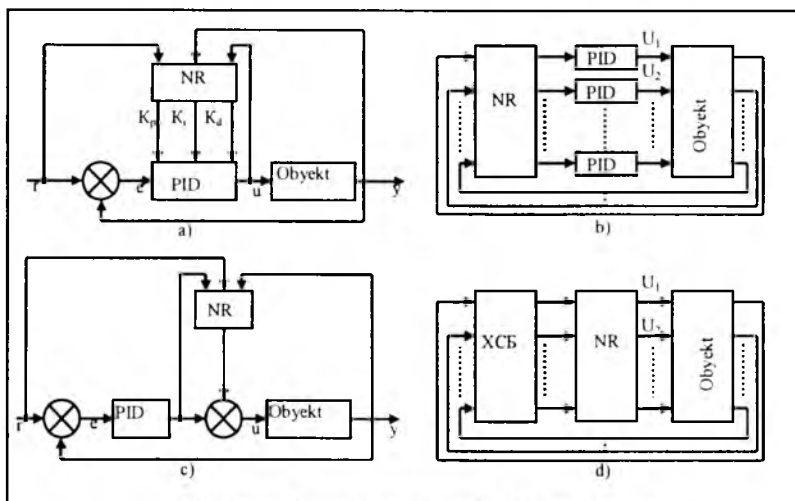
Noaniq boshqarishdan foydalanishning keltirilgan varianti bilan birgalikda noaniq rostlagichli BIT larini qurishga bo'lgan boshqa yondashuvlar ham mavjud. Rostlashning klassik nazariyasida chiqish

signali quyidagi formula bilan aniqlanadigan proporsional-integral-differensial (PID) rostlagichlardan foydalanish keng tarqaldi:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

bu yerda parametrlar K_p , K_i va K_d mos ravishda boshqariluvchi u ning proporsional, integral va differensial tashkil etuvchilarini tavsiflaydi. u ning parametrlari, rostlashning berilgan sifat ko'rsatkichlari (rostlash aqti, qayta rostlash, o'tish jarayonining so'nishi) dan kelib chiqib, tanlanishi lozim.

2.2.2, a-rasmda PID-rostlagichning ko'rsatilgan parametrlarini avtomatik sozlash (moslash) uchun naniq rostlagichdan foydalanish imkoniyatlari keltirilgan.



2.2.2-rasm. Noaniq rostlagichli BIT strukturası.

NR ni qo'llashning boshqa variantlari: oddiy rostlagichlarning topshiriqlarni shakllantirish (2.2.2, b- rasm); PID – rostlagichlarni parallel ulash (2.2.2, c-rasm); datchiklardan olingan xarakteristik signallar va ularning qiymatlarini akslantirish asosida ularning dastlabki baholari (xarakteristik signallarning baholari –XSB) ni boshqarish; noaniq mantiq algoritmlari yordamida axborotlarga so'nggi ishlov berish (2.2.2, d- rasm).

Noaniq rostlagichlarni qo'llashga asos sifatida quyidagilar olinadi: tahlil qilinadigan (baholanadigan) kirish parametrlari sonining ko'pligi; boshqarish ta'sirlari sonining ko'pligi (ko'p o'lchamlilik); kuchli g'alayon; nochiziqlilik; rostlash dasturlarining matematik modellarini noaniqligi, shuningdek "know – how" texnik bilimlaridan foydalanish imkoniyatlari.

Yana bir marta noaniq rostlagichlardan foydalanishning, an'anaviy boshqarish algoritmlari [11,12] bilan solishtirganda, samaraliroq sohalarini keltirib o'tamiz:

- avtomatlashtirish bilan bog'liq bo'lmagan, "know – how" ni qo'llashni talab etadigan ilovalar (holatlar), masalan, pivopazlik (mahsulot sifatini oshirish maqsadida ekspert bilimlaridan foydalanish mumkin), ko'tarma kranlar (ishchi shaxsning unumdorligini oshirish uchun) va shu kabilar;

- matematik modellar ishlay olmaydigan ilovalar (matematik tavsifga tushmaydigan o'ta murakkab jarayonlar, boshqarish uchun empirik bilimlar bilan bir qatorda olingan o'lchash axborotlaridan foydalaniladi);

- standart rostlagichlar yaxshi ishlaydigan ilovalar, biroq, bu holda noaniq mantiq asosida boshqarish rostlash masalasini yechishning muqobil yechimlarini taklif etadi va lingvistik o'zgaruvchilar bilan ishlash imkonini beradi, optimallashtirish uchun keng imkoniyatlarni ta'minlaydi.

2.3. Noaniq rostlagichlar

Noaniq rostlagich (inglizcha fuzzy controller) – noaniq mantiq asosida qurilgan rostlagich.

Noaniq boshqarish (noaniq to'plamlar nazariyasi usullari asosida boshqarish) boshqarish obyekti haqida bilim yetarli bo'lmaganda, lekin ularni boshqarish bo'yicha tajribaga ega bo'linganda ishlatiladi. Asosan bunga identifikatsiyalash nihoyatda qiyin bo'lgan, shuningdek, masala shartiga ko'ra ekspert bilimlaridan foydalanish zarur bo'lgan hollardagi nochiziqli tizimlar kiradi. Malakali operator bunday obyektlarni asboblarning ko'rsatishlari va to'plangan tajribadan foydalanib, juda yaxshi boshqaradi.

Operatoridan olinadigan axborot so'z bilan ifolanganligi bois ulardan PID-rostlagichlarda foydalanish uchun lingvistik

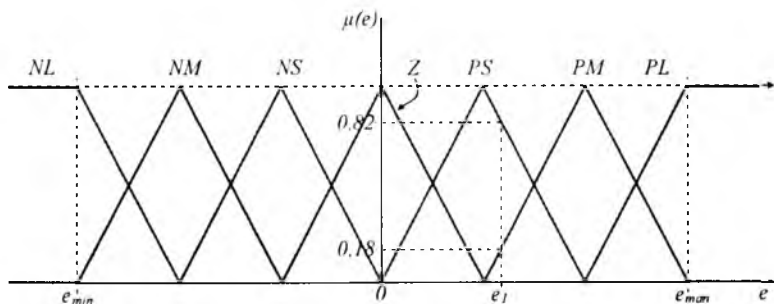
o'zgaruvchilardan va noaniq to'plamlar nazariyasi apparatidan foydalaniladi.

Noaniq rostlagichlarni qo'llash sohasi doimo kengayib, ularning strukturalari va bajaradigan funksiyalari xilma-xilligi oshib bormoqda.

PID-rostlagichlarda noaniq mantiq ikki yo'lda samarali qo'llanilmoqda: rostlagichni o'zini qurish uchun hamda PID-rostlagich koeffitsiyentlarini sozlashni tashkil etish uchun; ikkalasi ham bir vaqtda PID-kontrollerida ishlatilish mumkin.

Rostlagich kirishiga xatolik e kelib tushadi va uning vaqt bo'yicha hosilasi de/dt hisoblanadi. Dastlab kattaliklarning ikkalasi ham fazzifikatsiyalanadi (noaniq o'zgaruvchilarga o'zgartiriladi), keyin olingan noaniq o'zgaruvchilar boshqarish ta'sirini ishlab chiqish uchun noaniq mantiqiy xulosa blokida ishlatiladi, defazzifikatsiya (noaniq o'zgaruvchilarni qaytadan aniq o'zgaruvchilarga o'zgartirish) dan so'ng rostlagichning chiqishiga boshqarish ta'siri u sifatida kelib tushadi.

Noaniq mantiq usullarini qo'llash uchun, yuqorida aytib o'tganimizdek, aniq o'zgaruvchilarni noaniq o'zgaruvchilarga o'zgartirish, ya'ni fazzifikatsiyalash lozim, bu 2.3.1-rasmda aks ettirilgan. O'zgaruvchi e ning o'zgarish diapazoni NL, NM, NS, Z, PS, PM, PL to'plamlarga (ostto'plamlarga) ajratiladi va ularning har biri ushbu to'plamda e o'zgaruvchiga nisbatan tegishlilik funksiyalariga ega bo'ladi.



2.3.1-rasm. O'zgaruvchi e ning o'zgarish sohasini uchburchak shakliga ega bo'lgan $\mu(e)$ tegishlilik funksiyali NL, NM, NS va shu kabi to'plamlarga ajratish.

Rasmda tegishlilik funksiyalari ko'proq tarqalgan uchburchak shakliga ega, umumiy hollarda ular yechilayotgan masalaning mohiyatiga ko'ra ixtiyoriy bo'lishi mumkin. To'plamlar soni ham ixtiyoriy bo'lishi mumkin. Agar xatolik e noaniq rostlagichning kirishida e_1 ga teng bo'lsa, unda mos noaniq o'zgaruvining qiymati PS ga, tegishlilik darajasi esa $\mu(e_1)=0.82$, yoki tegishlilik darajasi $\mu(e_1)=0.18$ bo'lgan PM ga teng bo'ladi. Xatoligi e_1 bo'lgan boshqa (Z , PL , NS va b.) to'plamlarning tegishlilik darajasi nolga teng bo'ladi. Shunday qilib, xatolik e_1 noaniq o'zgaruvchiga o'zgartirilgan hisoblanadi.

Noaniq o'zgaruvchilar ustida, operator tomonidan aytilgan fikrlar asosida qurilgan va noaniq qoidalar ko'rinishida shakllantirilgan amallar bajarilishi kerak [17,18]. Noaniq qoidalar va noaniq o'zgaruvchilar to'plami noaniq mantiqiy xulosa chiqarish uchun ishlatiladi va natijada obyektga beriladigan boshqarish ta'siri ishlab chiqiladi. Noaniq xulosa quyidagicha bajariladi. Faraz qilamiz, e xatolikning o'zgarish sohasi N , Z , P to'plamlarga bo'lingan; boshqarish ta'sirlarini o'zgarish sohasi – NL , NM , Z , PM , PL to'plamlarga va ekspert yordamida rostlagich ishlashining quyidagi qoidalari shakllantirilgan:

- 1-qoida: Agar $e=N$ va $de/dt = P$ bo'lsa, Unda $\tilde{u}=z$ bo'ladi;
- 2-qoida: Agar $e=N$ va $de/dt = Z$ bo'lsa, Unda $\tilde{u}=NM$ bo'ladi;
- 3-qoida: Agar $e=N$ va $de/dt = N$ bo'lsa, Unda $\tilde{u}=NL$ bo'ladi;
- 4-qoida: Agar $e=Z$ va $de/dt = P$ bo'lsa, Unda $\tilde{u}=PM$ bo'ladi;
- 5-qoida: Agar $e=Z$ va $de/dt = Z$ bo'lsa, Unda $\tilde{u}=Z$ bo'ladi;
- 6-qoida: Agar $e=Z$ va $de/dt = N$ bo'lsa, Unda $\tilde{u}=NM$ bo'ladi;
- 7-qoida: Agar $e=P$ va $de/dt = P$ bo'lsa, Unda $\tilde{u}=PL$ bo'ladi;
- 8-qoida: Agar $e=P$ va $de/dt = Z$ bo'lsa, Unda $\tilde{u}=PM$ bo'ladi;
- 9-qoida: Agar $e=P$ va $de/dt = N$ bo'lsa, Unda $\tilde{u}=z$ bo'ladi.

Keltirilgan qoidalar ko'pincha ixcham shaklda yoziladi (2.3.1-jadval).

2.3.1 -jadval.

Noaniq qoidalarni jadval shaklida keltirish

e	de / dt			
		P	Z	N
	N	Z	NM	NL
	Z	PM	Z	NM
	P	PL	PM	Z

Bu qoidalaridan foydalanib, noaniq rostlagichning chiqishidagi boshqarish ta'siri $\tilde{u}$ ning qiymatini olish mumkin. Buning uchun $\tilde{u}$ o'zgaruvchining tegishlilik funksiyasini topish zarur, u qoidalar tizimiga kiruvchi to'plamlar ustida xulosalash amallarini bajarish orqali hosil qilinadi.

Bu qoidalarda "VA" amali to'plamlarning kesishuviga mos keladi, barcha qoidalarni qo'llash natijasi esa to'plamlarni birlashtirish amaliga to'g'ri keladi. Ikki to'plam, masalan N va P ning kesishuvi uchun tegishlilik funksiyasi quyidagicha topiladi (1-qoida):

$$\mu_{e \cap de / dt} = \min(\mu_e, \mu_{de / dt}),$$

ya'ni to'plamlar kesishuvining tegishlilik funksiyasi qiymati qavs ichida turgan ikki funksiyadan eng kichik qiymatlisining qiymatiga teng.

Ushbu to'plamlarning birlashuvi uchun tegishlilik funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\mu_{e \cup de / dt} = \max(\mu_e, \mu_{de / dt}).$$

To'plamlarning kesishuvi yoki birlashuvining tegishlilik funksiyalari yechilayotgan masalaning mohiyatidan kelib chiqib, boshqa usullar bilan ham aniqlanishi mumkin. Bu jihatdan noaniq to'plamlar nazariyasining o'zi ham noaniq hisoblanadi. [13] ishda to'plamlarning kesishuvi uchun tegishlilik funksiyalarini aniqlashning 10 xil ta'riflari keltirilgan, lekin ulardan qaysi birini aniq masala uchun tanlash zarurligi aytilmagan. Ko'pincha, to'plamlar kesishgan yoki birlashgan hollar uchun tegishlilik funksiyalarini topishning tushunarli, ehtimollikning ko'paytirish va qo'shish qoidalariga o'xshash amali ishlatiladi:

$$\mu_{e \cap de / dt} = \mu_e \cdot \mu_{de / dt},$$

$$\mu_{e \cup de / dt} = \mu_e + \mu_{de / dt} - \mu_e \cdot \mu_{de / dt}.$$

Biroq, tegishlilik funksiyalarini topishning birinchi ikki usuli afzalroq, chunki bunda odatdagi to'plamlar uchun ishlab chiqilgan qoidalarning ko'pchiligi saqlanib qolgan.

Qoidalaridagi noaniq o'zgaruvchi $\tilde{u}$ tarkibiga kirgan NL , NM , Z , PM , PL to'plamlarning har biri uchun tegishlilik funksiyalari quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\begin{aligned}\mu_{\pi_1}(\tilde{u}) &= \min\{\mu_{u_1}(\tilde{u}), \min(\mu_{e_1}(e), \mu_{de/dt_1}(de/dt))\}, \\ \mu_{\pi_2}(\tilde{u}) &= \min\{\mu_{u_2}(\tilde{u}), \min(\mu_{e_2}(e), \mu_{de/dt_2}(de/dt))\}, \\ &\dots\dots\dots \\ \mu_{\pi_9}(\tilde{u}) &= \min\{\mu_{u_9}(\tilde{u}), \min(\mu_{e_9}(e), \mu_{de/dt_9}(de/dt))\}.\end{aligned}$$

Bu yerda to'qqizta tenglamalarning har biri bitta qoida (2.1.1) ga mos keladi. Barcha qoidalarni qo'llashdan so'ng olingan, boshqarish ta'sirining natijalovchi tegishlilik funksiyasi barcha qoidalar tegishlilik funksiyalarining qo'shilmasi kabi aniqlanadi:

$$\mu(\tilde{u}) = \max\{\mu_{\pi_1}(\tilde{u}), \mu_{\pi_2}(\tilde{u}), \dots, \mu_{\pi_9}(\tilde{u})\}.$$

Endi, boshqaruvchi ta'sir u ning natijalovchi tegishlilik funksiyasi olingandan so'ng, boshqaruvchi ta'sirning qaysi aniq qiymatini tanlash lozim degan savol tug'iladi. Agar noaniq to'plamlar nazariyasining ehtimolli interpretatsiyasidan foydalanilsa, unda boshqarish ta'sirining aniq qiymatini uning matematik kutilmasiga o'xshash tarzda quyidagicha olish mumkinligi tushunarli bo'ladi:

$$u = \frac{\int_{u_{\min}}^{u_{\max}} \tilde{u} \mu(\tilde{u}) d\tilde{u}}{\int_{u_{\min}}^{u_{\max}} \mu(\tilde{u}) d\tilde{u}}.$$

Defazzifikatsiyalashning bunday usuli eng keng tarqalgan, lekin yagona emas.

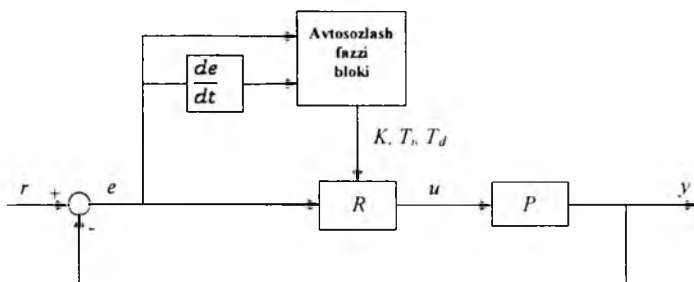
Noaniq rostlagichlarni qurishda odatda rostlashning P, I, PI va PD, PD+I, PI+D va PID-qonunlaridan foydalaniladi. Noaniq xulosa tizimlarida kirish signallari sifatida xatolik signali, xatolik orttirmasi, xatolik kvadrati va xatolikdan olingan integral ishlatiladi [9]. Noaniq PID-rostlagichni amalga oshirish muammolar tug'diradi, chunki u o'z tenglamasidagi uchta qo'shiluvchiga mos ravishda qoidalarning uch o'lchamli jadvalini to'ldirishni talb etadi, bu esa ekspert javoblaridan foydalanib, juda murakkab holda to'ldiriladi.

Noaniq rostlagichni tugal sozlash (yoki optimalga yaqin sozlash) hozirgacha qiyin masala bo'lib qolmoqda. Buning uchun katta hisoblash manbalari va ko'p vaqt talab etadigan o'qitish algoritmlari va genetik qidirish usullaridan foydalanilmoqda.

Rostlagich parametrlarini hisoblashning ma'lum uslubiyati uni keyingi sozlashlar yordamida yaxshilanishi mumkin, bu dastakli

qoidalar asosida operator tomonidan yoki noaniq mantiq bloki yordamida avtomatik bajarilishi mumkin (2.3.2-rasm).

Ushbu holda, noaniq mantiq bloki (fazzi-blok) qurish qoidalari bazasi va noaniq xulosa usullaridan foydalanadi. Fazzi-qurish qayta rostlanishni kamaytirish, qaror rejim o'rnatilishi vaqtini kamaytiradi va PID-rostlagichning robustligini oshiradi [14].



2.3.2-rasm. Noaniq mantiq usuli asosidagi avtosozlanish blokiga ega PID-rostlagichning strukturasi.

Noaniq mantiq bloki yordamida avtosozlash jarayoni rostlagich ko'effitsiyentlari (sozlash parametrlari) ning boshlang'ich yaqinlashuvini qidirishdan boshlanadi: kuchaytirish ko'effitsiyenti K , izodrom vaqti T_n , xabar berish vaqti T_d . Bu odatda berk tizim va sirtmoqli kuchaytirishdagi xususiy tebranishlar davridan kelib chiqqan holda Zigler-Nikols usuli orqali bajariladi. Keyin rostlagichning sozlash parametrlarini optimal qiymatlarini qidirish uchun zarur bo'lgan mezonli funksiya shakllantiriladi.

Rostlagichni sozlash jarayonida bir nechta qadam bajariladi [15]. Dastlab, avtosozlash blokining kirish va chiqish signallari diapazonlari, qidirilayotgan parametrlarning tegishlilik funksiyalari shakllari, noaniq xulosa qoidalari, mantiqiy xulosa mexanizmi, defazzifikatsiya usuli va aniq o'zgaruvchilarni noaniq o'zgaruvchilarga o'tkazish uchun zarur bo'ladigan masshtabli ko'paytuvchilar diapazonlari tanlanadi.

Rostlagich parametrlarini qidirish optimallashtirish usullari bilan bajariladi. Buning uchun maqsad funksiyasi rostlash xatolikasi kvadratlari va o'rnatish vaqti yig'indisidan olingan integral kabi

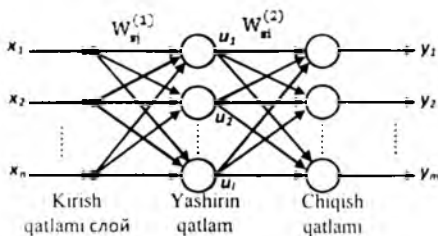
tanlanadi. Minimallashtirish mezoniga baʼzida obyektning chiqish oʻzgaruvchisining oʻsish tezligi qoʻshiladi.

Qidirilayotgan parametrlar sifatida tegishlilik funksiyasining maksimumlar holati (2.3.1-rasm) va fazzi-blokning kirish va chiqishidagi koeffitsiyentlar tanlanadi. Optimallashtirish masalasiga tegishlilik funksiyalari pozitsiyalarini oʻzgarish diapazoniga boʻlgan chegaralanishlar qoʻshiladi. Maqsad funksiyasini optimallashtirish genetik algoritmlar yordamida bajarilishi mumkin [16].

2.4. Neyronli rostlagichlar

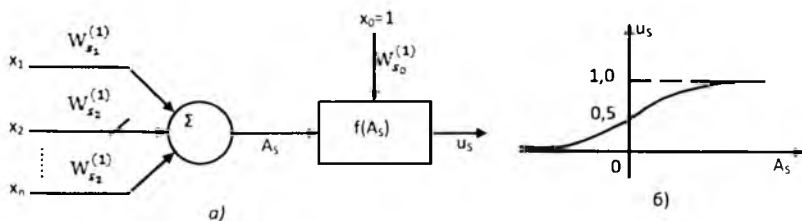
Boshqarishning intellektual tizimlarini qurishning yangi imkoniyatlari sunʼiy neyron tarmoqlarini qoʻllash orqali ochilmoqda va ular texnikada – timsollarni tanish, bashoratlash, optimallashtirish, shovqinlar borligida signallarga ishlov berish kabi masalalarni yechishda keng qoʻllanilmoqda.

Boshqarish tizimlarida qoʻllanilishi mumkin boʻlgan neyron tarmoqlarining bir nechta turlari mavjud [9]. 2.4.1-rasmda 1958 - yilda F.Rozenblatt tomonidan taklif etilgan va koʻp qatlamli perseptron (multilayer perceptron) deb nom olgan neyron tarmoq (NT) ning taqsimlangan strukturasi keltirilgan.



2.4.1-rasm. Neyron tarmogʻi (NT) ning strukturali sxemasi.

Neyron tarmoqlari 1943 - yilda Mak-Kallok va Pittslar tomonidan insonning asab faoliyati va biologik neyronlarni oʻrganish natijasi sifatida taklif etilgan.



2.4.2-rasm. Neyronning modeli va $f(A_s)$ funksiyaning ko'rinishi.

Neyronning modeli 2.4.2-rasmda keltirilgan bo'lib, unda X_j ($j=1,2,\dots,n$) – NT ning kirishlari; $x_q=i$ - konstanta (o'zgarmas kirish); $w_{sj}^{(1)}$ - o'sib boruvchi koeffitsiyentlar (vazn); A_s – NT kirish kattaliklarining muallaq yig'indisi; $f(A_s)$ – ixtiyoriy darajada tanlanadigan noxiziqli funksiya.

2.4.2. b-rasmda “sigmoid” funksiya $f(A_s)$ deb ataladigan, va quyidagi xossalarga ega bo'lgan neyronni faollashtirish funksiyasi tasvirlangan: $f(A_s)$ – nomanfiy, monoton o'suvchi funksiya, $A_s=0$ bo'lganda asimptotik 1 qiymatni, $f(0)=0,5$ bo'lganda ham 1 ni qabul qiladi. Funksiya $f(A_s)$ analitik ifoda:

$$f(A_s) = \frac{1}{1 + \exp(-A_s)}.$$

NT ning chiqish qatlamida joylashgan neyronlar ham shunga o'xshash strukturaga ega bo'ladi. Bu neyronlarning xossalari quyidagi tenglama bilan tavsiflanadi:

$$y_i = f\left(\sum_{s=0}^I w_{is}^{(2)} u_s\right), \quad (i=1,2,\dots,m),$$

bu yerda $U_c=1$ - o'zgarmas; $w_{is}^{(2)}$ - vazn koeffitsiyentlari (mos aloqalar – sinapslarning vazni); I va m – mos ravishda yashirin va chiqish qatlamlaridagi neyronlar soni.

Zamonaviy texnik NT lardagi sun'iy neyronlar soni 10^4 ga yetadi (inson miyasi 10^{11} ga yaqinroq neyronlar va ular o'rtasidagi 10^{15} dan ortiq aloqalarga ega). NT ning asosiy xossasi – o'qish jarayonida o'zining xossalarini istalgan yo'nalishda o'zgartira olishi hisoblanadi (o'zining vazn koeffitsiyentlari $w_{ij}^{(1)}$, $w_{ij}^{(2)}$ ni o'zgartirish hisobiga). O'rganish jarayonining o'zi quyidagicha yuz beradi. NT ning kirishiga ma'lumotlar $x_1, x_2, \dots, x_n$ lar keladi va ular uchun NT ning $y_1, y_2, \dots, y_m$

kutilgan reaksiyalari ma'lum. Keyin tarmoqning ushbu kirish ta'sirlariga bo'lgan chiqish reaksiyalari $y_1, y_2, \dots, y_n$ va xatoliklar vektorlari $e = (e_1, \dots, e_n)^T$ aniqlanadi, bu xatoliklarning komponentlari o'zida NT ning chiqishlarini amaldagi va kutilgan qiymatlari orasidagi farqni namoyon etadi:

$$e_i = y_i^* - y_i, \quad (i = 1, 2, \dots, m).$$

Ko'rsatilgan xatoliklarning kvadratlari yig'indisiga teng bo'lgan funksiya tuziladi va jarayon takrorlanadi. Natijada, $(m+n)$ o'rganilayotgan ma'lumotlar $(x_{1k}^*, x_{2k}^*, \dots, x_{nk}^*; y_{1k}^*, y_{2k}^*, \dots, y_{mk}^*)$ dan olingan, har bir ko'rib chiqilayotgan k -to'plam uchun xatoliklar kvadrlarining yig'indi qiymati aniqlanadi:

$$E_k = \sum_{i=1}^m [y_{ik}^* - y_{ik}]^2. \quad (2.4.1)$$

Vazn koeffitsiyentlarini sozlashdan maqsad – xatoliklar yig'indisi E_k ni kamaytirish bo'lib, buning uchun ko'pincha optimallashtirishning gradiyentli usuli ishlatiladi. Ushbu usulga muvofiq, optimallashtirishning $(k+1)$ - va k -davridagi vazn koeffitsiyenti W ning aniq qiymatlari o'zaro quyidagi munosabat orqali bog'langan:

$$W_{k+1} = W_k - \alpha \cdot \frac{\partial E}{\partial W} = W_k - \alpha \cdot \frac{\Delta E_k}{\Delta W_k},$$

bu yerda parametr α jarayonning muvofiqlik tezligiga ta'sir qiladi (odatda $0.1 < \alpha < 1.0$; $\Delta E_k = E_k - E_{k-1}$; $\Delta W_k = W_k - W_{k-1}$ bo'lishi tavsiya etiladi).

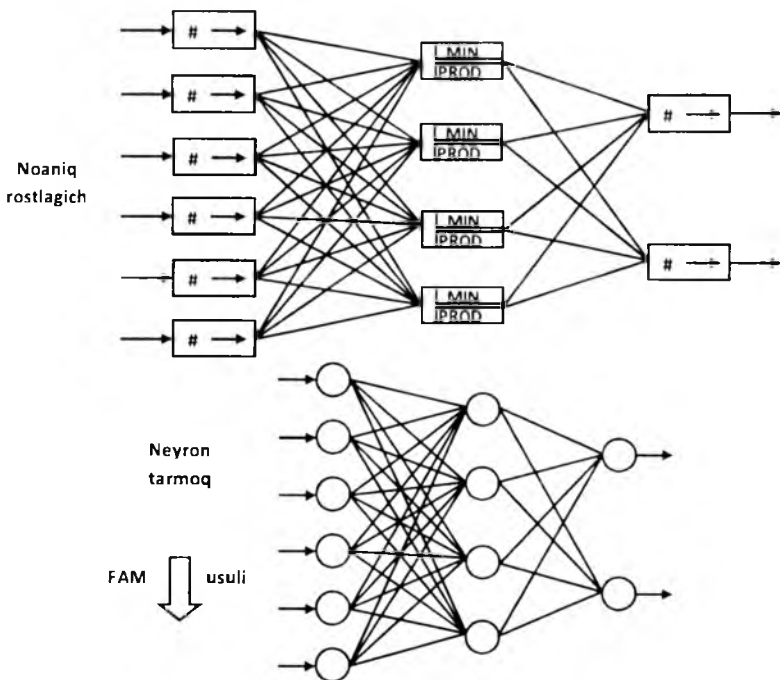
O'rganiladigan ma'lumotlarning katta sonida koeffitsiyentlarning moslashishi uchun (2.4.1) algoritmi ishlatgan holda, xatoliklar kvadratlari yig'indisini kichik qiymati E ga, ya'ni NT ning amaldagi va etalon reaksiyalarining yaxshi mos tushishiga erishish mumkin.

NT vazn koeffitsiyentlarining moslashish algoritmlarini turli variantlari mavjud bo'lib, ulardan eng keng tarqalgani xatoliklarni teskari taqsimlash usuli hisoblanadi [9]. Bu algoritmlarni amalga oshirishda, masalan, transpyuterlarda parallel hisoblashdan foydalanish mumkin, bu NT ning imkoniyatlaridan to'la foydalanish imkonini beradi.

NT ni qurishning qisman empirik yechiladigan asosiy muammolari – qatlamlar sonini va har bir qatlamdagi neyronlar sonini

tanlash, o'rganiladigan ma'lumotlarning eng samarali to'plamini va ularni NT ga taqdim etish ketma-ketligini tanlash va moslashish algoritmini amalga oshirish hisoblanadi.

NT ning parallel strukturasi, noaniq osto'plamlarni aks ettirishda, ularning tegishlilik funksiyalari kirish neyronlari sifatida berilgan boshqarishning noaniq tizimlarida ishlatilishi mumkin. 2.4.3-rasmda o'rganuvchi noaniq rostlagichning sxemasi ko'rsatilgan bo'lib, u noaniq assotsiativ tasvirlar usuli (Fuzzy Associated Maps - FAM) asosida olingan va o'rganuvchi neyron tarmoqlariga o'xshab ishlaydi [19].



2.4.3-rasm. FAM usuli bilan o'rganuvchi rostlagichni qurish.

Bu yerda “#” belgi bilan o'zgaruvchilarning “aniq” qiymatlari; “→” belgi bilan esa ularga mos keluvchi noaniq osto'plamlar (termalar) belgilangan. Xulosalar qoidasini bajarish uchun Minimum-Ko'paytma (MIN-PROD) usuli ishlatiladi. O'rganish bosqichida

chiqish mexanizmining kirishi bilan fazzifikatsiya blokining chiqishlarini bog'lovchi, shuningdek chiqish mexanizmi chiqishlari bilan defazzifikatsiya bloki kirishlarini bog'lovchi aloqalarning vazn ko'effitsiyentlari sozlanadi.

Buning uchun NT ni o'rgatishga o'xshash bo'lgan, o'qitishning o'rganuvchi ma'lumotlari va algoritmlari ishlatiladi. O'rganish jarayoni tugagach (bu ancha davrni o'z ichiga olishi mumkin) rostlagich ishga tayyor bo'ladi.

Neyronli tarmoqlar va noaniq mantiq ikki yo'l bilan PID-rostlagichlarda ishlatiladi: rostlagichni o'zini qurishda va uning ko'effitsiyentlarini sozlash blokini qurishda. Neyron tarmog'i o'rganish xususiyatiga ega va bu unga PID-rostlagich ko'effitsiyentlarini sozlash san'atida ekspert tajribasidan foydalanish imkonini beradi. Neyron tarmoqli rostlagich jadvalli rostlagichga o'xshash, ammo neyron tarmoqlar uchun ishlab chiqilgan sozlash (o'rganish) ning maxsus usuli va ma'lumotlarni aks ettirish usuli bilan farqlanadi.

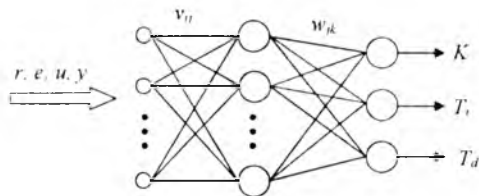
Ekspert sozlash qoidalarini lingvistik o'zgaruvchilarda shakllantirishi lozim bo'lgan noaniq rostlagich holatidan farqli ravishda, neyronli tarmoqlardan foydalanilganda ekspertdan qoidalarni shakllantirish talab etilmaydi, shunchaki uning o'zi rostlagichni neyron tarmog'ini "o'rgatish" jarayonida bir necha marta sozlashi yetarlidir.

Sun'iy neyron o'zida n ta $x_1, x_2, \dots, x_n$ kirish va bitta y chiqishli funksional blokni namoyon etadi va umumiy holda nochiziqli o'zgartirishni amalga oshiradi:

$$y = F\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right),$$

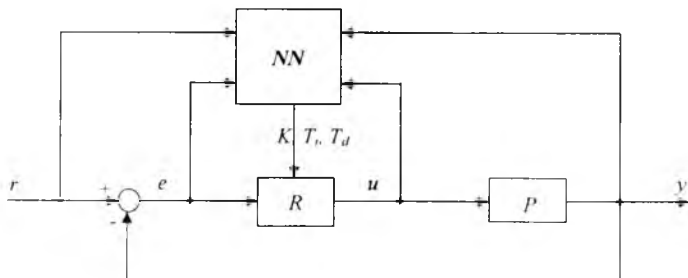
bu yerda w_i – x_i kirish o'zgaruvchilarida vazn ko'effitsiyentlari (parametrlari); b – o'zgarmas siljish; $F(\bullet)$ – neyronning "faollashtirish funksiyasi", masalan, $F(z) = 1/(1 + \exp(-az))$ (sigmoidal funksiya) ko'rinishida, a – biror-bir parametr.

Neyron tarmog'i (2.4.4-rasm) aloqalari minglab bo'lgan o'zaro bog'langan neyronlar to'plamlaridan tashkil topadi. Faollashtirish funksiyasining nochiziqliligi va sozlanadigan ko'effitsiyentlari sonining ko'pligi sababli neyron tarmoqlari kirish signallari to'plamini chiqish signallari to'plamiga nochiziqli aks ettirilishini bajara oladi [20,21].



2.4.4-rasm. Avtosozlash blokidagi neyron tarmog'ining strukturasi.

Avtosozlash bloki sifatida neyron tarmog'i va PID-rostlagichli avtomatik rostlash tizimining tipik strukturasi 2.4.5-rasmda keltirilgan [13]. Ushbu strukturadagi neyron tarmog'i NN funksional o'zgartkich vazifasini bajaradi va har bir r, e, u, y signal to'plamlari uchun PID-rostlagichning K, T_i, T_d koeffitsiyentlarini ishlab chiqadi.

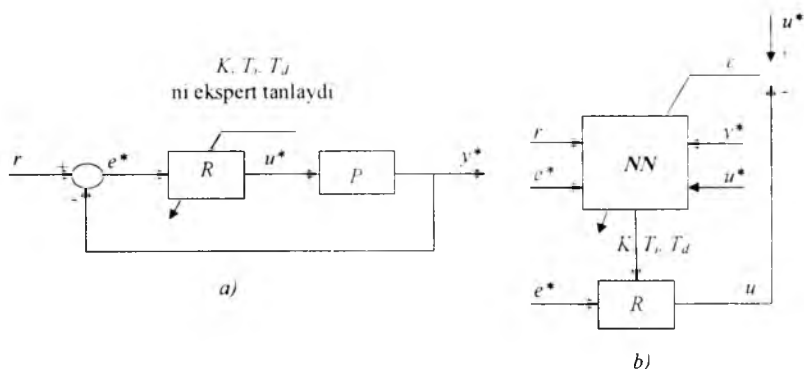


2.4.5-rasm. NN neyron tarmog'i asosidagi avtosozlash blokiga ega PID-rostlagichning strukturasi.

Neyron tarmoqli rostlagichlarni loyihalashdagi eng murakkab amal o'qitish amalidir. "O'qitish" (o'rgatish) amali neyronlarning noma'lum parametrlari w_i, b va a ni identifikatsiyalashdan iborat. Neyron tarmoqlarni o'rgatishda, odatda, neyronlarning parametrlariga bog'liq bo'lgan $\varepsilon = (u^* - u)^2$ kriterial funksiyalari minimumini gradiyentli qidirish usullaridan foydalaniladi. Qidiruv jarayoni iteratsion bo'lib, har bir iteratsiyada tarmoqning barcha koeffitsiyentlari avval chiqish qatlamlari uchun keyin undan oldingisi uchun va shu tarzda birinchi qatlam uchun topiladi (xatolikni teskari taqsimlash usuli). Shuningdek, minimumni qidirishning boshqa

usullari, xususan genetik algoritmlar, “yumshatish”ni modellashtirish usuli va eng kichik kvadratlar usuli ham ishlatiladi.

Neyron tarmoqlarini oʻrganish jarayoni quyidagicha tasvirlanadi (2.4.6-rasm). Ekspertga berk avtomatik rostlash tizimdagi rostlagichning K , T_r , T_d parametrlarini turli $r(t)$ kirish taʼsirlarida qurish imkoniyati beriladi. Ekspert buni sifatli bajara oladi deb faraz qilinadi. Tizimda olingan va ekspert tomonidan qurilgan r , e^* , u^* , y^* oʻzgaruvchilarning vaqtli diagrammalari (ossillogrammalari) arxivga yoziladi va keyin PID-rostlagichga ulangan neyron tarmogʻiga beriladi (2.4.6, b-rasm). Neyron tarmogʻi. ekspert ishtirokida olingan signal u^* va neyron tarmogʻini oʻrgatish jarayonida olingan signal u oʻrtasidagi ε xatolik minimal boʻladigan qilib sozlanadi. Oʻrgatish amallari bajarilgandan soʻng neyron tarmogʻining parametrlari avtosozlash blokiga uzatiladi. Neyron tarmoqlari nazariyasiga koʻra, oʻrgatilgan neyron tarmogʻi oʻrgatish vaqtida signallar toʻplamiga kiritilmagan kirish taʼsirlari berilganda ham oʻzini ekspert kabi tutishi lozim.



2.4.6-rasm. Avtosozlash blokida neyron tarmogʻini oʻrgatish sxemasi.

Oʻrgatish jarayonining davomiyligi neyron tarmoqlari usullaridan PID-rostlagichlarda foydalanish yoʻlidagi asosiy toʻsiq hisoblanadi [18]. Neyron tarmoqlarining boshqa kamchiligi: oʻrgatish vaqtida signallar toʻplamiga kiritilmagan kirish taʼsirlari uchun rostlash xatligini bashoratlashning imkonsizligi hisoblanadi.

2.5. Neyro-noaniq rostlagichlar

Noaniq va neyron tarmoqlarining birlashuvi *neyro-noaniq (neuro-fuzzy)* yoki *noaniq-neyronli (fuzzy-neuro)* deb ataladigan rostlagichlarning yangi sinfini yaratish imkonini beradi va u intellektual boshqarishda muhim rol o'ynaydi. Bu rostlagichlar noaniq algoritmlarning yuqorida ko'rsatilgan afzalliklarini neyron tarmoqlarining ijobiy sifatlari (universallik, yuqori tezkorlik, o'rganish qobiliyati, rad etishlar (buzilishlar)ga turg'unlik) ni uyg'unlashtiradi.

[23] ishda gipertovushli samolyotning uchishi va qurilmalarini boshqarishning intellektual tizimlarini loyihalash uchun neyro-noaniq usullarni qo'llash tavsiflangan. Bu masalani klassik usullar bilan hal etishning deyarli imkoni yo'q, chunki aniq matematik modellarni ishlab chiqish chuqur va uzoq muddat nazariy tadqiqotlarni, havo haydash, devorlarga oid va yozgi sinov natijalarini tahlil etish va shu kabilarni talab etadi. Qo'shimcha murakkabliklar erkinlik darajasi sonini oshishi (tyaga va boshqalar vektorini boshqarish), hisobga olinmagan uchish rejimlarining yuzaga kelishi (masalan, $\max a > 10$ sonli tezliklarda), noturg'un rejimlarda aerodinamik sirtlarni boshqarishga bo'lgan chegaralanishlar bilan bog'liq.

Ushbu holda neyronli tarmoqdan foydalanish, samolyotdagi shikastlanish yoki buzilishlar yuz berganda dinamika o'zgaradigan real vaqtda (samolyotning nochiziqli dinamikasini e'tiborga olgan holda) tizim tavsiflarini identifikatsiyalash imkonini beradi.

Noaniq rostlagichlar samolyot va uning qurilmalarini uchish sharoiti o'zgarishining keng diapazonida adaptiv, nochiziqli boshqarishni, jumladan kritik vaziyatlar yuz berganda uchish xavfsizligini ta'minlaydi.

Ixtiyoriy sun'iy intellektning asosiy belgisi unda bilimlar bazasi (BB) ning mavjudligi hisoblanadi. Noaniq rostlagichlar uchun BB noaniq mahsuliy qoidalar to'plami shaklida, neyronli rostlagichlar uchun esa ma'lum topologiyali NT ning neyronli vaznlari shaklida hosil qilinadi. Boshqaruvchi BB ni sintezlash masalasining murakkabligi boshqarish obyektining murakkabligiga bog'liq.

Murakkab BB ga ega intellektual rostlagichning ish sifatini tahlil qilish qiyin. Masalan, katta sondagi noaniq qoidalar boshqarish signalini "falaj" qilishi, NT esa bashoratlanmaydigan xossalarni oldindan aniqlashi mumkin. Shuning uchun umumiy holda murakkab

BB ni nisbatan soddaroq tashkil etuvchilarga dekompozitsiyalash, keyin esa ularning signallarini umumiy boshqarish signaliga o'zgartirish foydalidir.

Boshqarish masalasining an'anaviy qo'yilishini ko'rib chiqamiz. Dinamik tizimning holati har bir diskret vaqt momentida obyekt harakat qiladigan fazoni belgilab bersin. Boshqarish masalasining yechimi obyektни boshlang'ich holatdan boshqa berilgan holatga o'tkazish kabi tushuniladi.

Obyektlarning chiziqlantirilgan modellaridan foydalanilganda rostlagich ba'zi berilgan ish nuqtalarida ishlashi mumkin. Masalan, bir o'lchamli tizimlarning PID-rostlagichiga neyronga mos ravishda uchta kirish va chiziqli faollashtirish funksiyalarini qo'yish mumkin. Bunday struktura faqatgina boshqarishning sodda masalalarini yecha oladi.

Intellektual rostlagich (IR) – bu neyronlar to'plamidan foydalanuvchi neyronli rostlagich yoki boshqarish qoidalari to'plamiga ega bo'lgan noaniq rostlagich bo'lib, ish qobiliyatini kengaytiruvchi boshqarishning nochiziqli qonunlarini amalga oshiradi [19,24,25]. Biroq, obyektning butun fazosi uchun boshqarish qonunini tavsiflashda qator qiyinchiliklar yuzaga keladi.

Birinchidan, rostlagichni sintezlash masalasi nihoyatda noaniqlik bilan xarakterlanadi. Katta sondagi „lar uchun noaniq rostlagichlarni sintezlashda mahsuliy qoidalarni qurish muammolar tug'dirishi mumkin, chunki boshqarish qoidalari soni keskin oshib, ularning yetarli miqdorda baholashning imkoni yo'q. Shuningdek qo'yilgan masalani neyronli rostlagich yordamida yechish uchun zarur bo'lgan NT ning minimal strukturasini baholash ham qiyin.

Ikkinchidan, real tizimlar ko'p o'lchamlilik bilan tavsiflanadi. IR ni o'rganishda nafaqat obyektning modeliga, balki jismoniy amalga oshiriladigan etalon jarayonga ham ega bo'lish zarur. Lekin shunda ham katta sondagi kirish va chiqishli IR ni o'rganishni kafolatlash mumkin emas. Masalan, genetik algoritmnı o'rganishda foydalanganda xromosoma uzunligi va qidirish fazosining o'lchami keskin oshib ketadi [26].

Shuning uchun obyektни boshqarish masalasini, alohida ostfazo yoki fazaviy fazoning alohida nuqtalari uchun aniqlangan masalalar to'plami kabi qarash kerak. Bunda masalaning ikkita qo'yilishini farqlash mumkin:

– boshqarish fazaviy fazoning ostfazolarida alohidaligi bo'yicha ko'rib chiqiladi (bunga ko'p aloqali tizimlarni boshqarishning alohida konturlarini mustaqil ishlab chiqish to'g'ri keladi), keyin boshqarish signallari boshqarishning umumiy signaliga moslashtiriladi;

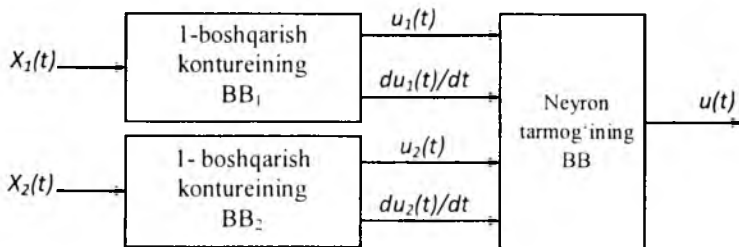
– fazaviy fazoning berilgan trayektoriyasi bo'yicha harakatlanish xuddi fazoviy trayektoriyaaning bir nuqtasidan boshqasiga ko'chish kabi qaraladi. Har bir sohaga lokal rostlagich to'g'ri keladi. Sohalar chegarasida rostlagichlarning ishlashi muvofiqlashtiriladi.

Ko'p aloqali obyekt uchun IR ni qurish variantining ko'rib chiqilayotgan strukturasiga qo'yilgan asosiy g'oya, obyektning turli chiqish o'zgaruvchilari orqali boshqarish qonunlarini mustaqil shakllantirishdan iborat. Boshqarishning xususiy qonunlarini amalga oshiruvchi boshqarishning bir nechta konturlari ishlatiladi va ularning signallari NT yordamida muvofiqlashtiriladi. Bunday yondashuvning afzalliklari quyidagilardan iborat:

– alohida konturlaridagi boshqarish qoidalari oddiy o'rgatish amaliidan so'ng yetarlicha ravshan bo'lishi yoki olinishi mumkin;

– boshqarishning alohida konturlari ko'p kirish (obyektning o'zgaruvchan holatlari) va kam chiqishlari (boshqarish signallari) ega bo'lishi mumkin va bu NT ning nisbatan soddaroq moslashuvidan foydalanish imkonini beradi.

Misol sifatida boshqarishning ikkita teng huquqli konturlarini ko'rib chiqamiz (2.5.1-rasm), unda $X_i(t)$ orqali $X(t)$ holat vektorining alohida komponentlaridan tashkil topgan vektorlar belgilangan.



2.5.1-rasm. Ko'p o'lchamli obyekt uchun bilimlar bazasi (BB) ni dekompozitsiyalashga misol.

Agar BB_1 va BB_2 noaniq mahsuliy qoidalar to'plamidan iborat bo'lsa, unda asosiy afzallik qoidalarning qo'yimlari sonini kamaytirishdan iborat bo'lib, to'la emas, kesilgan holat vektorlari

ko'rib chiqiladi. Agar BB_1 va BB_2 lar NT asosida qurilgan bo'lsa, unda u kirishlar sonini kamligi hisobiga soddaroq strukturaga ega bo'ladi. Ikkala holda ham o'rgatish masalasi oson yechiladi, chunki minimallashtirilayotgan xatoliklar funksiyalari murakkabligi kamayadi.

BB_1 va BB_2 lar to'g'ri taqsimlangan neyronli tarmoqdan iborat BB_3 qurilishigacha qurilgan bo'lishi kerak. BB_3 boshqarishning to'la masalasini yechadi, lekin u kirishiga ko'p komponentli X vektorni emas, to'rtta o'zgaruvchini qabul qiladi (2.5.1-rasm).

Bunday yondashuvlarda muvaffaqiyat to'plam $\{u_i(t), du_i(t)/dt\}$ ning obyekt holatlari tavsifi sifatida qaralish mumkinligiga bog'liq.

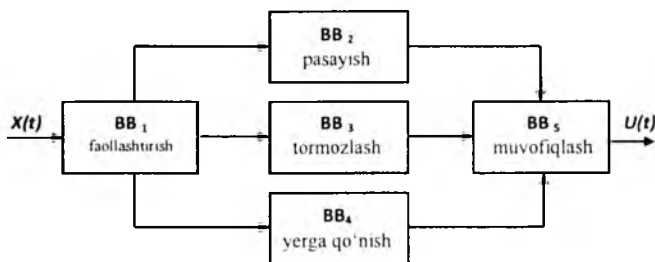
Bunday uslubiyatning ish qobiliyatini tekshirish uchun mayatnikni boshqarishning klassik masalasi ko'rib chiqilgan [9]. Boshqarish obyekti ikkita chiqish o'zgaruvchisiga ega: boshlang'ich nuqtadan siljish masofasi S va mayatnikning vertikalidan og'ish burchagi δ . Boshqarish masalasi mayatnikni $S=0$ va $\delta=0$ bo'lganda barqarorlashtirishdan iborat. Har bir koordinata uchun boshqarishning noaniq qonunini amalga oshiruvchi lingvistik qoidalar jadvali shakllantiriladi. Natijada o'zgaruvchilarning har biri mustaqil boshqaruvchi ikkita rostlagich hosil qilinadi. Modellashtirishga ko'ra, ikki lingvistik jadvallardagi signallarni NT yordamida muvofiqlashtirish genetik algoritmdan foydalanib, murakkab bo'lmagan amallarni bajarishdan keyin amalga oshiriladi.

Obyektni boshqarish masalasi fazaviy fazoning bir nuqtasidan boshqasiga o'tishda o'zgarishi mumkin. Bu muammoni aniq misol: vertikal uchish va qo'nish samoloti (VUQS) ning harakatlarini boshqarish masalasi asosida ko'rib chiqamiz. VUQS ni qo'ndirish dasturi uch bosqichni o'z ichiga oladi [24]:

- berilgan kichik balandlikkacha pasayish;
- tezlikni kichik qiymatgacha tushirish, gorizonta uchish;
- nolga yaqin tezlik bilan nuqtaga qo'nish.

Masalani yechish uchun neyronli rostlagich ishlatilishi mumkin. Tajribalar, NT kam qatlamli bo'lishi kerakligin ko'rsatdi. O'rgatish amali qiyin amalga oshadigan bo'lib, masalani yechishning aniqligi esa kafolatlanmagan. Bu NTning barqarorlik-plastiklik muammosining natijasi hisoblanib [22], bir manyovrni o'rganishda boshqasini "unutish" ni anglatadi.

Shuning uchun ushbu holatda boshqarish qonuni va NT ning o'zini 2.5.2-rasmga ko'ra dekompozitsiyalash foydali hisoblanadi.



2.5.2-rasm. VUQS ni qo'ndirishdagi bilimlar bazalarini dekompozitsiyalashga misol.

Bilimlar bazasi BB_1 obyektning joriy holatini baholaydi va BB_2 , BB_3 va BB_4 larda saqlanuvchi bir yoki undan ortiq boshqarish qonunlarini faollashtiradi. Bilimlar bazasi BB_5 boshqarish tizimining ikki yoki undan ortiq bilimlar bazalari faol bo'lganda ulardagi qarama-qarshiliklarni bartaraf etish uchun xizmat qiladi.

BB_1 ning tashkil etuvchilari aniq: bu boshqaruvchi BB ni ishlab chiqish shartlarini tavsiflovchi mahsuliy qoidalar to'plami bo'lishi mumkin. $BB_2 - BB_4$ o'zida to'g'ri taqsimlangan NT ni namoyon etadi. Modellash tirishdagidek, ko'rila yotgan masalada NT ning bir qatlamli bo'lishi to'la qanoatlantirdi va o'rgatish amali esa yetarlicha sodda. BB_5 ni o'rgatish amali deyarli BB_2 ni o'rgatish masalasiga o'xshash.

Ko'rib chiqilgan yondashuvlar intellektual rostlagichlarni sintezlash jarayonini, shuningdek boshqarishning alohida osttizimlarini o'rgatish murakkabliklari va ular tufayli kelib chiqadigan qiyinchiliklarni nazorat qilish imkonini beradi. Bunda boshqarish qonuni, alohida bilimlar bazasi shaklida amalga oshirilgan yangi harakatlanish rejimlarini qo'shish yoki yangi konturlarni tavsiflash yo'li bilan bosqichma-bosqich takomillashtirilishi mumkin.

2.6. Intellektual boshqarish tizimlari va rostlagichlarni sintezlashda genetik algoritmlarni qo'llanilishi

Genetik algoritmlar optimallashtirishning kuchli usuli hisoblanib, boshqa tasodifiy qidiruvli usullarga qaraganda global ekstremumni tezroq topish imkonini beradi. Ularning muhim afzalligi ularda

muvofiglik va turg'unlik muammolarining yo'qligi hisoblanadi. Bu usullar boshqarish obyektlarining modellarini identifikatsiyalash, rostlagichning optimal parametrlarini qidirish, fazzi-rostlagichlar, shuningdek neyronli tarmoqlarni o'rgatish uchun tegishlilik funksiyalarining optimal qiymatlarini qidirish uchun ishlatiladi. Ko'pincha genetik algoritmlar neyron tarmoqlari va noaniq mantiqli rostlagichlar bilan birgalikda ishlatiladi.

Genetik algoritmlarning kamchiligi ekstremumni qidirish vaqtining kattaligi hisoblanib, bu ulardan real vaqt bo'yicha tezkor ishlovchi tizimlarda foydalanish imkonini cheklaydi.

Genetik algoritmlar 1859-yilda Darvin tomonidan ta'riflangan tabiiy tanlanish tamoyiliga asoslangan. Genetik algoritmlarni matematik masalalarga qo'llash g'oyasini 1962 - yilda J.Xolland, genlar, xromosomalar, mutatsiya, seleksiya, reproduksiya atamalaridan foydalanib, ta'riflagan. Asosiy g'oyasi, eng kuchli moslashuvchan turlargina yashab qoladi degan tabiiy tanlanish tamoyiliga o'xshash.

Genetik algoritmlarni qo'llash uchun masala shartidagi parametrlarni genetik o'zgaruvchilarga o'zgartirish kerak. Bunday o'zgartirishlar kodlash sxemasi bilan beriladi. O'zgaruvchilar, yechilayotgan masala mohiyatiga ko'ra ikkilik, haqiqiy o'nlik yoki boshqa sonlar shaklida berilishi mumkin.

Klassik genetik algoritim (GA) quyidagi qadamlardan tashkil topadi [6,10,27,28]:

1. Xromosomalarning N o'lchamli boshlang'ich populyatsiyasini tanlash.
2. Populyatsiyadagi xromosomalarning moslashuvchanligini baholash.
3. Algoritmnı to'xtatish shartlarini tekshirish.
4. Xromosomalar seleksiyasi.
5. Genetik operatorlarni qo'llash.
6. Yangi populyatsiyani shakllantirish.
7. 2-bandga o'tish.

Algoritim ishlashi uchun qidirilayotgan parametrlarning quyi va yuqori o'zgarish chegarasini, chatishish ehtimolligini, mutatsiya ehtimolligini, populyatsiya o'lchami va avlodlarning maksimal sonini berish zarur.

Xromosomalarning boshlang'ich populyatsiyasi tasodifiy tarzda ishlab chiqiladi. Xromosomalarning moslashuvchanligi kodlangan

shakldagi maqsad funksiyalari yordamida baholanadi. Keyin eng yaxshi moslashuvchan xromosomalar guruhga ajratiladi va uning doirasida genetik chatishtirish va mutatsiya amallari bajariladi. Chatishtirish ikkita ota-onadan istiqbolli avlod olish imkonini beradi. Mutatsiya operatori xromosomalarda o'zgarish kiritadi. Ikkilik kodlash holatlarida mutatsiya ikkilik so'zdagi tasodifiy bitni o'zgartirishdan iborat bo'ladi.

Genetik algoritmlarda qo'llash uchun PID-rostlagichning uchta koeffitsiyentini kodlashga misol 2.6.1-rasmda keltirilgan [28]. Bu yerda xromosoma umumiy uzunligi 48 bit bo'lgan uchta parametrdan tashkil topadi. Yangi xromosoma (avlod) olish uchun chatishtirish amali xromosomalar (ota-onalar) o'rtasida genetik material almashinuvidan iborat.

Chatishtirish operatorining turli shakllari mavjud. Ularda biri, ikkita ota-ona xromosomani bir pozitsiyaga tasodifiy tanlash (2.6.2-rasm) va keyin pozitsiyadan o'ng tomonda joylashgan genetik axborotlarni almashinish o'tkazishdan tashkil topadi [19].

$$\overbrace{100\dots 1011101\dots 011010\dots 001}^{3 \times 16 = 48 \text{ raqam}}$$

$\underbrace{100\dots 1011}_{K(16 \text{ raqam})} \quad \underbrace{1101\dots 011}_{J(16 \text{ raqam})} \quad \underbrace{1010\dots 001}_{T_d(16 \text{ raqam})}$

2.6.1-rasm. Genetik algoritmda qo'llash uchun rostlagich koeffitsiyentlarini kodlashga misol

$$\begin{array}{c|c} 01010 & 011 \\ \hline 11001 & 110 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c|c} 01010 & 110 \\ \hline 11001 & 011 \end{array}$$

Ota – onalar Avlodlar

2.6.2-rasm. Chatishtirish amaliga misol

Genetik algoritm bajarilganidan so'ng ikkilik tasvirlarni muhandislik kattaliklariga qayta kodlash amalga oshiriladi [29].

PID-rostlagich koeffitsiyentlarini baholash uchun populyatsiyadagi xromosomalar moslashuvchanligini baholash quyidagi misoldagi kabi tanlanishi mumkin:

$$J = \frac{1}{\int_0^t e(t) dt},$$

bu yerda $e(t)$ – rostlash xatoligining joriy qiymati, t - vaqt.

Xromosomalar seleksiyasi [30.31] ruletka usuli bilan amalga oshiriladi. Ruletka sektorlarga ega bo'lib, sektorning shinalari moslashuvchanlik funksiyalariga mutanosibdir. Shuning uchun ham bu

funksiya qiymati qanchalik katta bo'lsa, uning mos xromosomalarini saralash ehtimoli shunchalik katta bo'ladi.

2-bob bo'yicha nazorat savollari

1. Fazzifikatsiyaning qanday usullari mavjud va defazzifikatsiya nimadan iborat?

2. Qanday hollarda noaniq to'plamlarni agregatsiyalash bajariladi?

3. Noaniq qoidalarni bajarishning turli usullarini bayon eting.

4. Noaniq qoidalarga misollar keltiring.

5. Noaniq rostlagich qanday bloklardan tashkil topadi?

6. Noaniq rostlagich tarkibidagi mantiqiy yechimni shakllantirish blokining vazifasi nimadan iborat?

7. Mamdanining noaniq algoritmi matematik jihatdan qanday tavsiflanadi?

8. Intellektual rostlagichlarni qurishning umumiy tamoyili nimadan iborat?

9. Feed-Forward Control ilgarilab ketgan (ogohlantiruvchi) boshqarishning konsepsiyasi mohiyati nimadan iborat?

10. Noaniq rostlagichlar tarkibidagi avtosozlash bloki nimaga mo'ljallangan?

11. Genetik algoritmlarni boshqarishning qanday masalalarida ishlatish mumkin?

12. Xatoliklarni teskari taqsimlash algoritmining mohiyati nimadan iborat?

13. Noaniq qoidalarni aks ettirishning turlarini sanang.

14. Neyronli rostlagichlarning afzalliklarini sanang.

15. Noaniq va neyronli rostlagichlar uchun genetik algoritmlardan foydalanishning maqsadga muvofiqligini tushuntiring.

2-bobga doir adabiyotlar

1. Zadeh L.A. Fuzzy sets: Inform. and control, 1965. №8. – p.p. 338-353
2. http://pu.if.ua./inst/phys_che/start/conferense/52.htm
3. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 165 с.

4. Усков А.А., Кузьмин А.В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечёткая логика. –М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 143 с.
5. Методы робастного, нейронечёткого и адаптивного управления: Учебник/Под ред. Н.Д. Егупова, 2е изд. –М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. – 744 с.
6. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 383 с.
7. Aliev R.A., Aliev F.T. and Babaev M.D. Fuzzy Process Control and Knowledge Engineering. (Verlag TUV Rheinland, Koln), 1991.
8. Aliev R.A. and Aliev R.R. Soft Computing and Its Application. (World Scientific, New Jersey, London, Singapore, Hong Kong), 2001.
9. <http://autprom.ru/prinsipy-postroeniya-nechetkogo-pid-regulyatora.html>
10. Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithm for simple dynamic plant // Proc. IEEE. 1974. № 12. - P. 1585-1588.
11. Yusupbekov N.R., Mukharamov F.S., Adilov F.T., Gulyamov Sh.M. Realization of Intellectual Traching System with wave Channels. Proceedings on Fifth International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing. – Milan (Italy), 2002.
12. Юсупбеков Н.Р., Алиев Р.А., Алиев Р.Р., Адилов Ф.Т. Некоторые концепции и принципы построения распределенных интеллектуальных систем. «Горный вестник Узбекистана», 2002. - №4 (11).
13. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. - Рига: Зинатне, 1990. – 184с.
14. Mann G.K.I., Bao Gang Hu, Gosine R.G. Analysis of direct action fuzzy PID controller structures // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B. June 1999. Vol. 29. Issue 3. - P. 371-388.
15. Kato M., Yamamoto T., Fujisawa S. A skillbased PID controller using artificial neural networks // Computational Intelligence for Modeling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce, 2830 Nov. 2005. Vol. 1. - P. 702-707.
16. Юсупбеков Н.Р., Алиев Р.А., Адилов Ф.Т., Гулямов Ш.М., Аналитические информационные технологии автоматизации производственных процессов. –Ташкент: ТашГТУ, 2004. – 157 с.
17. Sugeno M. Industrial Applications of fuzzy Control. -New York: Elsevier, 1985.
18. Takagi F., Sugeno M. Derivation of Fuzzy Inform. Knowledge Representation and Decision Analysis. July 1983. –p.p. 55-60.
19. http://bookasutp.ru/hapter5_7.aspx

20. Aliev R.A., Vahidov R.M., Aliev R.R. Artificial Neural Networks: Theory and Practice. -Tabriz: Tabriz University Press, 1993. - 193 p.
21. Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Теория интеллектуальных систем и ее применение. –Баку: Чашыюглы, 2001. - 720 с.
22. Warwick K., Irwin G.W., Hunt K.J. Neural Networks for Control. MA: MIT Press. - Cambridge, 1990.
23. Марахимов А.Р., Сиддигов И.Х., Юсупбеков А.Н., Измайлова Р.Н. Нечетко-ситуационное моделирование технологической безопасности нефтехимических установок и комплексов. «Вестник ТашГТУ». -№4, 2013. – с.32-37.
24. <http://www.inftech.webservis.ru/it/conferense/isandite/2000/secshion2/rus/arg>
25. Бураков М.В. Синтез нейронного регулятора // Изв. Академии наук. Теория и системы управления, 1999. -№3. - С.140-145.
26. Fleming P.J., Purshouse R.C. Genetic algorithms in control systems engineering. – IFAC Professional Brief. –<http://www.ifaccontrol.org>. – 32 p.
27. Li Jie, Xie Jianying, Wu Zhengmao. Design of disturbance rejection PID controllers for time delay system based on genetic algorithms //International Conference on Neural Networks and Brain (ICNN&B '05', 1315 Oct. 2005. Vol. 2. - P. 876-880.
28. Pereira D.S., Pinto J.O.P. Genetic algorithm based system identification and PID tuning for optimum adaptive control //IEEE/ASME Proceedingson International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2005. - P. 801-806.
29. <http://texprog.ru/index.php/biblioteka/90-0-intellektualnykh-sistemakh-upravleniya/neclog/140-ppis>
30. Батенко А.П. Системы терминального управления. - М.: Радио и связь, 1984. - 160с.
31. http://casmash.com/upravlenie-technogicheskim-processom/upravlenie-technogicheskim-proces+6ccckk....om_183.html.

TEXNOLOGIK JARAYONLARNI BOSHQARISHNING INTELLEKTUAL INSON-MASHINA TIZIMLARI

3.1. Noaniq ekspertli tizimlari

Noaniq ekspertli tizimlar (ET) bilimlarni *noaniq mahsulotlar* va *lingvistik o'zgaruvchilar* shaklida ifodalash uchun ishlatiladi. Lingvistik o'zgaruvchilar orqali tasvirlashning asosini tegishlilik funksiyali termlar tashkil etadi. Noaniq ET larida bilimlarga ishlov berish qobiliyati – bu noaniq mahsulotlar bo'yicha mantiqiy xulosalash. Noaniq ET ning afzalligi, yo qurishning statistik usuliga yo ekspertli baholar usuliga olib kelinadigan tegishlilik funksiyalarini topa olish hisoblanadi.

3.1.1. Noaniq ekspertli tizimlarning asosiy tushunchalari

Ekspertli tizim – bu kompyuter uchun dastur bo'lib, tavsiyalar yoki muammoning yechimlarini ishlab chiqish maqsadida ma'lum predmet sohasidagi ekspertli bilimlar bilan ishlaydi. Ekspertli tizimlar o'ziga yo bajarilishi inson-mutaxassis tajribasini talab etadigan funksiyalarni olishi yo qaror qabul qiluvchi insonga assistent bo'lish rolini o'ynashi mumkin. Ekspertli tizimlar texnologiyasi [1÷3] *sun'iy intellekt* deb nom olgan tadqiqotlar sohasining eng ilgari surilgan yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Ekspertli tizimlar o'ziga uchta asosiy element: bilimlar bazasi, xulosa mashinasi va foydalanuvchi interfeysini birlashtiradi. *Bilimlar bazasi* berilgan predmet haqida ushbu vaqt momentida ma'lum bo'lgan axborotlardan tashkil topadi. *Xulosa mashinasi* ma'lum narsalarni hali noma'lum bo'lganiga qo'llashni ta'minlaydi. *Foydalanuvchi interfeysi* tizim va foydalanuvchi o'rtasidagi o'zaro harakatlarni muvofiqlashtiradi. Umuman, ekspertli tizim ekspert bilimlarini modellashtiradi va ularning qo'llanilishini ta'minlaydi.

Bilimlar bazasi mohiyatlar, atributlar va shartlar ko'rinishida ifodalangan ma'lum dalillardan tashkil topadi, shuningdek noaniqlik ifodalari – dalilning ishonchligiga bo'lgan chegaralanishlarni o'z ichiga oladi. Baza mutaxassis – maslahatchilar, tadqiqotchilar tamonidan ularning ishlari asosida yaratiladi. Bilimlar bazasini

to'ldirishda hayotiy tajriba yuqori intellektga nisbatan muhimroqdir. Davomli kuzatishlar tajribasidan kelib chiqib, ekspert foydaliroq bilimlar bazasini yaratishga qodir.

Ekspertli tizimdagi asosiy mexanizm, yechimlarni olish uchun ratsional mantiq qoidalariga ko'ra bilimlar bazasida qidirishni amalga oshiruvchi mexanizm hisoblanadi. Xulosa mashinasi foydalanuvchidan so'rov olinganda ishga tushadi va quyidagi masalalarni hal etadi [1-2]:

- foydalanuvchi so'rovidagi axborotni bilimlar bazasidagi axborotlar bilan solishtiradi;

- ma'lum maqsadlar va aloqalarni qidiradi;

- har bir dalildan kelib chiqib, mos ishonch koeffitsiyentlariga asoslanib, dalillarning nisbiy aniqlanganligini baholaydi.

Xulosa mashinasining ish harakati inson-ekspertning fikrlashiga o'xshash bo'lib, muammoni baholaydi va gipotetik yechimlar taklif etadi. Xulosa mashinasi, qabul qilinadigan natijaga erishmaguncha bilimlar bazasiga murojaat qilaveradi.

Foydalanuvchi interfeysining vazifalari operator va xulosa mashinasi o'rtasida axborot almashinuvini tashkil etishdan iborat. Interfeys tabiiy tildan foydalangan holda ixtiyoriy suhbat ko'rinishini hosil qiladi va ish davomida to'g'ri qurilgan gaplardagi kundalik ifodalar o'zgarib boradi.

Ekspert tizimlarni ishlab chiqishga bo'lgan yetarli darajada ko'p yondashuvlar mavjud. Misol sifatida, bu maqsadlarda ishlatiladigan PROLOG, LISP yoki CLIPS kabi ixtisoslashtirilgan tillarni keltirish mumkin. Umuman olganda, ekspertli tizimlarni yuqori darajadagi ixtiyoriy zamonaviy tillar yordamida yaratish mumkin. Bu holda har bir ekspertli tizimni yaratish uchun yangi dasturni ishlab chiqishga to'g'ri keladi.

Dasturchi bo'lmaganlarga ham ekspertli tizimlarni yaratish imkonini beradigan tezkor usul, *ekspertli tizimlarning qobiqlari* deb ataladigan dasturiy vositalar sinfini amalga oshirishdan iboratdir. Bunday qobiqlarni ishlab turgan ekspert tizimlarining bilimlar bazasini o'chirish yordamida olish mumkin. Bo'sh bilimlar bazasini boshqa yangi bilimlar bilan to'ldirib, boshqa ekspertli tizimni hosil qilish mumkin. Keng sinfdagi masalalarni qamrab olish uchun turli kombinatsiyalarda ishlatish uchun mos miqdordagi qobiqlar talab etiladi.

Ekspertli tizimlardagi bilimlar bazasini to'ldirish uchun maxsus *bilim olish dasturlari* ishlatiladi, ular uchun nafaqat mos strukturalarga ma'lumotlarni kiritishni ta'minlash, balki sozlash va testdan o'tkazish funksiyalarini ham amalga oshirish maqsadga muvofiqdir. Bilim olish dasturlari – qobiqlarni to'ldirishda avtomatlashtirishning asosiy vositasi.

Tizimlarni tavsiflashning mantiqiy-lingvistik asoslari, tadqiq qilinayotgan tizimlarning xulqi lingvistik o'zgaruvchilar atamalaridagi tabiiy (yoki unga yaqin) tilda tavsiflanishga asoslanadi. Tizimning kirish va chiqish parametrlari lingvistik o'zgaruvchilar sifatida qaraladi, jarayonning sifatli tavsifi esa quyidagi ko'rinishdagi fikrlar to'plami bilan beriladi:

L_1 Agar A_{11} va/yoki A_{12} va/yoki... va/yoki A_{1m} bo'lsa, unda B_{11} va/yoki... va/yoki B_{1n} ,

L_2 Agar A_{21} va/yoki A_{22} va/yoki... va/yoki A_{2m} bo'lsa, unda B_{21} va/yoki... va/yoki B_{2n} ,

.....

L_k Agar A_{k1} va/yoki A_{k2} va/yoki... va/yoki A_{km} bo'lsa, unda B_{k1} va/yoki... va/yoki B_{kn} ,

bu yerda $A_{ij}, i=1,2,...,k, j=1,2,...,m$ – lingvistik kirish o'zgaruvchilarining qiymatlarida aniqlangan noaniq fikrlar, $B_{ij}, i=1,2,...,k, j=1,2,...,n$ – lingvistik chiqish o'zgaruvchilarining qiymatlarida aniqlangan noaniq fikrlar.

Bu qoidalar to'plami *noaniq bilimlar bazasi* deyiladi. Bunday hisoblashlar noaniq ekspertli tizimlarning asosini tashkil etadi. Har bir noaniq ekspertli tizim noaniq tasdiq va qoidalardan foydalanadi.

Keyin diz'yunksiya va kon'yunksiya hisoblash operatorlari yordamida tizimning tavsifini quyidagicha keltirish mumkin:

L_1 : Agar A_1 bo'lsa, Unda B_1 ,

L_2 : Agar A_2 bo'lsa, Unda B_2 ,

.....

L_k : Agar A_k bo'lsa, Unda B_k .

bu yerda $A_1, A_2, ..., A_k$ – lingvistik kirish o'zgaruvchilarning universal to'plamlarining dekart ko'paytmasi X da berilgan noaniq to'plami.

$B_1, B_2, \dots, B_k$ – lingvistik chiqish o'zgaruvchilarning universal to'plamlarining dekart ko'paytmasi Y da berilgan noaniq to'plami.

Mantiqiy-lingvistik tizimlarni qurish asosida L.Zodaning mashhur xulosaning kompozitsion qoidalari yotadi.

Bunday modellarning afzalligi – uning universalligi. Biroq, bunday universallik uchun tizimning murakkabligi to'lov hisoblanadi, chunki bunday tizimlar bilan ishlaganda fazoning o'lchami $m \times n$ bo'ladi. Shuning uchun ham bunday umumiy modellar amaliyotda juda kam qo'llaniladi. Odatda uning soddalashtirilgan va *noaniq xulosa* deb ataladigan variantidan foydalaniladi va u barcha lingvistik kirish o'zgaruvchilari ma'lum sonli qiymatlarga ega degan farazga asoslanadi. Shuningdek odatda bittadan ortiq lingvistik chiqish o'zgaruvchilari ham ishlatilmaydi.

Noaniq mantiqiy xulosa (fuzzy logic inference) deb har bir lingvistik chiqish o'zgaruvchilarini lingvistik kirish o'zgaruvchilariga bog'liqligi $Y = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ ni noaniq bilimlar bazasi va noaniq amallardan foydalanib silliqlantirish va xulosani kirishning joriy qiymatlariga mos keluvchi noaniq to'plam ko'rinishida olishga aytiladi.

Umumiy holda yechimning noaniq xulosasi quyidagi qadamlar hisobiga amalga oshadi:

1) *Fazzifikatsiya bosqichi*. Lingvistik kirish o'zgaruvchilarining barcha termlari tegishlilik funksiyalari yordamida va lingvistik kirish o'zgaruvchilarning universumidan beriladigan aniq qiymatlari asosida, lingvistik chiqish o'zgaruvchisi aniq qiymat qabul qiladigan ishonch darajasi aniqlanadi. Bu ishonch darajasi tegishlilik funksiyasi grafigi va $x = LO'$ ning *aniq qiymati* to'g'ri chizig'ining kesishish nuqtasining ordinatasidir.

2) *Bevosita noaniq xulosalash bosqichi*. Qoidalar to'plami – noaniq bilimlar bazasi asosida har bir qoidaning qo'yimlari uchun ma'lum noaniq amallar asosida haqiqiylik darajasi hisoblanadi. Bunda noaniq amallar sifatida qoidalarning chap qismlaridagi termlarning kon'yunksiya va diz'yunksiyalari ishlatiladi. Ko'p hollarda fazzifikatsiya bosqichida hisoblangan termlarning ishonch darajalaridan yo maksimum yo minimum har bir qoidaning xulosasida ishlatiladi. Noaniq implikatsiyani qurish usullaridan birini qo'llab, qoidaning chap qismidagi ishonch darajasining hisoblangan qiymatiga

va qoidaning o'ng qismidagi noaniq to'plamga mos keluvchi noaniq o'zgaruvchi olinadi.

Odatda xulosa sifatida minimallashtirish yoki mahsuliy qoidalar ishlatiladi. Minimallashtiruvchi mantiqiy xulosada chiqish tegishlilik funksiyasi qoidaning qo'yimi ishonch darajasiga mos ravishda yuqoridan chegaralanadi. Mahsullashtirishdan foydalanib mantiqiy xulosalashda chiqish tegishlilik funksiyasi qoida qo'yimining hisoblangan ishonch darajasiga ko'ra masshtablanadi.

3) *Kompozitsiyalash bosqichi (agregatsiyalash, akkumulyatsiyalash)*. Har bir lingvistik chiqish o'zgaruvchilarining har bir termi uchun mo'ljallangan noaniq to'plamlarning barchasi bir joyga birlashtiriladi va har bir chiqariladigan lingvistik o'zgaruvchilar uchun yagona noaniq to'plam – qiymat shakllantiriladi. Odatda MAX yoki SUM funksiyalari ishlatiladi.

4) *Defazzifikatsiya bosqichi (majburiy bo'lmagan)*. Chiqarilayotgan lingvistik o'zgaruvchilarning noaniq qiymatlar to'plamini aniq qiymatlarga o'zgartirish foydali bo'lganda ishlatiladi. Aniq qiymatlarga o'tishning ko'p sonli usullari mavjud. Umumiy usullarga ikki misol: “to'liq aks ettirish usuli” va “maksimum” usulni keltirish mumkin. To'la aks ettirish usulida chiqish o'zgaruvchisining aniq qiymati noaniq qiymat uchun tegishlilik funksiyasining “og'irlik markazi” kabi aniqlanadi. Maksimum usulida esa chiqish o'zgaruvchisining aniq qiymati sifatida tegishlilik funksiyasining maksimum qiymati qabul qilinadi.

Noaniq to'plamlar nazariyasidagi defazzifikatsiya amali ehtimollar nazariyasidagi tasodifiy kattaliklarning holatlari (matematik kutilma, modal, medianalar) ni aniqlashga o'xshashdir. Defazzifikatsiya amalini sodda usulda bajarish, tegishlilik funksiyasining maksimumiga to'g'ri keladigan aniq sonni tanlash hisoblanadi. Biroq, bu usul faqatgina bir ekstremalli tegishlilik funksiyalaridagina joriy etiladi. Ko'p ekstremalli tegishlilik funksiyalari uchun defazzifikatsiyaning quyidagi usullari ko'p qo'llaniladi [3]:

1) COG (Center Of Gravity) – “og'irlik markazi”. Bu formulaga jismoniy o'xshash bo'lgan formula, noaniq to'plam tegishlilik funksiyasi grafiği va koordinata o'qlari bilan chegaralangan yassi shaklning og'irlik markazini topish formulasi hisoblanadi;

2) MOM (Mean Of Maximums) – “maksimumlar markazi”. Ushbu usulni qoʻllaganda maksimal tegishlilik darajalariga ega boʻlgan universal toʻplam elementlarining oʻrta arifmetigini topish talab etiladi;

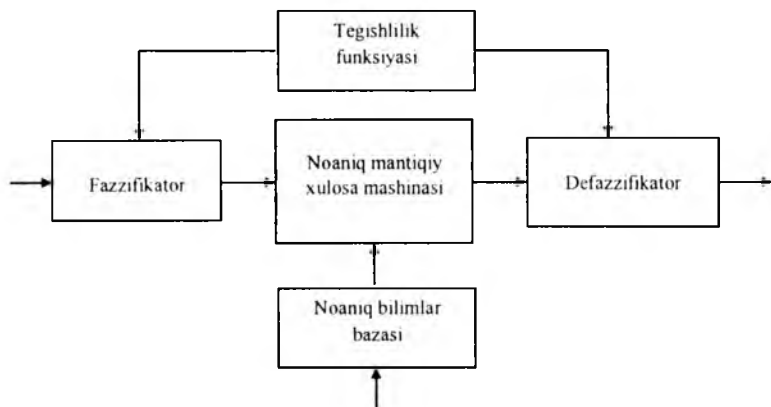
3) First Maximum – “birinchi maksimum” – eng kichik absissali tegishlilik funksiyasining maksimumi.

Noaniq xulosalash jarayonining funksional sxemasi 3.1.1-rasmda soddalashtirilgan holda keltirilgan. Bu sxemada noaniq xulosaning birinchi bosqichi – fazzifikatsiya fazzifikator orqali amalga oshiriladi. Bevosita noaniq xulosalash amali uchun noaniq mantiqiy xulosa mashinasi javobgar boʻlib, berilgan noaniq bilimlar bazasi asosida xulosalashning ikkinchi bosqichini, shuningdek kompozitsiyalash bosqichini ham amalga oshiradi.

Defazzifikator noaniq xulosalashning soʻnggi bosqichi – defazzifikatsiyani bajaradi.

Noaniq xulosa algoritmlarini aniq misollar asosida koʻrib chiqamiz.

Uchta parametr: “Harorat”, “Bosim” va “Ishchi modda sarfi” bilan tavsiflanadigan biror tizim (kimyoviy reaktor) berilgan boʻlsin. Barcha koʻrsatkichlar oʻlchanadigan va qiymatlar toʻplamlari maʼlum. Tizimning ish tajribasidan kelib chiqib, bu parametrlarni bogʻlovchi qiymatlarning baʼzi qoidalari ham mavjud boʻlsin.



3.1.1-rasm. Noaniq xulosalash jarayonining funksional sxemasi.

Faraz qilamiz, tizim parametrlaridan birining qiymatini o'lvovchi datchik ishdan chiqdi. lekin uning ko'rsatishini taxminan bo'lsa ham bilish zarur. Bunday hollarda bu noma'lum qiymatni (bu "Bosim" bo'la qolsin) boshqa ikkita parametrlar ("Harorat" va "Sarf") ning ma'lum bo'lgan ko'rsatkichlari va ular o'rtasidagi quyidagi ko'rinishdagi bog'liqlardan foydalanib, qidirish masalasi yuzaga keladi:

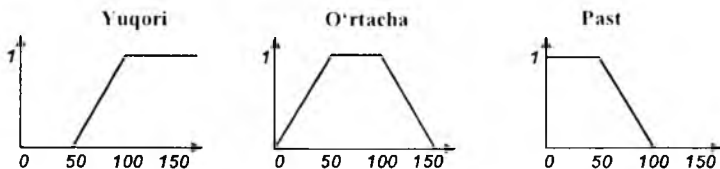
agar «Harorat» past va «Sarf» kichik bo'lsa, unda «Bosim» past bo'ladi:

agar «Harorat» o'rtacha bo'lsa, unda «Bosim» o'rtacha bo'ladi;

agar «Harorat» yuqori yoki «Sarf» katta bo'lsa, unda «Bosim» yuqori bo'ladi.

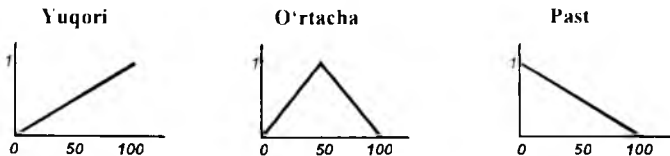
Bizning hol uchun «Harorat», «Bosim» va «Sarf» – lingvistik o'zgaruvchilari. Ularning har birini tavsiflaymiz.

«Harorat». Universum (qiymatlar to'plami) – kesmasi $[0,150]$. Termlarining boshlang'ich to'plami {Yuqori, O'rtacha, Past}. Termlarning tegishlilik funksiyalari quyidagi ko'rinishga ega (3.1.2-rasm):



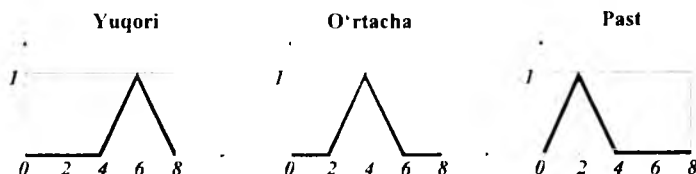
3.1.2-rasm. «Harorat» parametri uchun termlarning tegishlilik funksiyalari.

«Bosim». Universum – kesmasi $[0,100]$. Termlarining boshlang'ich to'plami {Yuqori, O'rtacha, Past}. Termlarning tegishlilik funksiyalari quyidagi ko'rinishga ega (3.1.3-rasm):



3.1.3-rasm. «Bosim» parametri uchun termlarning tegishlilik funksiyalari.

«Sarf». Universum – kesmasi $[0,8]$. Termlarining boshlang'ich to'plami $\{\text{Katta, O'rtacha, Kichik}\}$. Termlarning tegishlilik funksiyalari quyidagi ko'rinishga ega (3.1.4-rasm):



3.1.4-rasm. «Sarf» parametri termlari uchun tegishlilik funksiyalari.

«Harorat» - 85 va «Sarf» - 3,5 qiymatlar ma'lum bo'lsin. «Bosim» ning qiymatini hisoblaymiz. Noaniq xulosaning bosqichlarini ketma-ketlikda ko'rib chiqamiz:

Avval kirish parametrlarining berilgan qiymatlari bo'yicha "Lingvistik o'zgaruvchi A lingvistik o'zgaruvchi A ning termi" ko'rinishidagi tasdiqning ishonch darajasini topamiz. Bu bosqich *fazzifikatsiya*, ya'ni berilgan aniq qiymatlardan ishonch darajalariga o'tish bosqichi deyiladi. Quyidagi ishonch darajalarini olamiz:

«Harorat» Yuqori – 0,7;

«Harorat» O'rtacha – 1;

«Harorat» Past – 0,3;

«Sarf» Katta – 0;

«Sarf» O'rtacha – 0,75;

«Sarf» Kichik – 0,25.

Keyin qoidalar qo'yimlari ishonch darajalarini hisoblaymiz:

«Harorat» Past va «Sarf» Kichik: $\min(\text{«Harorat» Past, «Sarf» Kichik}) = \min(0.3, 0.25) = 0.25$;

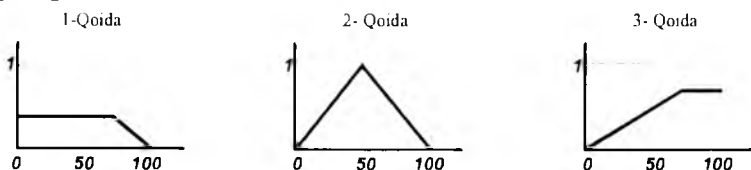
«Harorat» O'rtacha: 1;

«Harorat» Yuqori yoki «Sarf» Katta: $\max(\text{«Harorat» Yuqori, «Sarf» Katta}) = \max(0.7, 0) = 0.7$.

Ta'kidlab o'tish joizki, ixtiyoriy qoidalarni chap qismida joylashgan noaniq to'plamlarni kon'uksiya hamda diz'yunksiya orqali o'zgartirish yordamida qoidalar tizimiga olib kelish mumkin. Bunda har bir qoidaning chap qismi yo faqat kon'uksiyadan yo diz'yunksiyadan iborat bo'ladi. Shundan qilib, umumiylikni buzmagani

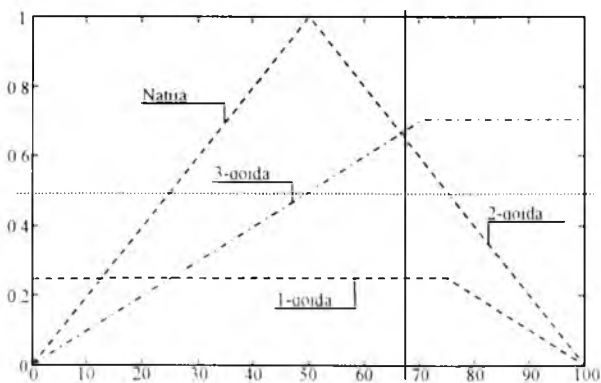
holda, chap qismi yo faqat kon'uksiyanidan yo diz'yunksiyadan iborat bo'lgan qoidalarni ko'rib chiqish mumkin.

Har bir qoida o'zidan noaniq implikatsiyani taqdim etadi. Qo'yimlar ishonch darajasi hisoblangan, xulosaning ishonch darajasi esa mos termlarning tegishlilik funksiyalari bilan beriladi. Shuning uchun, noaniq implikatsiyani qurish usullarining biridan foydalanib, mos qoidaning kirish o'zgaruvchilari o'zgarganda chiqish ma'lumotlarining qiymatlaridagi ishonch darajasiga mos keluvchi, yangi noaniq o'zgaruvchini hosil qilamiz. Noaniq implikatsiyani xuddi chap va o'ng qismlarning minimumi kabi ishlatib (Mamdani ta'rifi), quyidagi shakllarni olamiz (3.1.5-rasm):



3.1.5-rasm. Noaniq implikatsiyaga o'xshash qoidalar.

Endi barcha qoidalarning qo'llanilish natijalarini birlashtirish (umumlashtirish) zarur. Bu bosqich *akkumulyatsiya* deb ataladi. Akkumulyatsiyaning asosiy usullaridan biri – olingan tegishlilik funksiyalarining maksimumini qurish hisoblanadi. Bu 3.1.6-rasmida ko'rsatilgan.



3.1.6-rasm. Akkumulyatsiya usuli – olingan tegishlilik funksiyasining maksimumini qurish.

Olingan tegishlilik funksiyasini natija deb hisoblash mumkin. Bu – “Bosim” chiqish oʻzgaruvchisining yangi termi. Uning tegishlilik funksiyasi, kirish parametrlarining qiymatlari berilganda va kirish va chiqish oʻzgaruvchilarining nisbatini aniqlovchi qoidalaridan foydalanilganda, “Bosim”ning qiymatidagi ishonch darajasini bildiradi.

Biroq, odatda qandaydir aniq sonli qiymat kerak boʻladi. Uni olish uchun esa defazzifikatsiya bosqichidan foydalaniladi, yaʼni berilgan tegishlilik funksiyalari boʻyicha universumdan aniq qiymat olinadi.

Defazzifikatsiya usullarining toʻplami mavjud, lekin bizdagi hol uchun birinchi maksimum usulining oʻzi yetarli. Uni olingan tegishlilik funksiyasi uchun qoʻllab, “Bosim” ning qiymati 50 ekanligini hosil qilamiz. Shunday qilib, agar biz “Harorat” 85 ga, “Sarf” esa 3,5 ga teng ekanligini bilsak, unda reaktordagi “Bosim” taxminan 50 ga teng degan xulosa chiqarishimiz mumkin.

3.1.2. ESPLAN ekspertli tizimi

Rejalashtirish va boshqarish tizimlarining keyingi takomillashuvi, ularning samaradorligi va ishonchligini oshirish yangi *axborot texnologiyalariga* oʻtish hamda shu asosida bilimlarga tayanuvchi sifatli yangi tizimlarni yaratish bilan bogʻliq. Mualliflar tomonidan yaratilgan ESPLAN ekspertli tizimi [4,5,6] noaniq lingvistik qiymatlarni boshqaradi, bilimlarning mahsuliy shakllanishini taʼminlaydi. ESPLAN bilimlarni kiritish uchun xuddi “boʻsh” ochiq tizim kabi yaratilgan. U mahsuliy turdagi bilimlarni aks ettirish uchun yetarli darajada taraqqiy etgan tildan foydalanadi. Mantiqiy xulosani tashkil etish uchun mualliflar tomonidan “mahsuliy tarmoqni faollashtirish” konsepsiyasi taklif etilgan. Lingvistik oʻzgaruvchilarni aks ettirish va ularga ishlov berish usullari ishlab chiqilgan.

Tizimning arxitekturas. 3.1.7-rasmda ESPLAN tizimining arxitekturasini keltirilgan boʻlib, u ham barcha ekspert tizimlaridagi kabi bilimlarni kiritish va aks ettirish, mantiqiy xulosa, tushuntirishlar, foydalanuvchi bilan oʻzaro taʼsir, bilimlar bazasi (BB) va ishchi soha (IS) ga xizmat koʻrsatish bloklaridan tashkil topgan. Natijalarni uzatish, lingvistik qiymatlarga ishlov berish va noaniq arifmetika.

amaliy dasturlar bilan aloqa bloklarining mavjudligi ESPLAN ning o'ziga xosligi bilan tushuntiriladi:

- Tizim ishlab chiqarishga oid hisoblanadi va u so'nggi natijani tipik jadval-grammalar ko'rinishida berishi shart;

- masalalarni yechishda ko'pgina ko'rsatkichlar lingvistik qiymatlar ko'rinishida beriladi;

- tizim integrallashgan boshqarish tizimining bir qismi hisoblanadi va u dasturiy va axborot kabi boshqa osttizimlar bilan bog'langan bo'lishi shart.

Shuni ta'kidlab o'tish zarurki, bu yerda BB va IS shunchaki bloklar hisoblanmaydi, balki ular mos axborotlarni saqlaydigan xotiraning sohasi xolos.

Tizimning alohida bloklari va ularning bajaradigan funksiyalariga batafsil to'xtalib o'tamiz.

Bilimlarni kiritish va aks ettirish. ET bilimlar bazasiga bilimlarni kiritish uchun bilimlarni ifodalash tili (BIT) ishlatiladi. U yoki bu turdagi BITni tanlash predmet sohasi (PS) xususiyatlariga bog'liq. PS ning tanlangan tildagi tavsifi universal dasturlash tilidagiga qaraganda sodda va samarali bo'lishi lozim.

ESPLAN ning BIT ini ishlab chiqishda quyidagilar e'tiborga olingan:

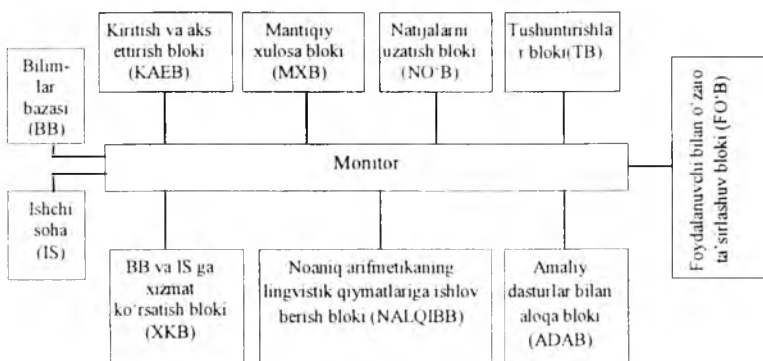
- predmet sohasi (PS) obyektlar to'plami va ulardagi munosabatlar bilan tavsiflanadi;

- PS ning obyektlari – ushbu PS uchun mavjud bo'lgan nomdagi elementlar (xom ashyo mahsulotlari miqdori; tayyor mahsulot, saralash koeffitsiyentlari va neft mahsulotlarini ishlatishga bo'lgan rejalar va shu kabilar);

- Obyektlar PS ning qayd etilgan holatlarini aks ettiruvchi qiymatlarni qabul qilishi mumkin (masalan, NEFT-MIQDORI obyekti 15 MING TONNA qiymatga, NEFT-TURI obyekti esa TARKIBIDA OLTINGUGURT BO'LGAN qiymatga ega bo'lishi mumkin). Qiymatlar, shuningdek, KAM, KO'P, O'RTACHA va shu kabi lingvistik termlar ko'rinishida ham berilishi mumkin.

ESPLANning bilimlarni ifodalash tili mahsuliy tillar oilasiga mansub [7-8]. ESPLAN BIT mahsuloti sintaksisi 3.1.8-rasmda keltirilgan sintaksik diagramma orqali belgilanadi. "AGAR" va "UNDA" so'zlari o'rtasidagi mahsulot qismi *qoidalar qo'yimi*,

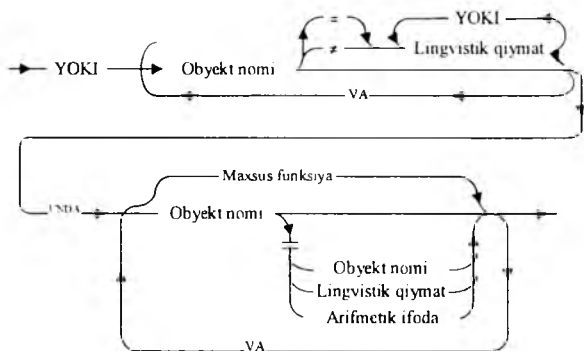
“UNDA” soʻzidan keyin joylashgan qismi esa *qoidalar natijasi* deb ataladi.



3.1.7-rasm. ESPLAN tizimining arxitekturası.

Qoidalarning qoʻyimi “VA” bogʻlovchi bilan ajratilgan elementar qoʻyimlardan tashkil topadi va elementar qoʻyimlar konʻuksiyasini aks ettiradi. Qoidalarning natijasi “VA” bogʻlovchisi bilan ajratilgan harakatlar (elementar natijalar) roʻyxatidir. Mahsulotlar semantikasi quyidagicha: agar qoʻyim haqiqiy boʻlsa, unda natijani bajarish kerak boʻladi. Qoʻyimlarning haqiqiyliigi, obyektlarning elementar qoʻyimlarga kiruvchi berilgan joriy qiymatlari mahsulotda yozilganlari bilan bir xilligidan kelib chiqadi. Haqiqiylikni baholash masalalari quyida koʻrib chiqiladi.

ESPLAN BIT da bilimlarni ifodalashga misol keltiramiz. Neftni birlamchi ishlov berish qurilmasida turlari boʻyicha taqsimlashning quyidagi evristik qoidasi berilgan boʻlsin: “agar 1 tur neftlari kam, 2 turi esa oʻrtacha va qurilma 3 yo ikkinchi yo uchinchi rejimda ishlayotgan boʻlsa, unda qurilma 3 ning yuklamasini (mazut rejasi)/0,675 formulasi boʻyicha, qurilma 4 ga kam miqdorli neftni yuklash amalga oshirilsin”. ESPLANning BIT da bu qoida quyidagicha yoziladi: AGAR NEFT_1=KAM VA NEFT_2 = OʻRTACHA VA REJIM_QURIL_3=2 YOKI 3 UNDA YUKLAMA_QURIL_3=REJA_MAZUT/0.675 ga VA YUKLAMA_QURIL_4 =KAM.



3.1.8-rasm. ESPLAN ning BIT da mahsullashtirishning sintaksik diagrammasi.

Ushbu ekspertli tizimda bilimlarni ifodalashning rasmiy modelini keltiramiz. $W = \{w_1, w_2\}$ – IS obyektlarining nomlari to‘plami bo‘lsin. Obyektlarning har biri quyidagi tizimda tavsiflanadi:

$$(i, w, ndt), \quad (3.1.1)$$

bu yerda i – obyekt indeks; i – obyekt nomi; n – obyektning to‘liq nomi; d – obyekt qiymati w , o‘zgarishining me‘yoriy diapazoni (me‘yoriy deganda reglamentli, nominal tushuniladi); t – o‘lchov birligi.

Oxirgi ikkita parametr (d va t) faqatgina sonli aks ettirishga ega obyektlar uchungina (masalan, MIQDOR-NEFT obyekti uchun) mavjud, sonli aks ettirilmaydigan obyektlar uchun esa (masalan, TUR-NEFT) mavjud emas. Xususan, tizimning BB kortejli obyekt bilan mavjud bo‘lishi mumkin (2, MN, MIQDOR-NEFT, MING TONNA). Mahsulotdagi obyektlarga murojaat MN bo‘yicha amalga oshadi, lekin tizimning chiqish hisobotlarida MIQDOR-NEFT nomi shakllantiriladi.

Endi $R = \{1, 2, \dots\}$ – mahsulot-qoida indeksleri to‘plami; $\text{card}(R)$ – BB dagi mahsulotlar soni. Umumiy holda har bir $j \in R$ indeksli mahsulot-qoidasi – bu W to‘plamning ostto‘plamlaridagi mahsuliyy-hisoblash munosabati. Mahsulot quyidagi ko‘rinishga ega:

$$(j) \text{ AGAR } antec_j \text{ UNDA } conseq_j, \quad (3.1.2)$$

bu yerda j – mahsulot indeksi; $antec_j$ – j -mahsulot qo‘yimi; $conseq_j$ – natija.

Har bir mahsulot (3.1.2) quyidagi kortej bilan tavsiflanadi:

$$(j, CF, \langle \text{muallif} \rangle, \langle \text{sana} \rangle, \langle \text{tushuntirish} \rangle), \quad (3.1.3)$$

bu yerda CF – qoidaning haqiqiylik darajasi bo'lib, ekspert-muallif qoidasi rangiga bog'liq, $CF \in [0; 1]$: $\langle \text{muallif} \rangle$ - ekspert-muallif qoidasi identifikatori; $\langle \text{sana} \rangle$ – qoidani BB ga kiritish sanasi; $\langle \text{tushuntirish} \rangle$ – qoidaning mualliflik tushuntirish matni.

(3.1.2) qoidaning qo'yim va natijasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\overset{\Delta}{\text{antec}}_j = r_{j1} \text{ } I r_{j2} \text{ } I \dots I r_{jQ_j}$$

$$\overset{\Delta}{\text{con sec}} g_j = \Delta_{j1} \text{ } I \Delta_{j2} \text{ } I \dots I \Delta_{jT_j}$$

bu yerda $r_{jq}(q=1 \dots Q_j)$, – j - mahsulotning q -elementar qo'yimi; $\Delta_{jt}(t=1, T_j)$ – t -elementar natija.

Natijada:

$$\overset{\Delta}{r}_{jq} = w_{jq} \left[\begin{pmatrix} = \\ \neq \end{pmatrix} \right] a_{jt}$$

bu yerda: i_{jq} - j - mahsulotning q -elementar qo'yimiga kiruvchi IS obyekti indeksi; a_{jq} – lingvistik qiymat.

Elementar qo'yim IS ning u yoki bu obyekti (w_{jq}) ni shu qoida uchun mavjud bo'lgan biror-bir lingvistik qiymat (a_{jq}) bilan bog'laydi.

Qiymat (a_{jq}) quyidagi ko'rinishga ega bo'lishi mumkin: $\overset{\Delta}{a}_{jq} = a_{1jq}$ YOKI a_{2jq} YOKI....

Agar qoida uchun u yoki bu obyekt qiymatlarining mavjudligi (ya'ni « w_{jq} o'rinli» elementar qo'yimi mohiyati) dalil bo'lsa, unda bu hol uchun qiymat ko'rsatilmaydi va "ixtiyoriy" deb qaraladi. $ijq, q=1, Q_j$ ijq , indekslar j mahsulot kirish obyektlari indekslari to'plami bo'lgan $I_j \in \{1, 2 \dots \text{card}(W)\}$ to'plamni hosil qiladi.

Elementar natija $\Delta_{jt}=1, T$ harakat bo'lib, u $\overset{\Delta}{\text{antec}}_j$ haqiqiylik holida qabul qilinadi. ESPLAN BIT da bunday harakatlarning to'rtta turi nazarda tutilgan:

- 1) bir obyektning qiymatini boshqasiga yozish;
- 2) berilgan lingvistik qiymatni obyektga yozish (jumladan "ixtiyoriy" qiymatlar ham);
- 3) arifmetik ifoda qiymatlarini obyektga yozish;

4) ba'zi maxsus funksiyalarni bajarish:

$$\Delta_{j,j} = \begin{cases} w_{j,j} = w_k, \\ w_{j,j} [= \alpha_{j,j}], \\ w_{j,j} = \langle \text{arifmetik ifoda} \rangle, \\ \langle \text{maxsus imkoniyatlar} \rangle. \end{cases}$$

Bu yerda: j – j -mahsulotning i - elementar natijasiga kiruvchi obyektning indeksi; $w_k \in W$; $\alpha_{j,j}$ – lingvistik qiymat; $\langle \text{arifmetik ifoda} \rangle$ – obyektlarning $+$, $-$, $*$, $/$ ishoralar bilan bo'lingan nomlari va lingvistik qiymatlari ketma-ketligidan tuziladi; $\langle \text{maxsus funksiya} \rangle$ – qator yordamchi amallarni bajaruvchi qurilgan funksiyalardan biri.

ESPLAN BIT ning maxsus funksiyalari 3.1.1-jadvalda keltirilgan. $i_j = 1$, T_j indekslar $L_j \in \{1, 2, \dots, \text{card}(W)\}$ to'plamni hosil qiladi.

3.1.1-jadval.

Maxsus funksiyalar ish-harakatlari tavsifi

Maxsus funksiya	Ish-harakatning qisqacha tavsifi
AKS ETTIRISH (matn)	Foydalanuvchi terminalida ko'rsatilgan matnni aks ettirish
AKS ETTIRISH (obyekt nomi)	Foydalanuvchi terminalida obyektning joriy qiymatini aks ettirish
SO'ROV (obyekt nomi)	Ko'rsatilgan obyekt qiymatini terminaldan kiritishni foydalanuvchidan so'rash
MA'LUMOTLAR	Ixtiyoriy obyekt qiymatini kiritishni foydalanuvchidan so'rash
TO'XTA	LH ishini to'xtatish
BB (BB nomi) obyekt nomi 1-O'RQIY (obyekt nomi 2)	Ko'rsatilgan nomli BB ni Yuklash! LH momentida obyekt 2 dan olingan barcha qiymatlardan o'rtacha qiymatlarini Qidir va bu qiymat bilan obyekt 1 ni belgila
OCHISH (fayl nomi)	Kiritish-chiqarish uchun ko'rsatilgan nomli faylni ochish
YOPISSH (fayl nomi)	Ko'rsatilgan nomli faylni yopish
O'QISH (obyekt nomi fayl nomi)	Fayldan qiymatlarni o'qish va ko'rsatilgan obyektni belgilash
YOZISH (obyekt nomi)	Obyektning joriy qiymatini faylga yozish
BAJARISH (dastur nomi)	Ko'rsatilgan nomli dasturni bajarish

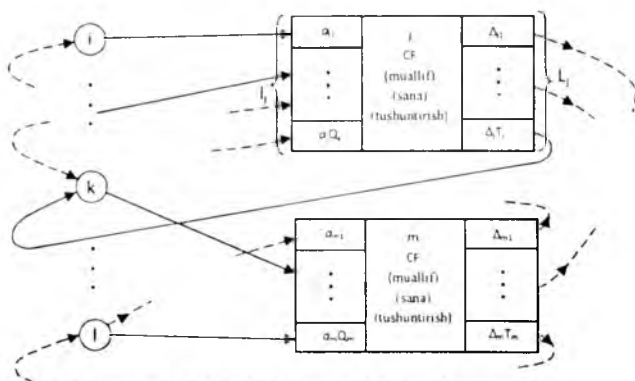
ESPLAN da qiymatlarni kiritish muloqot rejimida amalga oshiriladi. Ekspert qoida-mahsulot, elementlar qiymatlari va <tushuntirish> ni kiritadi. <Muallif> va <sana> elementlari tizim tomonidan ular bilan ish boshlanish vaqtida qayd etiladi. Qoidalarni raqamlash ularni BB ga kiritishda avtomatik tarzda amalga oshiriladi. Obyektlarning barcha nomlari ixtiyoriy bo'lib, bilimlarni kiritish bosqichida ekspert tomonidan kiritiladi.

Agar navbatdagi qoidani kiritishda $w \in W$ bo'ladigan w_i obyekt uchrab qolsa, tizim (3.1) dagi g_i, d_i, l elementlarni kiritishga so'rov jo'natadi va obyektни W ga qo'shib qo'yadi.

ESPLAN tizimida ikkita zahiralangan obyekt: BOSHLANISHI va TAMOM mavjud. BOSHLANISHI obyektі biror harakatlarni (boshlang'ich qiymat berish, so'rov va foydalanuvchiga axborot berish kabi) tavsiflovchi qoida-mahsulotlarni tuzish uchun, TAMOM obyektі esa harakatlarni (xulosalar ishlab chiqish, foydalanuvchi terminaliga tavsilyalar berish va shu kabilarni) bajarish uchun ishlatiladi.

Kiritish va aks ettirish amallari natijasida tizimning BB shakllanadi va u (3.1.2), (3.1.3) qoidalar va (3.1.1) obyektдан tashkil topadi.

BB ning ichki ifodalanishini mahsulotlar tarmog'i paradigmaları bilan ko'rsatamiz. Bunday tarmoqlar ikki turdagi uchlarğa ega: w_i obyekt-aylanalari va j mahsulot-to'g'ri to'rtburchaklari (3.1.9-rasm). Belgilash kiritamiz: $K_i - w_i$ kiradigan *antec* dagi mahsulotlar indeksları to'plami.



3.1.9-rasm. Mahsulotlar tarmohining fragmenti.

$$K_i = \{j_1, \dots, j_{b_i}, i \in I_j, \dots, i \in I_{j_{b_i}}\}.$$

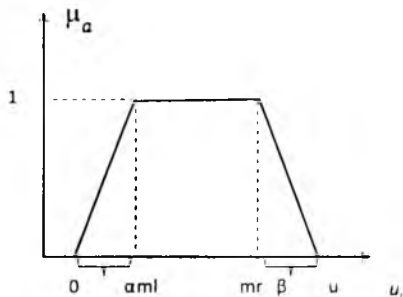
bu yerda $b_i = \text{card}(K_i) - w_i$ kiradigan *antec* dagi mahsulotlar soni.

Mahsulotlarni aks ettirishda har bir $w \in W$ uchun mantiqiy xulosa bosqichida zarur bo'ladigan K_i to'plam quriladi. BB ni bunday aks ettirishning samarali usuli *mahsuliy tarmoqni faollashtirish* deb nomlanadi.

ESPLANDa mantiqiy xulosani ko'rib chiqishdan oldin, lingvistik qiymatlar (LQ) ni aks ettirish masalasiga to'xtalib o'tamiz. LQ larni aks ettirish va ularga ishlov berish uchun tizimda noaniq to'plamlar nazariyasi apparati ishlatiladi [9-12]. Bunda har bir obyekt w , nomi w_i , universumi d_i bo'lgan lingvistik o'zgaruvchi kabi qaraladi va o'zgaruvchining term to'plami $w_i T(w_i)$ qayd etilmaydi va quyidagi to'plam bilan aniqlanadi:

$$\{\bar{\sigma}_{jq}, i_{jq} = t; j \in T; j \in (1, Q_j) \cup (\bar{\sigma}_{jq}, i'_{jq} = t; j \in T; j \in (1, T_j))\}.$$

Term-to'plam elementlarini aks ettirishning semantik qoidasi $\mu_a: d_i \rightarrow [0;1]$ kabi aks ettirilib, tizimga LQ va universumga bog'liq bo'lgan intensional $Int(\alpha, d_i)$ kabi qo'yilgan, ya'ni $\mu_a(u_i) = Int(\alpha, d_i)$, bu yerda $\mu_a \rightarrow$ tegishlilik funksiyasi (TF), LQ α o'zgaruvchili w_i , u_i – asosiy o'zgaruvchi.



3.1.10-rasm. Tegishlilik funksiyasining LR-formati.

Shuningdek TF $\mu_a(u_i)$ ekstensional $\mu_a(u_i) = Int(\alpha, w_i)$ orqali aniqlangan bo'lishi ham mumkin. Tegishlilik funksiyalari ESPLANDa parametrik ko'rinish – sodda takomillashtirilgan LR- formatida aks

ettiriladi [13÷16]. 3.1.10-rasmda $\mu_a(u_i)$ grafik tarzda trapetsiya shaklida keltirilgan. Analitik tarzda $\mu_a(u_i)$ quyidagicha yoziladi:

$$\mu_a(u) = \begin{cases} 1, & ml_a \leq u \leq mr_a, \\ 1 - \frac{ml_a - u}{\alpha_a}, & ml_a - \alpha_a \leq u \leq ml_a, \\ 1 - \frac{u - mr_a}{\beta_a}, & mr_a \leq u \leq mr_a + \beta_a, \\ 0, & \text{qolgan hollarda.} \end{cases}$$

$\mu_a(u_i)$ parametrik jihatdan $\mu_a(u) = (\alpha_a, ml_a, mr_a, \beta)$ ko'rinishida keltiriladi. Tizimga bilimlarni kiritishda barcha LQ lar imkoni boricha TF da aks ettiriladi.

BB to'ldirilgandan so'ng, foydalanuvchi ba'zi kirish ma'lumotlarini bergan holda (masalan, REJA_MAZUTGA=5 VA MN = 20 GA YAQIN deb ko'rsatib), tizimdan tavsiyalar olishga, xususan neftni sohalar bo'ylab taqsimlashni aniqlash imkoniga ega bo'ladi. BB da yechimni qidirish mantiqiy xulosa (MX) amali orqali amalga oshiriladi.

Mantiqiy xulosa. ESPLAN dagi MX atamalarining asosiy tushunchalaridan biri obyektlarni belgilash hisoblanib, u ba'zi w_i obyektlarga u yoki bu MX ni yozish kabi tushuniladi. Bunda MX ikkilik v_i, cf_i bilan beriladi, bu yerda v_i – MQ, cf_i – w_i obyekt $v_i, cf_i \in [0; 1]$ qiymatni qabul qilish dalilining ishonchlilik o'lchami.

Obyekt w_i MX ning joriy momentida bitta ham yozilgan qiymatga ega bo'lmasligi mumkin, unda unga qiymat berilmagan hisoblanadi. Agar obyektga hech bo'lmaganda bir marta bo'lsa ham qiymat yozilgan bo'lsa, unda bu obyekt MXning oxirigacha qiymat berilgan hisoblanadi. Obyektga bir emas, balki bir nechta qiymat masalan, $v_i^1, cf_i^1, v_i^2, cf_i^2, \dots, v_i^{s_i}, cf_i^{s_i}$ ham berilishi mumkin, bu yerda s_i – joriy momentdagi obyektning qiymatlari soni. Barcha qiymatlar eslab qolinadi, yangi qiymat eskisini yo'q qilib tashlamaydi. Lekin eng so'nggi qiymat dolzarb hisoblanadi.

Tizimning BOSHLANISH va TAMOM obyektlariga tizim tomonidan qiymat beriladi: BOSHLANISH – MX ishining eng boshi, TAMOM – MX ishining tugashi. Boshqa barcha obyektlarg qiymat berish manbasi foydalanuvchi bo'lib, u $w_{i_1} = [v_{i_1}]$ va $w_{i_2} = [v_{i_2}]$

ko'rinishidagi boshlang'ich ma'lumotlarni kiritadi. Belgilash (qiymat berish) Δ_n da yuz beradi. Agar qiymat foydalanuvchi tomonidan berilgan bo'lsa, unda $cf_i = 1$ deb qabul qilinadi. Agar obyekt Δ_n da qiymat olsa, unda kattalik cf_i, w_i ($i \in I_j$) obyektning joriy qiymatlaridagi s, j -mahsulotning *antec* shart-qo'yimini bajarish darajasiga teng deb olinadi. Obyektning qiymatlari haqidagi axborotlar quyidagi ro'yxat ko'rinishdagi ishchi sohada saqlanadi:

$$w_i, (v_i^1, cf_i^1), \dots, (v_i^s, cf_i^s).$$

Qiymat berilmagan obyektlar uchun $s^* = 0$ va ro'yxat (3.1.4) $\{w_i\}$ kabi yoziladi. Har bir ishga tushirilgan mahsulot IS bilan ta'sirlashadi: (v_i^{s+1}, cf_i^{s+1}) qiymatlar to'plamini ishlab chiqadi va obyektlarning (v_i^{s+1}, cf_i^{s+1}) qiymatlarini (3.1.4) ro'yxatga qo'shib qo'yadi, chunki (v_i^{s+1}) qiymat Δ_n da hisoblanadi, $(cf_i^{s+1}, R) \in [0; 1]$, bu yerda $(antec_j) - antec_j$ bajarilishining haqiqiylik o'lchami. Yozib qo'yishda kattalik s , ning qiymati 1 ga oshadi.

Mahsulot j ni ishga tushish deganda *antec_j* haqiqiyligi bahosi va *conseq_j* bajarilishini tushunamiz. Haqiqiylik *antec_j* obyekt qiymati $w_{i_q}, q=1, Q_j$ ga bog'liq bo'lganligi sababli j mahsulotlarni ishga tushirishning zaruriy shartini olamiz: obyektga $w_{i_q}, q=1, Q_j$ qiymat berilgan bo'lishi kerak.

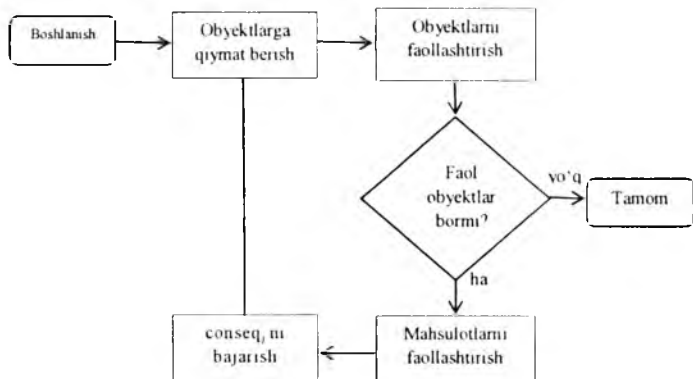
Agar mahsulot j ishga tushib, haqiqiylik qiymati $R(antec_j) > \pi$ bo'lsa, unda $\Delta_n, t = \overline{1, T}$, bajariladi, chunki w_{i_q} obyektlarga qiymat berishda cf_{i_q} kattalik $R(antec_j)$ ga teng bo'lib qoladi. Qiymat $\pi \in [0; 1]$ mahsulotlarni ishga tushirish chegarasi deb ataladi. Qiymat π ni oshirib borib, ishga tushuvchi mahsulotlar sonini qisqartirishga yetishi mumkin, bu MX vaqtini qisqartiradi. BB ga qabul qilinadigan qiymat π , berilgan BB predmet sohasini qanchalik qamrab olishiga bog'liq.

Yuqorida ko'rsatib o'tilganidek, mahsulotlar tizimni boshqarish uchun mahsulotlar tarmog'ini faollashtirish konsepsiyasidan foydalaniladi. Barcha faol mahsulotlar uchun *conseq_j* bajariladi, bu yerda qiymat berish va w_i obyektlarni faollashtirish amalga oshiriladi ($i \in I_j$). *conseq_j* bajarilganidan so'ng j mahsulotlar nafaol bo'lib

qoladi. Agar mahsuliy tarmoqlar (3.1.11-rasm) va semantik tarmoqlar o'rtasida o'xshashlik o'tkazilsa, unda *antecj* tugun *j* tanasi *consecj* ni qo'zg'atuvchi sinaps rolini o'ynaydi.

Mahsulotlar tarmog'ini faollashtirish jarayoni davriy xarakterga ega bo'lib 3.1.11-rasmda keltirilgan sxema bilan tavsiflanadi.

Mantiqiy xulosa algoritmining blok-sxemasi 3.1.12-rasmda keltirilgan. MX amalining ishi boshlanguncha obyektlar to'plami W^0 foydalauvchi tomonidan kiritilgan boshlang'ich ma'lumotlar kabi qiymatlardan tashkil topadi.



3.1.11-rasm. Mahsulotlar tarmog'ini faollashtirish jarayoni.

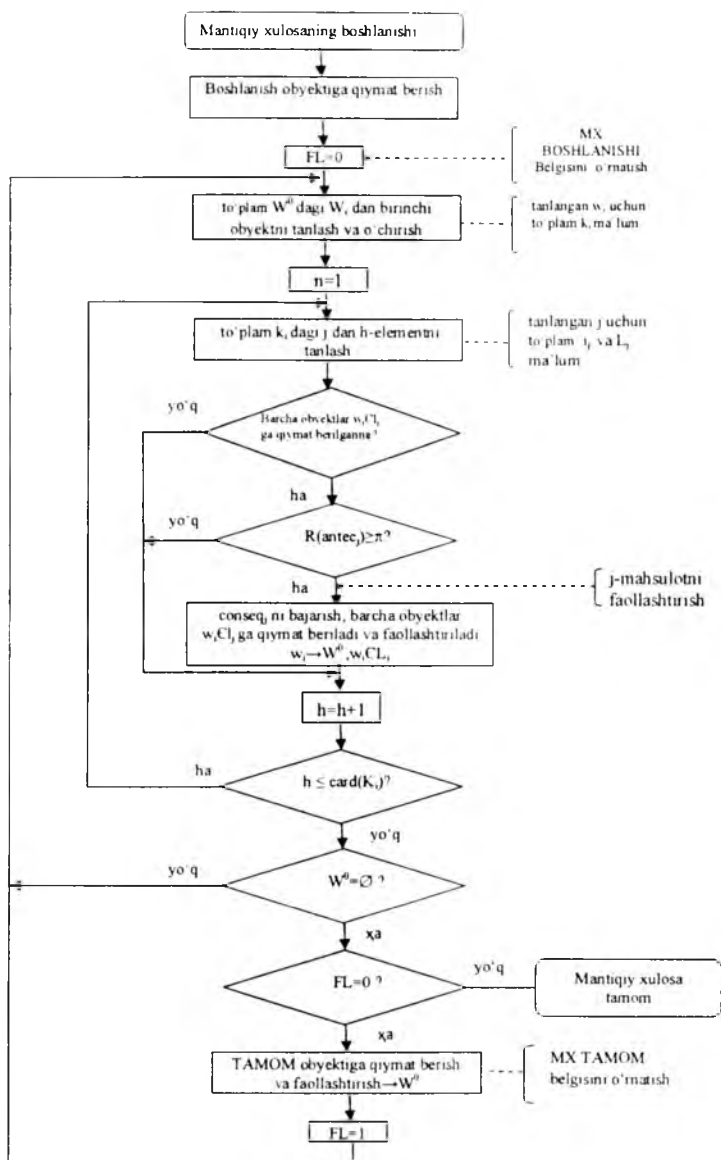
Biroq to'plam bo'sh ham bo'lishi mumkin. Ixtiyoriy holda ham MX ishining boshida BOSHLANISH obyekti qo'shiladi va u faollashtirish jarayonining jo'natish nuqtasi bo'lib xizmat qiladi.

$w \rightarrow W^0$ amali deganda obyektни element sifatida W^0 to'plamga qo'shish, ya'ni to'plamni yozish tushuniladi. Qiymat $R(antec_j)$ quyidagi formuladan topiladi:

$$R(antec_j) = (\wedge_{q=1}^{Q_j} R(r_{jq})) cf_j, \quad (3.1.5)$$

bu yerda $\wedge_{q=1}^{Q_j} R(r_{jq})$ – *j*-mahsulotning *q*-elementar qo'yimi bajarilishining haqiqiylik qiymati: $R(r_{jq})$ ning qiymati $cf_{s_{jq}}$ ostto'plam qiymati a_{jq} bilan mos keluvchi LQ $v_{s_{jq}}^{s_{jq}}$ o'lchamiga [12,17] ko'ra hisoblanadi:

$$R(r_{jq}) = Poss \left(v_{s_{jq}}^{s_{jq}} a_{jq} \right) cf_{s_{jq}} \quad (3.1.6)$$



3.1.12-rasm. Mantiqiy xulosa algoritmi blok-sxemasini

Agar $r_{ij} = w_{i_{\alpha}} \neq \alpha_{ij}$ bo'lsa, unda

$$R(r_{ij}) = \left(1 - Poss \left(v_{i_{\alpha}}^{s_{ij}} \right) cf_{i_{\alpha}}^{s_{ij}} \right) \quad (3.1.7)$$

Poss v/a imkoniyatlari o'lchami quyidagicha topiladi:

$$Poss(v/a) = \max \min(\mu_{\alpha}(u), \mu_u(u)).$$

Bu yerda: $\mu_{\alpha}(u)$ va $\mu_u(u)$ – LQ v va α ga mos keluvchi TF.

TF ni tanlangan LR-ifodasi uchun:

$$Poss(v/a) = \begin{cases} 1. \text{ agar } \max(ml_v, ml_a) \leq \min(mr_v, mr_a), \\ 1 - (ml_a - mr_v) / b_a + c_v, \text{ agar } 0 \leq ml_a - mr_v < b_a + v_v, \\ 1 - (ml_v - mr_a) / b_v + v_a, \text{ agar } 0 \leq ml_v - mr_a < b_v + v_a, \\ 0. \text{ qolgan hollarda} \end{cases}$$

Agar obyekt w sonli ifodalarga ega bo'lmasa (ya'ni v va a LQ lar uchun TF ni qurish mumkin bo'lmasa), unda $Poss(v/a)$ ifoda v va α qiymatlarni solishtirishni amalga oshiradi:

$$Poss(v/a) = \begin{cases} 0 - \text{qiymatlar teng emas} \\ 1 - \text{teng qiymatli} \end{cases}$$

Qiymat $R(antec_j)$ barcha w_i uchun yoziladi va (3.1.5), (3.1.6) va (3.1.7) dan ko'rinib turibdiki, mahsulot $k \in K$, ning haqiqiyligi $R(antec_k)$ ga ta'sir ko'rsatadi. MX ning tugashida obyekt w_i qiymatlar $(v_i^1, cf_i^1), \dots, (v_i^{s_i}, cf_i^{s_i})$ (ga ega bo'lishi mumkin:

$$\bar{v}_i = \sum_{n=1}^{s_i} v_i^n \cdot cf_i^n / \sum_{n=1}^{s_i} cf_i^n$$

Bu variant ESPLAN da o'rtacha qiymat (O'RQIY) kabi amalga oshirilgan (3.1.1-jadval).

MX ning keltirilgan amali, mahsulotlarni maqsadli yo'naltirilgan faollashuvi hisobiga mahsulotlar tizimlarini samarali boshqarishni amalga oshirish imkonini beradi. Shunday qilib, MX ning ish vaqti BB dagi mahsulotlar soniga bog'liq.

Amaliy dasturlar bilan bog'lanish. ESPLAN umumiy tizimning qismi hisoblanib, boshqa osttizimlar va markaziy ma'lumotlar bankining axborot va dasturiy o'zaro ta'sirlashuvini ta'minlashi kerak. Shuni tashkillashtirish yuzasidan ESPLAN BIT da ketma-ket keluvchi fayllar bilan ishlash (OCHISH, YOPISH, O'QISH, YOZISH) (3.1.1-jadval) va foydalanuvchi dasturlarini ishga tushirish

(BAJARISH) funksiyalari kiritilgan. ESPLAN BIT da bunday funksiyalarning ishlatilishi tizim administratori yoki kuzatish muhandisi (muhandis-interpretator) ga yuklatiladi.

Tavsiyalarni tushuntirish. ESPLAN da tavsiyalarni tushuntirish, o'zida quyidagi axborotlarni jamlovchi MX ning kengaytirilgan trassalash ko'rinishida amalga oshirilgan: foydalanuvchi tomonidan obyektning qanday qiymatlari kiritilgan; qanday mahsulotlar (ESPLAN BIT da tashqi ifodalash ko'rinishida) va qanday $R(antec_j)$ haqiqiylik darajasida berilganlik hamda (3.1.5) dan shakllantirilgan qo'shimcha axborotlar: har bir j -qoida-mahsulotning $conseq_j$ da qanday qiymatlar va obyektlar berilgan. Tushuntirish matnining vazni mos slotlar bilan to'ldirilgan bir nechta turdagi klislardan shakllantiriladi.

Natijalarni uzatish. MX ishi tugagach IS holati ko'rinishida qabul qilish uchun qulay bo'lgan natijalarni tizimli uzatish ajralib turadi va tavsiya etilayotgan ishlab chiqarilgan rejalar jadval-grammalar shaklida uzatiladi. Tizimli natijalar barcha qiymat berilgan obyektlar uchun ro'yxat (3.1.6) shaklida beriladi va u BB ni sozlovchi va to'g'rilovchi muhandis-interpretatorlar uchun mo'ljallangan. Foydalanuvchi natijalari displey ekrani yoki chop etish qurilmasiga ishlab chiqarish rejalari shaklida (tayyor mahsulot va yarim tayyor mahsulotlar bo'yicha, texnologik qurilmalar bo'yicha, korxonaning tayyor mahsulotlari bo'yicha) berilishi mumkin.

Bunday hujjatlarni uzatishni amalga oshirish uchun tizim ishlab chiqaruvchisi yoki kuzatish muhandisi:

- Dasturlash tillaridan birida dastur ishlab chiqaradi va u fayllardan ma'lumotlarni o'qiydi, ma'lumotlar banki bilan ishlaydi va ko'rsatilgan hujjatlarni ishlab chiqadi;

- ESPLAN BB ga ESPLAN BITni yuqoridagi funksiyalari bilan ishlab chiqilgan dasturiy vosita yordamida aloqani tashkil etuvchi qoidalarni kiritadi.

Foydalanuvchi bilan muloqot. MX vaqtida foydalanuvchi bilan muloqot xuddi savol-javob kabi tashkil etiladi va SO'ROV, SARALASH, MA'LUMOTLAR kabi qurilgan funksiyalar yordamida amalga oshiriladi (3.1.1-jadval). Shunday qilib, ekran oldida o'tirgan foydalanuvchi zaruriy axborot (SARALASH funksiya ishi natijalari)

ni oladi va u yoki bu obyektlarning qiymatlarini lingvistik shaklda (SO'ROV va MA'LUMOTLAR funksiyalarini) kiritadi. Demak, muloqotning to'la Ssenariysi tizim BB da ko'rsatilgan funksiyalardan tashkil topgan qoida-mahsulotlar to'plami bilan oldindan belgilab qo'yilgan bo'ladi. Bu funksiyalarni bajarilishi muhandis kuzatuvchi zimmasidadir.

ESPLANni amalga oshirish. ESPLAN qobig'i Turbo Prolog tilida amalga oshirilgan va 3.1.7-rasmdagi bilan bir xil arxitekturaga ega. Tizimda monitor sifatida Prolog tilining interpretatori (Turbo Prolog da – translyator) xizmat qiladi.

Tizimda xuddi Prolog konstruksiyasidagi kabi funksional bloklar – predikatlar mavjud. Tizimning bunday tuzilishi tizim komponentlarini modulli sozlash imkonini beradi va uni yangi funksiyalar bilan oson to'ldiradi.

Xulosada, ET larni qurishga taklif etilayotgan yondashuvning, bizning nazarimizda eng muhim bo'lgan, afzalliklarini keltiramiz:

- MX amalida mahsulotlarni to'la qayta tanlashning yo'qligi;
- Lingvistik qiymatlar bilan ishlash imkoniyati, qator MX lar uchun TF ning avtomatik qurilishi, O'RQIY funksiyasidan foydalanish hisobiga imkon doirasida qiymatlarning kompozitsion chiqishini amalga oshirish;
- amaliy dasturlar bilan bog'lovchi funksiyalar yordamida Δ_j amal sifatida amaliy dasturlar paketi (DP) dan foydalanish imkoniyati;
- BB ni dekompozitsiyalash va BB funksiyalaridan foydalanganda taqsimlanuvchi mahsulotlar tizimini qurish imkoniyati (3.1.1-jadval);
- IS dan birining masalalarini yechishda MX vaqtiga ta'sir etmaydigan turli IS dagi bilimlarni bitta BB da saqlash imkoniyati;
- MX ning taklif etilgan algoritmi o'z yo'liga ko'ra parallel bo'lib, parallel arxitekturali hisoblash mashinalarida taklif etilgan uslubiyatni samarali amalga oshirishini ta'minlaydi.

3.2. Noaniq va yumshoq ekspertli tizimlarni solishtirish

Yumshoq ekspertli tizim (YUET) deb quyidagi xossalarga ega bo'lgan noaniq ET ga aytiladi:

- noaniq neyronli tarmoqlardagi o'rgatuvchi to'plamlar kabi aks ettiriladigan statistik ma'lumotlarni ishlatadi;

- lingvistik o'zgaruvchilar (tegishlilik funksiyalari – TF). noaniq mahsulot va o'rgatilgan neyron tarmoqlari ko'rinishidagi bilimlarni namoyon etadi.

Noaniq mahsulotlar to'plamini qisqartirish, TF va qoidalar bazalarini sozlash genetik algoritmlar (GA) yordamida bajariladi.

Noaniq tizimlar, neyronli tarmoqlar, ehtimoliy fikrlash va genetik algoritmlarni birlashtiruvchi va sinergetik samaraga ega bo'lgan *hisoblashlar yumshoq* deb ataladi; shunga ko'ra shu samaraga xizmat qiluvchi, sanab o'tilgan nazariyalarni birlashtiruvchi ET ga *yumshoq ekspertli tizim* (YUET) deyiladi.

YUET ning avtomatlashtirilgan loyihalashda qo'llanilish imkoniyatlarini ko'rib chiqamiz [18]. Loyihalashning umumlashtirilgan modeli iyerarxik blokli usul hisoblanib, mohiyati iyerarxiyaning tizim va osttizimlarga ajratilishi bilan funksiyalarni dekompozitsiyalashtirishga olib kelishdan iborat. Loyihalanayotgan tizim shunday osttizimlarni sintezlash yordamida shakllantiriladi.

Avtomatlashtirilgan loyihalash jarayonida tahlil, odatda keyingi tizimlar va uning atrofidagi yanada murakkab tizimlar -muhitlarni (masalan, iqtisodiy axborot tizimlari uchun atrofda muhit – bu ijtimoiy-iqtisodiy muhit hisoblanadi) ishlash sharoitlarini ko'rib chiqish lozimligidan iborat bo'ladi. Atrof-muhit tahlilidan tashqari, loyihalash jarayonida jismoniy yoki sonli tajribalar hamda imitatsion modellash natijalarini tahlil qilishga to'g'ri keladi.

Loyihalash davomida ekspertli faoliyatning ikki asosiy tamoyilini ajratib ko'rsatish mumkin. Tahlil uchun boshlang'ich ma'lumotlar strukturaviy-funksional yechimning sifatli tavsifi va atrofning tizimli o'zgaruvchilarining vaqtli qatorlari to'plami ko'rinishida aks ettiriladi.

“Konstruktiv noaniqlik” tamoyili, tahlilning ba'zi bosqichlaridan boshlab, aniqlik va mohiyat bir-birini inkor eta boshlaydi. Agar texnikada aniqroq o'lchash bo'lsa, unda tahlil davomida ekspert aniq sonlardan noaniq, lekin baholardan iborat va loyiha qarorlari hamda boshqarish yechimlarini beradigan sonlar foydasiga o'tadi.

Yumshoq ekspertli tizim loyihalash davomida ekspertli faoliyat uchun instrumental va axborot muhitini taqdim etishi zarur. YUET ni ishlab chiqish instrumentlari o'zida turli dasturiy mahsulotlar,

mantiqiy ish birikmalari to'plamini namoyon etadi. YUET loyihalovchining instrumental muhiti hisoblanib, avtomatlashtirilgan rejimda ekspertli faoliyatning barcha bosqichlarini bajarish imkonini beradi. Agar ekspertli tizim boshqarish obyekti sifati qaralsa, unda ekspertiza instrumentlarini boshqarish tizimi, aynan noaniq kontroller sifatida qarash mumkin.

Bilimlarni yumshoq ekspertli tizimlarda taqdim etilishi. Yumshoq ekspertli tizimdagi bilimlar va ma'lumotlar bazasining tarkibi.

Agar bilimlarni chiqarish bosqichida noaniq neyronli tarmoq (NNT) larda foydalanilsa, unda, tegishlilik funksiyalari va noaniq mahsulotlardan tashqari, YUET bilimlar bazasiga kiruvchi o'rgatilgan NT to'plami yuzaga keladi. Keltirib chiqarilgan qoidalar to'plamini optimallashtirish (qisqartirish) genetik algoritmlar orqali bajariladi.

YUET bilimlar bazasi quyidagilardan tashkil topishi shart:

- tegishlilik funksiyalari;
- noaniq mahsulotlar;
- o'rgatilgan noaniq neyron tarmoqlari;
- genetik algoritmlar xromosomalarini interpretatsiyalash amallari;
- optimallik funksiyalari.

Sanab o'tilgan tarkibiy qismlarning intellektual tizimlarda aks ettirilishini ko'rib chiqamiz. Agar tegishlilik funksiyasi uzluksizlik, qavariqlik (unimodallik) kabi matematik xossalari bilan tavsiflansa, unda tegishlilik funksiyasi shakllarning parametrlashtirilgan funksiyalari kabi berilish mumkin. Yuqorida aytib o'tilganidek, shakllarning to'rtta turdagi funksiyalari keng tarqalgan: uchburchakli, trapetsiyasimon, qo'ng'iroqsimon va sigmoidal. Ular mos ravishda parametrlarning uchligi, to'rtligi va ikkiligi bilan belgilanadi. Noaniq algebraning ba'zi amallari tegishlilik funksiyalarining trapetsiyasimon aks ettirilishida o'zining unimodalligini saqlab qoladi, shuning uchun amallarning natijalari ham parametrlar to'rtligi hisoblanadi. Noaniq mahsulotlarning taqdim etilishi, noaniq mahsulotlarga ishlov berish darajasi natijani chiqarishda muhim emasligi va unga ta'sir etmasligi sababli soddalashtiriladi. Noaniq neyronli tarmoqlarni aks ettirish murakkabroq masala hisoblanadi, chunki NNT strukturasi tavsiflash, noaniq neyronli tarmoqning mos arxitekturasini neyroimitatorisiz o'z mohiyatini yo'qotadi, ya'ni neyroimitator YUET xulosasining asosiy tashkil etuvchi qismlaridan biri kabi belgilanadi. YUET lar bilimlarini

saqlashni tashkil etish uchun ham ma'lumotlar bazasini boshqarish tizimlari – MBBT ham maxsus formatlardan foydalanish mumkin.

Xulosalash algoritmi yoki mexanizmi noaniq xulosalash tizimi arxitekturasining keyingi muhim tashkil etuvchilaridan biri hisoblanadi. Noaniq xulosalash tizimiga qo'llanilgan xulosalash mexanizmi o'zida ilgari ko'rib chiqilgan usullarni aniqlashtirishni namoyon etadi.

Ushbu holda xulosalash algoritmlari noaniq mahsulotlar qoidalarini ilgari suradi va ushbu algoritmlarni tavsiflash xulosalash jarayonini qator ketma-ket bosqichlarga ajratishga asoslanadi.

Noaniq mantiq haqida so'zlab turib, ko'pincha texnik qurilmalar va jarayonlarni boshqarishda qo'llaniladigan noaniq xulosalash tizimiga ega bo'lamiz. Noaniq xulosalash tizimini ishlab chiqish va uni qo'llash o'zida, bajarilishi noaniq mantiqning asosiy qoidalari yordamida kechadigan qator boqichlarni namoyon etadi.

Noaniq xulosalash tizimi kirishiga kelayotgan axborotlar o'lgangan kirish o'zgaruvchilari bo'lib, real boshqarish jarayonining o'zgaruvchilariga to'g'ri keladi.

Noaniq xulosalash tizimi noaniq mahsulotlar qoidalaridan foydalanib, boshqarish jarayonining kirish o'zgaruvchilari qiymatini chiqish o'zgaruvchilariga o'zgartirishga mo'ljallangan. Buning uchun tizimda noaniq mahsulotlar qoidalari bazasi bo'lishi va noaniq lingvistik fikrlar shaklida ifodalangan qo'yim yoki gartlar asosida noaniq xulosalarni olish imkoniga ega bo'lishi kerak.

Noaniq xulosalashning asosiy bosqichlari:

- noaniq xulosalash tizimi qoidalari bazasini shakllantirish;
- kirish o'zgaruvchilarini fazzifikatsiyalash;
- ost qo'yimlarni noaniq mahsulotlar qoidalariga agregatlash;
- noaniq mahsulotlar qoidalaridagi ost xulosalar (xulosachalar)ni faollashtirish yoki kompozitsiyalash;
- noaniq mahsulotlar qoidalari xulosalarini to'plash.

Bu bosqichlarning har birini asosiy xususiyatlari va ularning bajarilishiga misollar keltiramiz [19].

Noaniq xulosalar tizimining qoidalar bazasi empirik bilimalrni rasmiy aks ettirish yoki ekspertlar bilimlarini u yoki bu predmet sohasida ifodalashga mo'ljallangan. Noaniq xulosalash tizimida noaniq mahsulotlar qoidalari ishlatiladi. Bunday qoidalar to'plamini *noaniq mahsulotlar qoidalari bazasi* deb ataymiz.

So'nggi atama o'zida noaniq mahsulotlarning qoidalarini chekli to'plamini namoyon qiladi va ularda lingvistik o'zgaruvchilar ishlatiladi. Ko'pincha qoidalar bazasi quyidagicha tuzilgan matn shaklida beriladi:

QOIDA_1: AGAR «Shart_1» bo'lsa, UNDA «Xulosa_1» (F_1)

QOIDA_2: AGAR «Shart_2» bo'lsa, UNDA «Xulosa_2» (F_2)

...

QOIDA_n: AGAR «Shart_n» bo'lsa, UNDA «Xulosa_n» (F_n)

yoki unga ekvivalent shaklda:

RULE_1: IF Condition_1 THEN Conclusion_1 (F_1)

RULE_2: IF Condition_2 THEN Conclusion_2 (F_2)

...

RULE_n: IF Condition_n THEN Conclusion_n (F_n)

Bu yerda $F_i (i \in \{1, 2, \dots, n\})$ orqali qoidalarining *aniqlanganlik koeffitsiyentlar* yoki *vazn koeffitsiyentlari* belgilanadi. Bu koeffitsiyentlar $[0, 1]$ oraliqdagi qiymatlarni qabul qiladi. Agar vazn koeffitsiyentlari bo'lmasa, ularning qiymatini 1 ga teng deb qabul qilish qulayroqdir.

Murakkabroq vaziyatlar ham bo'lishi mumkin, masalan noaniq mahsulotlar qoidalari sharoitida turli lingvistik o'zgaruvchilarga tegishli noaniq fikrlar bilan noaniq lingvistik amallar birlashgan holda, ya'ni « β_1 tegishli α » AMAL « β_2 tegishli α » shaklida, bu yerda AMAL – noaniq “VA” yoki noaniq “YOKI” binar amallaridan biri, β_1 va β_2 – turli lingvistik o'zgaruvchilar.

Noaniq mahsulotlarning qoidalarini bu variantini quyidagi shaklda ham yozish mumkin:

QOIDA: AGAR « β_1 tegishli α » VA « β_2 tegishli α » bo'lsa, UNDA « β_3 tegishli v » bo'ladi;

QOIDA: AGAR « β_1 tegishli α » YOKI « β_2 tegishli α » bo'lsa, UNDA « β_3 tegishli v » bo'ladi.

Bu yerda noaniq fikr « β_1 tegishli α » VA « β_2 tegishli α », « β_1 tegishli α » YOKI « β_2 tegishli α » o'zida noaniq mahsulotlar qoidalari shartlarini, noaniq fikr « β_3 tegishli v » esa qoidalar xulosasini

aks ettiradi. Bunda $\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$ deb hisoblanadi va har bir noaniq fikrlar noaniq mahsulotlar qoidalarini *ma'lumotlarining qo'yimchalari* deyiladi.

Noaniq mahsulotlar qoidalarini sharoitida turli lingvistik o'zgaruvchilarga tegishli noaniq fikrlar bilan noaniq lingvistik amallar birlashgan holda, ya'ni « β_1 tegishli α » AMAL « β_2 tegishli α'' » shaklida, bu yerda AMAL – noaniq “VA” yoki noaniq “YOKI” binar amallaridan biri, β_1 va β_2 – turli lingvistik o'zgaruvchilar:

QOIDA: AGAR « β_1 tegishli α » bo'lsa, UNDA « β_2 tegishli α'' » VA « β_3 tegishli v » bo'ladi;

QOIDA: AGAR « β_1 tegishli α » bo'lsa, UNDA « β_2 tegishli α'' » VA « β_3 tegishli v » bo'ladi.

Bunda « β_2 tegishli α'' »VA« β_3 tegishli v » va « β_2 tegishli α'' » VA « β_3 tegishli v » - noaniq mahsulotning berigan qoidasi qo'yimchalari.

Lingvistik kirish va chiqish o'zgaruvchilari. Noaniq xulosa tizimlarida noaniq mahsulot qoidalarini shartchalari fikrlarida ishlatiladigan lingvistik o'zgaruvchilar – *lingvistik kirish o'zgaruvchilari*, xulosachalardagi fikrlarda ishlatiladiganlari esa *lingvistik chiqish o'zgaruvchilari* deyiladi.

Shunday qilib, noaniq mahsulotlar qoidalarini bazalarini berish yoki shakllantirishda quyidagilarni aniqlash lozim: $P = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ shaklidagi noaniq mahsulotlar qoidalarini to'plami, lingvistik kirish o'zgaruvchilari to'plami $V = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ va lingvistik chiqish o'zgaruvchilari to'plami $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_r\}$. Agar P, V, W lar berilgan bo'lsa, qoidalar to'plami berilgan hisoblanadi. Agar lingvistik kirish va chiqish o'zgaruvchilari uchun asosiy term-to'plam va unga mos keluvchi tegishlilik funksiyalari, shuningdek G va M amallar aniqlangan bo'lsa, unda ushbu lingvistik kirish $\beta_i \in V$ yoki chiqish $\omega_j \in W$ o'zgaruvchilari berilgan yoki aniqlangan deb hisoblanadi.

Tegishlilik funksiyalari sifatida eng ko'p qo'llaniladigan holatlar – bu uchburchakli yoki trapetsiyasimon tegishlilik funksiyalaridan foydalanish hisoblanadi. Bunda yozuvlarni yozishda qulaylik bo'lishi uchun lingvistik kirish va chiqish o'zgaruvchilari alohida termlari

barcha $b_i = \mu(a_i)$ qiymatlar topilgandan so'ng fazzifikatsiya bosqichi tugallangan hisoblanadi. Bu qiymatlar to'plamini $B = \{b_i\}$ orqali belgilaymiz.

Agregatlash (Aggregation). Agregatlash o'zida noaniq xulosalash tizimi qoidalarining har biri uchun haqiqiylik darajaini aniqlash amalini namoyon etadi. Agregatlash amali rasmiy ravishda quyidagicha amalga oshiriladi. Bu bosqichning boshlanishiga qadar noaniq xulosalash tizimining barcha shartchalari haqiqiylik qiymatlari, ya'ni qiymatlar to'plami $B = \{b_i\}$ ma'lum deb faraz qilinadi. Keyin noaniq xulosalash tizimining har bir qoidasi ko'rib chiqiladi. Agar qoidaning sharti o'zida « β tegishli α » va « β tegishli $\nabla\alpha$ » degan noaniq fikrni aks ettirsa, unda uning haqiqiylik darajasi b_i qiymatga mos keladi, bu yerda ∇ – modifikator bo'lib, «JUDA», «KATTA YO KICHIK», «KO'P KATTA» kabi so'zlarga mos keladi, bu so'zlar lingvistik o'zgaruvchilar bilan berilgan G va M amallardan olinadi.

Noaniq xulosalash tizimining qoidalar bazasi P ga kiruvchi R_k qoidalarining har biri uchun barcha b_k qiymatlar topilganda agregatlash bosqichi tugatilgan hisoblanadi. Bu qiymatlar to'plamini $B'' = \{b_1'', b_2'', \dots, b_n''\}$ bilan belgilaymiz.

Noaniq kon'uksiya va noaniq diz'yunksiya natijalarini aniqlash uchun hisoblash formulalaridan foydalanganda, noaniq mahsulotlar qoidalarining barchasi uchun hisoblash usullarini juft holda qo'llash maqsadga muvofiqdir.

Faollashtirish (Activation). Noaniq xulosalar tizimida faollashtirish, noaniq mahsulotlar qoidalarining xulosachalarining har birini haqiqiylik darajasini aniqlash amalidan iborat. Faollashtirish umumiy holda noaniq munosabatlarni kompozitsiyalashga o'xshash, lekin uning aynan o'zi emas.

Faollashtirish amali rasmiy ravishda quyidagicha amalga oshiriladi. Bu bosqich boshlangunga qadar noaniq xulosalash tizimining barcha shartlarining haqiqiylik qiymatlari, ya'ni qiymatlar to'plami $B'' = \{b_1'', b_2'', \dots, b_n''\}$ va har bir qoidaning koeffitsiyentlari qiymatlari F_i ma'lum deb faraz qilinadi. Keyin noaniq xulosa tizimi qoidalari xulosalarining har biri ko'rib chiqiladi. Agar qoidaning xulosasi o'zida oddiy turdagi noaniq fikrni namoyon etsa, unda uning

haqiqiylik darajasi qiymat b_i ni vazn koeffitsiyenti F_i ga algebraik ko'paytmasiga teng bo'ladi.

Shunday qilib, ko'rib chiqilayotgan P qoidalar bazasidagi har bir qoida R_k uchun xulosachalarning haqiqiyligi qiymati c_k topiladi. Bu qiymatlar to'plamini $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ orqali belgilaymiz, bu yerda q – qoidalar bazasidagi xulosachalarning umumiy soni.

Bunda alohida xulosachalar uchun vazn koeffitsiyenti F_i individual berilgan hollar ham bo'lishi mumkin. Faollashtirish amali avvalgidек qolaveradi.

To'plam $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ aniqlanganidan so'ng, ko'rib chiqilayotgan lingvistik chiqish o'zgaruvchilari uchun xulosachalarning har birini tegishlilik funksiyalari aniqlanadi. Buning uchun u yoki bu noaniq kompozitsiya usulining modifikatsiyasi hisoblanuvchi quyidagi usullaridan biri ishlatiladi:

–**min**-faollashtirish:

$$\mu'(y) = \min\{c_i, \mu(y)\};$$

–**prod**- faollashtirish:

$$\mu'(y) = c_i \cdot \mu(y);$$

–**average**- faollashtirish:

$$\mu'(y) = 0,5 \cdot (c_i + \mu(y)),$$

bu yerda $\mu(y)$ – Y universumda berilgan ba'zi chiqish o'zgaruvchilari ω_i ning qiymatlari hisoblanuvchi termlarning tegishlilik funksiyasi.

Noaniq mahsulotlar qoidalari alohida xulosachalari tarkibiga kiruvchi lingvistik chiqish o'zgaruvchilarining har biri uchun ularga mos tegishlilik funktsiyalarining qiymatlari, ya'ni $C_1, C_2, \dots, C_q$ noaniq to'plam aniqlangach, faollashtirish bosqichi yakunlagan hisoblanadi, bu yerda q – noaniq xulosa tizimi qoidalari bazasidagi xulosachalarning umumiy soni.

Ko'rib chiqilgan usullardan tashqari, faollashtirishni bajarish uchun noaniq kompozitsiyaning turli amallari takomillashuviga asoslangan boshqa usullar ham taklif etilgan.

Akkumulyatsiya (to'plash) (Accumulation). Noaniq xulosa tizimida akkumulyatsiyalash, to'plam $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i\}$ ning har bir lingvistik chiqish o'zgaruvchisi uchun tegishlilik funksiyasini topish amali yoki jarayonini aks ettiradi. Akkumulyatsiyaning maqsadi, chiqish o'zgaruvchilarining har biri uchun tegishlilik funksiyalarini

olish uchun xulosalar (xulosachalar) haqiqiyligining barcha darajalarini birlashtirishdan iborat. Bu bosqichni bajarishning zaruriyligi, bitta lingvistik chiqish o'zgaruvchisining xulosachasi turli noaniq xulosa tizimlariga tegishli ekanligidan iborat.

Akkumulyatsiya amali rasman quyidagicha bajariladi. Bosqich boshlangunga qadar, ko'rib chiqilayotgan P qoidalar bazasidagi har bir qoida R_x uchun xulosachalarning haqiqiyligi qiymati noaniq to'plam $C_1, C_2, \dots, C_q$ shaklida ma'lum deb faraz qilinadi, bunda q – qoidalar bazasidagi xulosachalarning umumiy soni. Keyin har bir lingvistik chiqish o'zgaruvchisi $\omega_j \in W$ va unga tegishli noaniq to'plam $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jq}$ ko'rib chiqiladi.

Lingvistik chiqish o'zgaruvchisi ω_j uchun Akkumulyatsiyalash natijasi, formulalardan biri bo'yicha olingan $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jq}$ noaniq to'plamlar birlashmasi kabi aniqlanadi. Agar har bir lingvistik chiqish o'zgaruvchilari uchun natijaviy tegishlilik funksiyalari va ularning qiymatlari aniqlangan bo'lsa, Akkumulyatsiyalash bosqichi tugallangan hisoblanadi, bu yerda S – noaniq xulosa tizimi qoidalari bazasidagi lingvistik chiqish o'zgaruvchilarining umumiy soni.

Noaniq xulosa tizimlaridagi **defazzifikatsiya (defuzzification)** o'zida $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s\}$ to'plamdagi har bir lingvistik chiqish o'zgaruvchilari uchun oddiy (aniq) qiymatlarni topish amali yoki jarayonini aks ettiradi.

Defazzifikatsiyaning maqsadi, barcha lingvistik chiqish o'zgaruvchilarini Akkumulyatsiyalash natijalaridan foydalanib, noaniq xulosa tizimi uchun tashqi hisoblangan maxsus qurilmalarni qo'llab, chiqish o'zgaruvchilarining har biri uchun oddiy miqdoriy qiymatlar (crisp value) ni aniqlashdan iborat.

Zamonaviy boshqarish tizimida qo'llanilayotgan qurilma va mexanizmlar an'anaviy buyruqlarni mos boshqarish o'zgaruvchilari shaklida qabul qilish imkoniga ega. Aynan shuning uchun noaniq to'plamlarni ba'zi aniq qiymatli o'zgaruvchilarga o'zgartirish lozim. Shuning uchun ham defazzifikatsiyaning *aniqlikka keltirish* deb atashadi.

Defazzifikatsiya amali rasman quyidagicha amalga oshiriladi. Bu bosqich boshlangunga qadar, $C_1', C_2', \dots, C_s'$ to'plam shaklidagi barcha lingvistik chiqish o'zgaruvchilarining tegishlilik funksiyalari ma'lum deb faraz qilinadi, bu yerda s – noaniq xulosa tizimi qoidalar bazasidagi lingvistik chiqish o'zgaruvchilarining umumiy soni.

Keyin ketma-ket tarzda har bir $\omega_j \in W$ lingvistik chiqish o'zgaruvchisi va ularga mos keluvchi noaniq to'plam C_j ko'rib chiqiladi. Lingvistik chiqish o'zgaruvchisi ω_j uchun defazzifikatsiya natijasi, quyida ko'rib chiqiladigan formulalardan biri bo'yicha hisoblanadigan miqdoriy qiymat $y_j \in R$ shaklida aniqlanadi.

Har bir lingvistik chiqish o'zgaruvchilari uchun natijaviy miqdoriy qiymat haqiqiy son, ya'ni $y_1, y_2, \dots, y_s$ shaklida aniqlangandan so'ng defazzifikatsiya bosqichi tugallangan hisoblanadi, bu yerda s – noaniq xulosa tizimi qoidalar bazasidagi lingvistik chiqish o'zgaruvchilarining umumiy soni.

Defazzifikatsiya bosqichida hisoblarni amalga oshirish uchun defazzifikatsiya usullari deb nom olgan formulalar ishlatilishi mumkin.

Og'irlik markazi usuli. Zaning og'irlik markazi (CoG, COG, Centre of Gravity) yoki markazoidi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$y^* = \frac{\int_{Min}^{Max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{Min}^{Max} \mu(x) dx},$$

bu yerda u – defazzifikatsiya natijasi; x – lingvistik chiqish o'zgaruvchisi ω ga mos keluvchi o'zgaruvchi; $\mu(x)$ – akkumulyatsiya bosqichidan so'ng chiqish o'zgaruvchisi ω ga mos keluvchi noaniq to'plamning tegishlilik; Min va Max – ko'rib chiqilayotgan ω chiqish o'zgaruvchisining noaniq to'plami tashuvchisi oralig'ining chap va o'ng nuqtalari.

Og'irlik markazi usulida defazzifikatsiyalashda chiqish o'zgaruvchisining oddiy (aniq) qiymati, chiqish o'zgaruvchisiga mos keluvchi tegishlilik funksiyasi egri chiziqlari bilan chegaralangan yuzaning og'irlik markazining abssissasiga teng.

Bir nuqtali to'plamlar uchun og'irlik markazi usuli. Bir nuqtali to'plamlar uchun og'irlik markazi (CoGS, Centre of Gravity for Single tons) quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)},$$

bu yerda n – bir nuqtali (bir elementli) noaniq to'plamlar soni bo'lib, ularning har biri qaralayotgan lingvistik chiqish o'zgaruvchisining yagona qiymati bilan tavsiflanadi.

Yuzaning markazi usuli. Yuza markazi (CoA, COA, Centre of Area, Bisector of Area) $y = u$ ga teng, bu yerda qiymat u quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\int_{Min}^u \mu(x) dx = \int_u^{Max} \mu(x) dx.$$

Boshqacha so'z bilan aytganda, yuzaning markazi, chiqish o'zgaruvchisining tegishlilik funksiyasi egri chizig'i grafigi bilan chegaralangan yuzani teng ikkiga ajratuvchi absissaga teng. Ba'zida yuzaning markazini *yuzaning bissektorisasi* deb atashadi. Bu usul bir nuqtali to'plamlar holatida qo'llanilmaydi.

Chap modalli qiymat usuli. Chap modalli qiymat (LM, Left Most Maximum) quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$y = \min\{x_m\},$$

bu yerda x_m – akkumulyatsiyadan so'ng ω chiqish o'zgaruvchisiga mos keluvchi noaniq to'plamning modalli qiymati (moda).

Agar noaniq to'plam bir nechta modal qiymatlarga ega bo'lsa, chiqish o'zgaruvchisining qiymati chiqish o'zgaruvchisi yoki modallardan eng kichigi (eng chapdagisi) ga mos keluvchi noaniq to'plam modasi kabi aniqlanadi.

O'ng modalli qiymat usuli. O'ng modalli qiymat (RM, Right Most Maximum) quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$y = \max\{x_m\},$$

bu yerda x_m - akkumulyatsiyadan so'ng ω chiqish o'zgaruvchisiga mos keluvchi noaniq to'plamning modalli qiymati (moda).

Noaniq xulosa algoritmlari.

Bugungi kunga qadar noaniq xulosaning bir nechta algoritmlari taklif etilgan [20]. Ulardan noaniq xulosada keng qo'llanilganlari quyida ko'rib chiqiladi.

Sukamoto (Tsukamoto) algoritmi

Sukamoto algoritmi rasman quyidagicha aniqlanishi mumkin.

1. Noaniq xulosalash tizimi qoidolari bazasini shakllantirish.
2. Kirish o'zgaruvchilarini fazzifikatsiyalash.
3. Noaniq mahsulotlardagi shartchalarni agregatlash. Noaniq mahsulotlarning barcha qoidolari shartlarining haqiqiylik darajalarini aniqlash uchun juft noaniq mantiqiy amallar ishlatiladi. Shartlarning

haqiqiylik darajasi noldan farq qiluvchi qoidalar faol hisoblanadi va keyingi hisoblarda ishlatiladi.

4. Noaniq mahsulotlar qoidalaridagi xulosachalarni faollashtirish. Mamdani algoritmgiga o'xshash tarzda amalga oshiriladi, shundan keyin noaniq mahsulotlar faol qoidalari xulosachalarining har biridagi barcha lingvistik chiqish o'zgaruvchilarining oddiy (aniq) qiymatlari topiladi. Ushbu holda har bir xulosachadagi w_i lingvistik chiqish o'zgaruvchilarining qiymatlari quyidagi tenglama yechimi kabi topiladi:

$$c_i = \mu(w_i) \quad (\forall i \in \{1, 2, \dots, q\}),$$

bu yerda q – qoidalar bazasidagi xulosachalarning umumiy soni.

5. Mahsulotlarning noaniq qoidalari xulosalarini akkumulyatsiyalash umuman mavjud emas, chunki hisoblar oddiy haqiqiy sonlar w_i bilan olib boriladi.

6. Chiqish o'zgaruvchilari defazzifikatsiyasi. Bir nuqtali to'plamlar uchun og'irlik markazi usuli shaklidagi takomillashgan variant ishlatiladi:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n c_i}.$$

bu yerda p – xulosachalarida w_i lingvistik chiqish o'zgaruvchisi bo'lgan noaniq mahsulotlari faol qoidalarining umumiy soni.

Larsen (Larsen) algoritmi

Larsen algoritmi rasman quyidagicha amalga oshirilish mumkin.

1. Noaniq xulosalash tizimi qoidalari bazasini shakllantirish.
2. Kirish o'zgaruvchilarini fazzifikatsiyalash.
3. Noaniq mahsulotlardagi shartchalarni agregatlash. Noaniq mahsulotlar barcha qoidalari shartlari haqiqiyligini topish uchun just noaniq mantiqiy amallar ishlatiladi (max-diz'yunksiya va min-kon'yunksiya). Shartlarning haqiqiylik darajasi noldan farq qiluvchi qoidalar faol hisoblanadi va keyingi hisoblarda ishlatiladi.

4. Noaniq mahsulotlar qoidalaridagi xulosachalarni faollashtirish. Noaniq to'plam $C_1, C_2, \dots, C_q$ topiladi, bu yerda q – qoidalar bazasidagi xulosachalarning umumiy soni.

5. Mahsulotlarning noaniq qoidalari xulosalarini Akkumulyatsiyalash. Bir xil lingvistik chiqish o'zgaruvchilariga

taalluqli xulosachalar termilariga mos keluvchi $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$ noaniq to'plamlarni birlashtirish formulasi bo'yicha amalga oshiriladi.

6. Chiqish o'zgaruvchilari defazzifikatsiyasi.

Noaniq xulosaning soddalashtirilgan algoritmi

Noaniq xulosaning *soddalashtirilgan algoritmi* quyidagicha aniqlanishi mumkin.

1. Noaniq xulosa tizimi qoidalari bazasini shakllantirish. Qoidalar bazasida quyidagi shakldagi noaniq amallar ishlatiladi:

QOIDA: AGAR « β_1 tegishli α' » VA « β_2 tegishli α'' » bo'lsa, UNDA « $w = \varepsilon$ » bo'ladi.

Bu yerda ε – biror haqiqiy son.

2. Kirish o'zgaruvchilarini fazzifikatsiyalash.

3. Noaniq mahsulotlar qoidalaridagi shartchalarni agregatlash. Noaniq mahsulotlarning barcha qoidalaridagi shartlarning haqiqiylik darajalarini topish uchun mantiqiy amal – min-kon'yunksiya ishlatiladi. Shartlarning haqiqiylik darajasi noldan farq qiluvchi qoidalar faol hisoblanadi va keyingi hisoblarda ishlatiladi.

4. Noaniq mahsulotlar qoidalaridagi xulosachalarni faollashtirish. Noaniq mahsulotlar qoidalari barcha xulosalarining haqiqiylik darajalari qiymatlari $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ topiladi, bu yerda n – qoidalar bazasidagi qoidalarning umumiy soni.

5. Mahsulotlarning noaniq qoidalari xulosalarini akkumulyatsiyalash umuman mavjud emas, chunki hisoblar oddiy haqiqiy sonlar c_i bilan olib boriladi.

7. Chiqish o'zgaruvchilari defazzifikatsiyasi. Bir nuqtali to'plamlar uchun og'irlik markazi usuli shaklidagi takomillashgan variant ishlatiladi.

Noaniq modellashtirishning amaliy masalalarini yechishda, yanada monandroq natijalarni olish maqsadida, bir vaqtda bir nechta noaniq xulosa algoritmlaridan foydalanish mumkin.

3.3. Texnologik jarayonlarni boshqarishning «aqlli» tizimlari

So'nggi vaqtlarda kompyuterli va axborot texnologiyalarining rivojlanishi va keng qo'llanilishi hisobiga masalalar tasnifini yechishda (xususan, diagnostika masalalarini yechishda) sun'iy

intellekt tizimlari [21-31]. Sun'iy intellekt (SI) yoki Artificial Intelligence (AI) deganda, odatda, o'ziga insonning intellektining ba'zi funksiyalarini (masalan, ilgari olingan tajriba asosida optimal yechimlarni tanlash va qabul qilish hamda tashqi ta'sirlarni ratsional tahlil qilish, o'qish jarayonida bilimlarni orttirish, eslab qolish va maqsadga yo'naltirgan holda o'zgartirish yo'li bilan turli holatlarga moslashish masalalarini yechish) oluvchi avtomatik tizimlar tushuniladi.

Sun'iy intellekt tizimlari (SIT) ga quyidagi ilmiy yo'nalishlar kiradi:

- intellektual teskari aloqali va intellektual interfeysli tizimlar;
- timsollarni tanishning avtomatlashtirilgan tizimlari;
- qarorlar qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi avtomatlashtirilgan tizimlar;
- ekspertli tizimlar (ET);
- neyronli tarmoqlar;
- genetik algoritmlar va tadrijiy rivojlanishni modellashtirish;
- kognitiv modellashtirish;
- tajribadan bilimlarni aniqlash (empirik dalillar) va ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish (*data mining*);
- noaniq mantiq.

Sun'iy intellekt tizimlari o'zida bilimlarni intensional va entensional ifodalashni uyg'unlashtiradi, shuningdek o'ziga ekspertning ba'zi intellektual funksiyalarin oladi. Masalan, ko'p qatlamli neyron tarmoqlari (ko'p qatlamli perseptron yoki Fukushimning neokognitronlari) chiziqli-ajralmas to'plamlarni ikkinchi qatlam uchun chiziqli-ajraluvchilarga o'tkazadi, qolgan qatlamlar esa fazoda koordinatalarni aylantirish, masshtablash va timsolning opoplogik komponentini ajratish, metrik farqlardan chiqish va shu kabi maxsus funksiyalarni bajarishi mumkin. Bundan tashqari, neyronli tarmoqlar o'rganilayotgan barcha tanlanmalarni sinflarini eslab qolish va timsollarning ushbu sinflarga tegishlilik darajasi haqida xulosa chiqarish qobiliyatiga ega bo'lib, bu timsollarni tanishning ekstensional usullari uchun xosdir.

Sun'iy intellekt usullaridan foydalanib, qurilgan timsollarni tanish tizimi quyidagi afzalliklarga ega:

- katta hajmdagi ma'lumotlar bilan ishlash samaradorligining yuqoriligi;

- murakkab nohiziqli munosabatlarni amalga oshirish qobiliyati;
- ma'lumotlarni taqsimlash funksiyasiga cheklanishlarning yo'qligi;
- turli tipdagi eksperimental ma'lumotlarga ishlov berish imkoniyati;
- o'rganish tanlanmalari jadvalida nuqsonlar borligida ham ish qobiliyatini saqlab qolish.

Sun'iy intellektning asosiy kamchiligi, timsollarni tanish tizimini sintezlash uchun yuqori quvvatli hisoblash texnikasiga bo'lgan zarurat va uni sozlash uchun ko'p vaqt talab etilishi hisoblanadi. Bu kamchilik SIT larini ishlab chiqarishga faol joriy etishga xalaqit beruvchi asosiy omil hisoblanadi.

3.3.1-jadvalda timsollarni tanishning rasmiy usullari, ularga bo'lgan cheklanishlar va qo'llanilish sohalari to'g'risida qisqacha ma'lumot berilgan.

3.3.1-jadval

Timsollarni tanish usullari

<i>Timsollarni tanish usullari tasnifi</i>		<i>Qo'llanilish sohasi</i>	<i>Cheklanishlar (kamchiliklar)</i>
Belgilar bilan olib boriladigan amallarga asoslangan usullar (intensional usullar)	Belgilar qiymatlarini taqsimlanish zichligini baholashga asoslangan usullar	Ma'lum (me'yoriy) taqsimlanishli masalalar, statistikaning katta obyektlari to'plamiga bo'lgan zarurat	Ish vaqtida barcha o'rganish to'plamlarini qayta tanlash zarurati, o'rganuvchi to'plam va artefaktlar reprezentativligiga bo'lgan yuqori sezgirlik
	Hal etuvchi funksiyalar sinfi haqidagi taxminlarga asoslanuvchi usullar	Sinflar yaxshi ajraluvchan bo'lishi, belgilar tizimi esa ortome'yorlashgan bo'lishi kerak	Hal etuvchi funksiyaning ko'rinishi oldindan ma'lum bo'lish kerak. Belgilar o'rtasidagi korrelyatsiya haqidagi yangi bilimlarni e'tiborga olish imkonini yo'qligi
	Mantiqiy usullar	Belgilar fazosi o'lchamining katta bo'lmagan masalalari	Mantiqiy hal etuvi qoidalarini tanlashda (kon'unksiyada) to'la qayta tanlash zarur. Hisoblash mehnatining yuqoriligi
	Lingvistik (strukturali) usullar	Belgilar fazosi o'lchamining katta bo'lmagan masalalari	Fikrlarning (obyektlar tavsui) ba'zi to'plamlari bo'yicha grammatikam tiklash (aniqlash) masalasi qiyin ifodalanadigan hisoblanadi
obyektlar bilan olib boriladigan amallarga asoslangan	Prototip bilan solishtirish usuli	Belgilar fazosi o'lchamining katta bo'lmagan masalalari	Tasniflash natijalarining holat o'lchamlariga bog'liqligining yuqoriligi

usullar (ekstensional usullar)	k-yaqin qo'shniqlar usuli	Sinflar va belgilar miqdori bo'yicha o'lchamning katta bo'lmagan masalalari	Tasniflash natijalarining holat o'lchamlariga bog'liqligining yuqoriligi Tanishda o'rganuvchi tanlanmalarning to'la tanlanish zarurati. Hisoblashga oid mehnat sig'imi
	Baholarni (ovozlarni) hisoblash algoritmirlari BHA	Sinflar va belgilar miqdori bo'yicha o'lchamning katta bo'lmagan masalalari	Tasniflash natijalarining holat o'lchamlariga bog'liqligining yuqoriligi Tanishda o'rganuvchi tanlanmalarning to'la tanlanish zarurati Usulning yuqori texnik murakkabligi
	Hal etuvchi qoidalar jamoasi	Sinflar va belgilar miqdori bo'yicha o'lchamning katta bo'lmagan masalalari	Usulning yuqori texnik murakkabligi, xususiy va eng xususiy hollar kompetensiyalari sohasini aniqlashdagi nazariy muammolar.
Sun'iy intellekt tizimlari (SIT)		Katta o'lchamli masalalar, sinflarning noaniq bo'linishi, qiyin ifodalanadigan masalalar	Yuqori quvvatli hisoblash texnikasining mavjudligi

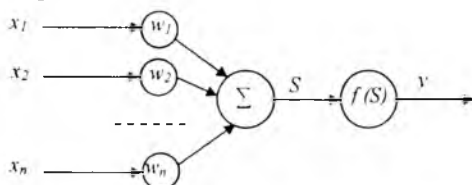
3.4. Nazorat, diagnostika va boshqarishning intellektual tizimlarini qurishning neyrotarmoqli texnologiyalari

Sun'iy neyron tarmoq o'zida inson miyasida z beruvchi neyrofiziologik jarayonlarni modellashtirishga bo'lgan urinishlar natijasida yaratilgan hisoblash ilovasini namoyon etadi. Sun'iy neyronlar tarmog'i (neyron tarmoqlarining elementar tashkil etuvchisi) o'zida axborotlarga ishlov berishning yuqori samarali, kompleks, nochiziqli, parallel tizimini namoyon etadi [32,33]. Neyronli tarmoqlar bashoratlash, timsollarni tanish, modellashtirish va shu kabi masalalarda ma'lumotlar to'plami shaklida aks ettirilgan ma'lumotlar shabloni qonuniyatlarini topish uchun ishlatiladi. Matematik nuqtai-nazardan neyronli tarmoqlar yumshoq nochiziqli regression modellar, farqli modellar, yagona nochiziqli dinamik tizimga keltirilgan ma'lumotlar miqdorini kamaytirish uchun modellarining sinfiga tegishlidir.

Neyroinformatikada algoritmlar va qurilmalarni tavsiflash uchun maxsus "sxema-texnika" tanlangan bo'lib, elementar qurilma – neyronlar masalalarni yechish uchun mo'ljallangan tarmoqlarni birlashtiradi. Bu – neyronli tarmoqlarni tushuntirishning o'ziga xos tili.

Datriy va apparatli amalga oshirishda tavsif bu tildan boshqa tilga o'tkaziladi va ishlatishga yaroqli ahvolga keltiriladi.

Eng sodda neyron tarmog'i biologik neyronlar faoliyatini aks ettiruvchi rasmiy neyronlar hisoblanadi (3.4.1-rasm) [34]. Bu yerda: $x_1, x_2, \dots, x_n$ - neyron kirishiga beriladigan signallar; $w_1, w_2, \dots, w_n$ - neyronning vazn koeffitsiyentlari; $f(S)$ - faollashtirish funksiyasi; y - neyronning chiqish signali.



3.4.1-rasm. Sun'iy neyron strukturasi.

Kirish signallarining tortilgan yig'indisi S quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i - T,$$

bu yerda T - siljish (ko'p modellarda $T = 0$).

Ko'p hollarda kirish signali, vazn koeffitsientlari, faollashtirish funksiyalari, chiqish signallari haqiqiy qiymatlarni qabul qilishi mumkin. Neyronlarning chiqish qiymatlari faollashtirish funksiyalari $f(S)$ ning ko'rinishi haqiqiy va butun bo'lishi mumkin.

Amaliyotda qo'llaniladigan faollashtirish funksiyalarining turi ko'p. Ularning keng tarqalganlari 3.4.1-jadvalda keltirilgan.

O'zaro bog'langan neyronlar to'plami sun'iy neyron tarmoqlari (SNT) ni hosil qiladi. Aloqalari arxitekturasiga ko'ra neyrotarmoqlar quyidagicha guruhlanishi mumkin: to'g'ri taqsimlangan SNT va rekurrent tarmoqlar (3.4.2-rasm).

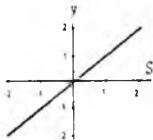
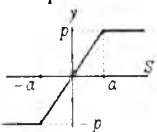
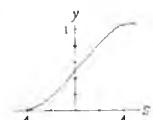
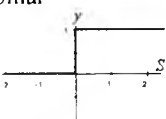
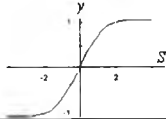
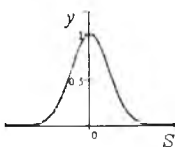
Neyronlari qatlamli joylashgan to'g'ri taqsimlangan SNT lari amalda keng qo'llanilmoqda. Bunday tarmoqlar *ko'p qatlamli perseptronlar* deyiladi. To'g'ri taqsimlangan SNT statik hisoblanadi. Kirish signallarining berilgan vektorida ular SNT barcha neyronlari chiqishida signal vektorining yagona qiymatini ishlab chiqaradi.

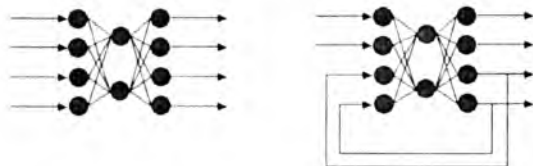
Rekurrent tarmoqlar dinamik hisoblanadi, chunki ularda teskari aloqa sifatida neyronlarning kirishiga signallar beriladi va bu hisoblash

qadamlarida SNT dinamikasini o'zgarishga olib keladi. Rekurrent tarmoqlar odatda dinamik tizimlarni identifikatsiyalashda ishlatiladi.

3.4.1-jadval.

Faollashtirish funksiyalarining turlari

No t/r	Faollashtirish funksiyalarining turi	Analitik ifodasi
1	Chiziqli 	$y(S) = k \cdot S$, k -funksiya og'ishini belgilovchi koeffitsiyent
2	Bo'lakli-chiziqli 	$y(S) = \begin{cases} p, & \text{agar } S \geq a \text{ bo'lsa} \\ k \cdot S, & \text{agar } a > S > -a \text{ bo'lsa} \\ -p, & \text{agar } S < -a \text{ bo'lsa} \end{cases}$
3	Sigmoidal 	$y(S) = \frac{1}{1 + e^{-k \cdot S}}$
4	Ostonali binar 	$y(S) = \begin{cases} 1, & \text{agar } S \geq 0 \text{ bo'lsa} \\ 0, & \text{agar } S < 0 \text{ bo'lsa} \end{cases}$
5	Giperbolik tangens 	$y(S) = th(S) = \frac{e^S - e^{-S}}{e^S + e^{-S}}$
6	Radial-bazisli 	$y(S) = e^{-\frac{S^2}{2\sigma^2}}$, bu yerda σ -normal taqsimlanishning o'rtacha kvadratik og'ishi; kenglik funksiyasi: $S^2 = \sum_i (x_i - w_i)^2$



3.4.2-rasm. Sun'iy neyron tarmoqlarining arxitekturalari turi.

Neyrotarmoqli modellashtirishni nazariy asoslash A.N.Kolmogorov teoremasiga tayanadi, unga ko'ra birlik kesma $[0;1]$ dagi ixtiyoriy uzluksiz ko'p o'lchamli funksiyani bir o'lchamli chekli son ko'rinishida tasvirlash mumkin [35]:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{p=1}^{2n+1} g\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \varphi_p(x_i)\right),$$

bunda g va φ_p - uzluksiz va bir o'lchamli funksiyalar, $\lambda_i = \text{const}$.

Bunda ko'p qatlamli SNT (hatto bitta yashirin qatlamli bo'lsa ham) yordamida ixtiyoriy ko'p o'lchamli funksiyani birlik kesmada ixtiyoriy aniqlik bilan silliqlantirish mumkin.

Sun'iy neyro-tarmoqlarni o'rgatish. Sinaptik vaznlarni identifikatsiyalash amali *SNT larni o'rgatish yoki shug'ullantirish* deyiladi. SNT larni o'rgatish odatda yoki real foydalanish jarayonida yoki imitatsin modellashtirish usuli bilan amalga oshiriladi.

O'rgatishning ikkita asosiy turini ajratib ko'rsatish mumkin: nazorat qilinadigan o'rgatish va o'zi o'rganish [36]. *Nazorat qilinadigan o'rgatishda* tashqi "o'qituvchi" bo'ladi va u tarmoqning kirish ta'sirlarini berilgan vektoriga reaksiyasini nazorat qiladi va uning parametrlarini takomillashtiradi. *O'zi o'rganishda* esa tarmoq tashqi muhit ta'sirida, o'qituvchisiz o'zini-o'zi tashkil qiladi. O'zini-o'zi tashkil etish, neyron tarmog'i berilgan kirish vektorida maksimal chiqishga ega bo'ladigan qilib amalga oshiriladi. Adabiyotlarda o'zini-o'zi tashkil etuvchi tarmoqlar Koxonen tarmog'i sifatida ma'lum bo'lib, ular timsollarni tanish va ularni tasniflash masalalarida ishlatiladi.

Nazorat qilinadigan o'rgatishning ikki turi mavjud: bevosita nazorat qilinadigan o'rgatish va o'rganishni rag'batlantirish.

Bevosita nazorat qilinadigan o'rgatishda, etalon kirish va chiqish signallaridan iborat shug'ullantiruvchi ma'lumotlar mavjud deb faraz qilinadi. O'rgatish jarayonida "o'qituvchi" va neyron tarmoqning

kirishiga bir xil shug'ullantirish shabloniga mos keluvchi signal beriladi. "O'qituvchi" berilgan signalga qanaqa reaksiya berish kerakligini tarmoqqa xabar qiladi. Real va kutilgan chiqishlar o'rtasidagi xatolikka ko'ra, ma'lum algoritm bo'yicha tarmoqning vazn koeffitsiyentlarini sozlash amalga oshiriladi. Bevosita o'rgatish yordamida ko'pincha funksiyalarni silliqlantirish va dinamik obyektlarni identifikatsiyalash kabi masalalar yechiladi.

Rag'batlantiruvchi o'rgatishda "o'qituvchi" bilimidan foydalanilmaydi. O'rgatish biron-bir tashqi mezon bahosi natijalariga ko'ra olib boriladi. Neyrokontrollarni boshqarish tizimi bunga eng yaxshi misol bo'la oladi. Boshqarish sifatini faqatgina obyektning chiqish signali bo'yicha baholash mumkin.

Bevosita nazorat qilinadigan o'rgatishning eng mashhur algoritmlari – xatolarni teskari taqsimlash algoritmi va genetik algoritmlarning turli modifikatsiyalari.

Neyronli tarmoqlarni amaliy qo'llashga misollar. Yechilishida bugungi kunda neyrotarmoqli texnologiyalar keng qo'llanilayotgan masalalar sinfini keltiramiz.

Bashoratlash

Vaqtga bog'liq bo'lgan o'zgaruvchilarning kelgusidagi qiymatlarini, ularning oldingi qiymatlari yoki boshqa o'zgaruvchilarga ko'ra bashoratlash. Iqtisodiyot, moliya va biznes sohalarida – bu , masalan, aksiyalar kursini bir kun oldin bashoratlash yoki ma'lum vaqt davri uchun valyutalar kursi o'zgarishini bashoratlash va shu kabilar.

Bo'lajak hodisalar yoki unga yaqinlari haqidagi xulosalarni neyronli tarmoqlar oldingi tajribalarni o'rganish, tahlil qilish va umumlashtirish orqali amalga oshiradi.

Timsollarni tanish va tasniflash

Tasniflash masalasi (harflarni tanishga o'xshash) yomon algoritmlanadi. Agar harflarni tanish holatida to'g'ri javob oldindan ma'lum bo'lsa, unda murakkabroq amaliy masalalarda neyronli tarmoq, katta tajribali va qiyin savollar va tavsiyalarga javob beradigan ekspert kabi ishlaydi.

Bunga tibbiy diagnostika misol bo'lishi mumkin, bunda tarmoq ko'p sondagi sonli parametrlarni (ensifalogramma, bosim, vazn va shu kabi) e'tiborga oladi. Albatta tarmoqning "xulosasi"ni so'nggi natija

deb hisoblash kerak emas. Chunki neyron tarmoq tavsiya berishi mumkin, ammo natijaviy yechimni shifokor qabul qiladi.

Bugungi kunda ko'pgina kompaniyalar korxonalarini ularda neyronli tarmoqlarni qo'llash istiqbollariga ko'ra tasniflashmoqda. Bunda tarmoq, murakkab bog'langan iqtisodiy ko'rsatkichlar to'plamidan foydalanadi.

Neyrotarmoqli yondashuvdan ekspertli baholash masalalarida foydalanish maqsadga muvofiq, chunki u sonlarga ishlov berish va ularni umumlashtirish, tanishga kompyuterli qobiliyatni o'zida mujassamlashtiradi. Neyronli tarmoq katta miqdordagi (bir necha ming) omillarga, ularning yaqqolligidan qat'iy nazar ishlov berish imkonini beradi va bu hol tarmoqni ixtiyoriy sohada tashxis qo'ya oladigan universal asbobga aylantiradi.

Qonuniyatlarni klasterlash va qidirish

Neyron tarmoqlari ma'lumotlardagi bog'liqlarni qidirish va klasterlash uchun tasniflash masalalaridan keng foydalanadi. Masalan, neyronli tarmoq argumentlarni guruhli hisobga olish usuli (AGHOU) asosida yoki genetik algoritmlar yordamida o'rganish orqali bir parametrning boshqasiga bog'liqligini ixtiyoriy murakkablik darajasidagi polinom ko'rinishida qura oladi. Bunday tarmoqlar nafaqat ko'paytirish amallarini, balki standart usullarda sezilmaydigan boshqa yashirin bog'liqliklarni ham topa oladi.

Klasterlash – bu misollar to'plamini bir qancha ixcham sohalar (kalsterlar) ga ajratish bo'lib, unda klasterlarning soni oldindan ma'lum bo'ladi. Klasterlash bir jinsli bo'lmagan ma'lumotlarni yanada yaqqol ko'rinishga o'tkazish va turli usullarning har bir klasterini tadqiq qilishda undan foydalanish imkonini beradi.

Optimal boshqarish va modellashtirish

Avtomatik boshqarish nazariyasida sun'iy neyron tarmoqlari (SNT) ni boshqarishning asosiy masalasini adaptiv qo'yilishi bilan bog'lashadi. Uning xususiyati boshqarish obyektining matematik modeli haqidagi boshlang'ich bilimlarning yo'qligidan iborat. Obyekt – bu noma'lum tasodifiy ta'sirlarga duchor bo'lgan "qora quti". Uni tahlil qilish uchn faqatgina kirish va chiqish signallari mavjud. Bunday tizimni boshqarishdan maqsad, ishlash davomida obyektning optimal xulqini ta'minlovchi boshqarish qonunini aniqlash hisoblanadi.

Bunday yondashuv doirasida boshqarish masalalarini yechish uchun so'nggi vaqtlarda SNT dan faol foydalanilmoqda va u boshqarish nazariyasidagi yangi uslubiyatni emas, balki butun paradigmani ilgari surmoqda [7,14,15]. Avtomatik boshqarish nazariyasidagi yangi yo'nalishga Verbos tomonidan neroboshqaruv (neurocontrol) deb nom berilgan [8].

SNT ga asoslangan diskret modellar *neyroemulyator* (NE) yoki *prediktor* deb ataladi.

Klassik identifikatsiya ma'lum gipoteza va tajriba ma'lumotlari bo'yicha nazariy tadqiqotlar asosida o'tkaziladi. Bunda asosiy e'tibor olingan modelning jismoniy mohiyatiga qaratiladi.

Identifikatsiya mohiyatiga ko'ra bashoratlashga o'xshash bo'lib, uning maqsadi – boshqarishning ma'lum strategiyasida obyekt xulqining bashoratini tezkor qurishdir.

Tasniflash masalasi

Tasniflash masalalarini yechishda muvaffaqiyatli qo'llanilayotgan neyronli tarmoqlarning qator asosiy paradigmalari ko'rib chiqamiz.

Neyron-klassifikator

Neyronning skalyar chiqishini *diskriminantli funksiya* deb ataladigan funksiya sifatida ishlatish mumkin. Bu atama bilan berilgan sinflardan birining kirish vektoriga tegishli indikator, neyron esa *chiziqli diskriminator* deb nomlanadi. Demak, agar kirish vektorlari ikki sinfdan biriga tegishli bo'lsa, unda kirish turini farqlash mumkin, masalan, agar $f(x) \geq 0$ bo'lsa, kirish vektori birinchi sinfga, aks holda ikkinchi sinfga tegishli.

Quyidagini qabul qilib, o'xshash strukturali o'rgatish algoritmini ko'rib chiqamiz:

$$f(x) \equiv x.$$

p -o'lchamli fazoda $x^1, \dots, x^n$ (birinchi sinf) va $y^1, \dots, y^m$ (ikkinchi sinf) o'rgatish tanlanmalari berilgan bo'lsin. Shunday $(r+1)$ vektorni w topish talab etiladiki, barcha $i=1, \dots, n$ va $j=1, \dots, m$ uchun

$$w_0 + \sum_{k=1}^p x^i \cdot w_k > 0 \text{ va } w_0 + \sum_{k=1}^p y^j \cdot w_k < 0 \text{ bajarilsin.}$$

$(p+1)$ - o'lchamli vektorlar z^l ($l=0,1,\dots,n+m$) ni quramiz:

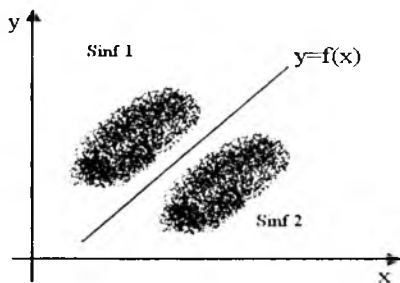
$l_1 = 1, \dots, n, t = 1, \dots, p$; bo'lganda $z_0^{l_1} = 1; z_t^{l_1} = x_t^{l_1}$

$l_2 = 1, \dots, m, t = 1, \dots, p$; bo'lganda $z_0^{l_2} = -1; z_t^{l_2} = -x_t^{l_2}$

Unda ajratish shartini bir turdagi tengsizliklar tizimi ko'rinishida yozish mumkin:

$$l = 1, \dots, n+m. \text{ bo'lganda } \sum_{k=0}^p z^l \cdot w_k > 0$$

Bu tengsizlik tizimni yechishda nolinchii yaqinlashish sifatida ixtiyoriy vector w ni olish mumkin, masalan, $w \in R[-1,1]$ ni. Keyin barcha $l = 1, \dots, (n+m)$ uchun tengsizlik $\sum_{k=0}^p z^l \cdot w_k > 0$ tekshiriladigan davr tashkil etiladi. Agar berilgan $l < (n+m)$ uchun u bajarilsa, keyingi l ga o'tish amalga oshiriladi. Agar u bajarilmas, unda vektor w qoidalar $w = w + z^l$ yoki $w = w + h_l z^l$ bo'yicha takomillashtiriladi, bunda T -takomillashtirish raqami, $h_l = \frac{1}{T}$. Agar butun davr mobaynida bitta ham xatolik bo'lmasa, yechim w topilgan, aks holda $l=1$ deb qabul qilinib davr boshdan boshlanadi.



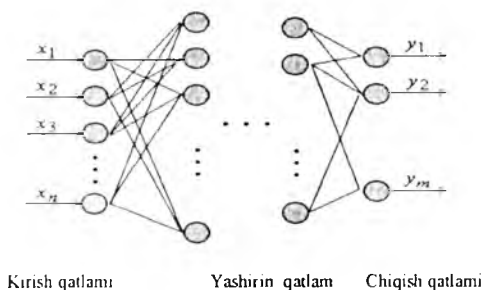
3.4.3-rasm. Chiziqli diskriminator.

Ikki sinfni bitta giper yuza bilan aniq ajratish mumkin bo'lgan sodda hollarda chiziqli diskriminator eng yaxshisi hisoblanadi. 3.4.3-rasmda $p = 2$ hol uchun o'xshash vaziyat keltirilgan.

Ko'p qatlamli perseptron

Chiziqli diskriminatorning imkoniyatlari nihoyatda cheklangan. Murakkabroq masalalarni yechishda neyrotarmoq o'ziga qo'shimcha neyronlar qatlamini qo'shib oladi. Bunda yashirin qatlamlar kirish

ma'lumotlariga qo'shimcha ishlov beradi. Bunday strukturalar *ko'p qatlamli perseptronlar* nomini olgan [17÷27] (3.4.4-rasm).



3.4.4-rasm. Ko'p qatlamli perseptron.

Perseptronlar neyroinformatikada nihoyatda mashhurdir. Bu birinchi navbatda, ularga beriladigan masalalarning keng doirasi va masalalarning tasniflanishi, jumladan timsollarni tanish, shovqinlarni filtrlash, vaqtli qatorlarni bashoratlash va shu kabilar bilan bog'liq, chunki aynan shunday arxitektura masalalarni yechish samaradorligi nuqtai-nazaridan o'zini oqlagan.

Bugungi kunda ko'p qatlamli neyrotarmoqlarni o'rganish uchun ko'pgina algoritmlar ishlab chiqilgan. Asosan barcha algoritmlarni ikki kategoriyaga ajratish mumkin [26,27]:

- gradiyentli algoritmlar;
- stoxastik algoritmlar.

Birinchi guruhga xatolik funksiyasining hosilasini hisoblash va vaznlarni topilgan hosilaga muvofiq to'g'rilovchi neyrotarmoqlar kiradi. Har bir keyingi qadam xatolik funksiyasining antigradiyenti tomonga yo'naltirilgan. Bu algoritmlarning asosini xatoliklarni teskari taqsimlash algoritmi (back propagation error) tashkil etadi.

Vaznlarga to'g'rilash kiritish quyidagi formula bilan amalga oshiriladi:

$$\Delta w(t) = -\eta \frac{\partial E}{\partial w},$$

bu yerda $E(w) = \frac{1}{2} \sum_k (d_k - y_k)^2$ - xatolik funksiyasi, η - o'rganish tezligining koeffitsiyenti ($0 < \eta < 1$), y_k - chiqishning real qiymati, d_k - k -neyron tarmog'ining kutilgan chiqish qiymati.

So'nggi paylarda ishlab chiqilgan, ko'p sonli modifikatsiyalar, bu algoritmnining samaradorligini oshirish imkonini beradi. Ulardan eng ma'lumlari quyidagilar:

1. Moment bilan o'rganish [25, 26]. Usulning g'oyasi, vazn qiymatiga kiritilayotgan to'g'rilash miqdoriga qo'shimcha kiritishdan iborat:

$$\Delta w(t) = -\eta \frac{\partial E}{\partial w} + \mu \Delta w(t-1).$$

2. Avtonom gradiyentli algoritm (qadam η uzunligini avtomatik o'zgartirish bilan o'rganish) [27].

3. RPROP (resilient-elastic) usuli, bunda har bir vazn o'zining moslashuvchan sozlanuvchi o'rganish sur'atiga ega [25].

4. Ikkinchi tartibli usullar, nafaqat xatolik funksiyasi gradiyenti haqidagi axborotdan foydalanadi, balki ikkinchi hosilalar haqidagi ma'lumotlardan ham foydalanadi [23-25].

O'rganishning stoxastik usullari oldingi o'zgarishlarni saqlagan holda, vaznlarning tasodifiy o'zgarishini amalga oshiradi va tarmoq tavsiflarining yaxshilanishiga olib boradi. Bu guruhga quyidagi algoritmlar kiradi:

1. Tasodifiy yo'nalishli qidirish algoritmlari [27];
2. Bolsman o'rganish algoritmi yoki yumshatishni imitatsiyalash algoritmi [22];
3. Koshining o'rganish algoritmi (Bolsman o'rganishiga qo'shimcha kabi) [22];
4. Tadrijiy algoritmlar (ular orasida eng mashhuri genetik algoritmlar hisoblanadi) [28].

Stoxastik algoritmlarning asosiy kamchiliklari: o'rganish vaqtining uzoqligi, shuningdek hisoblash xarajatlarining kattaligi. Biroq, stoxastik algoritmlar, global optimallashtirishni ta'minlaydi. Gradiyentli usullar ko'pincha faqatgina xatolik funksiyasining lokal minimumlarini topish imkonini beradi.

Shuningdek xatoliklarni teskari taqsimlash va Koshi algoritmlarini birgalikda qo'llashga asoslanuvchi algoritmlar ham mavjud. Bunday aralash algoritmlarda vaznlarga to'g'rilash kiritish ikki komponentdan tashkil topadi: teskari taqsimlanish algoritmidan foydalanib hisoblanadigan, yo'naltirilgan komponentlar hamda Koshi taqsimoti bilan aniqlanadigan tasodifiy komponentlar.

Vord tarmoqlari

Ko'p qatlamli perseptron variantlaridan biri Vord neyronli tarmog'i bo'lib, u ma'lumotlardagi turli xossalarni, yashirin qatlamida turli faollashtirish funksiyalariga ega bir nechta bloklari tufayli ajratishga qodir. Faollashtirish funksiyalari (odatda sigmoid turli) neyronning ichki faolligini o'zgartirish uchun xizmat qiladi. Yashirin qatlamning turli bloklarida turli uzatish funksiyalari ishlatilganda neyronli tarmoq yangi xossalarga ega bo'la boshlaydi.

Koxonen tarmoqlari

Koxonen tarmoqlari – neyron tarmoqlarining turlaridan biri bo'lib, sozlash uchun o'qituvchisiz o'rgatish algoritmi ishlatiladi. Koxonen neyron tarmoqlarining vazifasi kichik o'lchamli klasterlar xaritasiga katta o'lchamli kirish vektorlari to'plamini tasvirini qurishdan iborat, chunki shunday holda xaritada yaqin klasterlarda bir-biriga yaqin bo'lgan boshlang'ich fazodagi kirish vektorlari javob beradi.

Tarmoq bir yoki ikki o'lchamli xarita hosil qiladigan M neyronlardan tashkil topadi (3.4.5-rasm). Kirish signallarining elementlari $\{x_i\}$ tarmoqning barcha kirishlariga beriladi. Faoliyat ko'rsatish (o'zini-o'zi tashkil etish) davomida Koxonen qatlami chiqishida ma'lum kategoriyadagi kirish vektorlarini tavsiflovchi klasterlar (chiqishi noldan farqli bo'lgan, ma'lum o'lchamdagi faol neyronlar guruhi) paydo bo'ladi [21].

Tarmoqni sozlash uchun Koxonen algoritmi quyidagilardan iborat:

1. Tasodifiy qiymatli sinaptik vaznlarni aniqlash. Atrof $\sigma(0)$, o'rganish tezligi $\eta(0)$ va $t_{\max}$ qiymatlarni berish.
2. Kirish signallari $(x_1, \dots, x_p)$ ning qiymatlarini berish.
3. Tarmoqning barcha neyronlarigacha bo'lgan masofani hisoblash. Kirish signali x dan har bir k -neyrongacha bo'lgan masofa d_k quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$d_k = \sum_{i=1}^p (x_i - w_{ki})^2,$$

bunda x_i - kirish signalining i -elementi, w_{ki} - kirish signalining i -elementidan k -neyrongacha bo'lgan aloqaning vazni.

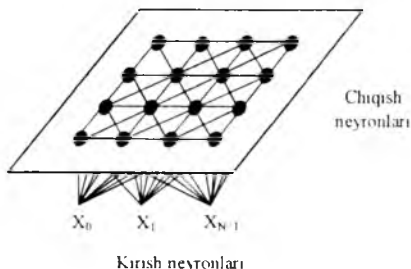
4. Neyron-g'olibni aniqlash (ya'ni d_j , masofa eng kichik bo'lgan j -neyronni):

$$j: d_j < d_k \quad \forall k \neq p$$

5. Quyidagi ifodalar bo'yicha g'olib va uning qo'shni neyronlari vaznini o'zgartirish:

$$\Delta w_{pj} = \eta(t) R(t) (x_i - w_{pj}) ; R(t) = \exp\left(-\frac{\|\tilde{w}_j - \tilde{w}_z\|}{2\sigma^2(t)}\right)$$

6. Quyidagi ifodalar bo'yicha atrof $\sigma(t)$ va o'rganish tezligi $\eta(t)$ ni o'zgartirish: $\sigma(t) = \sigma(0) \cdot (1 - t/t_{\max})$; $\eta(t) = \eta(0) \cdot (1 - t/t_{\max})$.



3.4.5-rasm. Koxonen tarmog'i.

7. Agar $(t < t_{\max})$ bo'lsa, unda 2-qadamga o'tilsin, aks holda TO'XTA.

Axborotlarni umumlashtirish qobiliyati hisobiga Koxonen xaritasi, geometriyasini amalda tasvirlash murakkab bo'lgan ko'p o'lchamli kirish fazosidagi ma'lumotlarning strukturalari haqida yaqqol tasavvur hosil qiluvchi qulay asbobga aylandi.

Qarama-qarshi taqsimlangan tarmoqlar

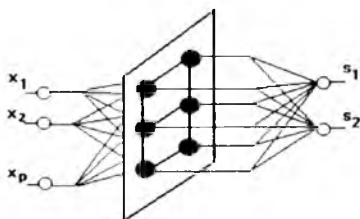
Yana bir guruhning texnik qo'llanilishi ma'lumotlarga dastlabki ishlov berish bilan bog'liq. Koxonen xaritasi yaqin kirish signallari X guruhlaydi, talab etiladigan funksiya $Y = G(X)$ esa Koxonen neyronlari chiqishiga to'g'ri taqsimlangan (masalan, ko'p qatlamli perseptron yoki Grossbergning chiziqli yulduzlari [9]) oddiy neyron tarmoqlari asosida quriladi. Bunday gibrid arxitektura R.Xext-Nilsen tomonidan taklif etilgan va u *qarama-qarshi taqsimlangan tarmoq* nomiga ega [22 - 27]. Koxonen tarmoqlari o'qituvchisiz, o'zini-o'zi

tashkil etish asosida o'rganadi, qatlamlarni tanuvchi neyronlar esa iteratsion usulli o'qituvchi bilan moslashadi. Tasniflash masalasini yechish uchun bunday strukturaga misol 3.4.6-rasmda keltirilgan.

Neyrotarmoqlarning ikkinchi sathi axborotlarni kodlash uchun ishlatiladi. Vazn koeffitsiyentlari t_{ij} ($i=1, \dots, M$; $j=1,2$) – Koxonen qatlamining i -neyronidan chiqish qatlamining j -neyronigacha bo'lgan koeffitsiyentlar quyidagicha hisoblanadi:

$$t_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{agar } Y_i \text{ va } S_j \text{ faollashtirilgan bo'lsa;} \\ 0, & \text{agar hech bo'lmaganda bittasi faollashmagan bo'lsa,} \end{cases}$$

bu yerda Y_i – Koxonen qatlamining i -neyroni chiqishi, S_j – maqsadli vektor komponenti.



3.4.6-rasm. Qarama-qarshi taqsimlangan tarmoq.

Shunday qilib, dastlabki o'rganish va Koxonen qatlamida klasterlarni shakllantirishdan so'ng, har bir olingan klasterning barcha neyronlari ikkilamchi o'rganish fazasida o'zlarining chiqish neyronlari orqali faol (birlik) sinapslar bilan birlashadi.

Ikkinchi qatlam chiqish neyronlari quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$S_j = f_j \left(\frac{1}{K_j} \sum_{i=1}^n t_{ij} Y_i - R \right), \quad j=1,2,$$

bu yerda

$$f_j(x) = \begin{cases} 1, & \text{agar } x > 0 \text{ bo'lsa;} \\ 0, & \text{agar } x \leq 0 \text{ bo'lsa;} \end{cases}$$

K_j - j -klaster o'lchami, ya'ni Koxonen qatlami neyronlarining koeffitsiyentlari noldan farqli j chiqish qatlami neyronlari bilan bog'langanlari soni; R - chegaraviy qiymat ($0 < R < 1$).

Chegaraviy qiymat R ni, bir tomondan faollashtirilgan klasterlar qiymati yo'qolmaydigan, boshqa tomondan esa "faollashmagan klasterlar shovqini" kesiladigan qilib tanlash mumkin.

Har bir qadamda boshlang'ich ma'lumotlarga ishlov berish natijasida, chiqishda qiymat S_j olinadi, (masalan, $S_1 = 1$ - buzilish; $S_2 = 1$ - me'yor).

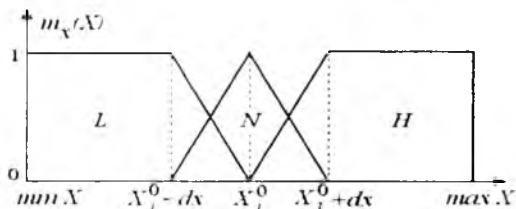
Noaniq xulosali SNT dan foydalanib tasniflash

Ixtiyoriy obyekt yoki texnologik jarayon uchun moddalar, energiya va impuls saqlanishining tenglamalar tizimini (balans ifodalari) tuzish mumkin. Bu tenglamalarga kiruvchi kattaliklar tashxislanuvchi parametrlar $X = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ vektorini hosil qiladi. Oddiy holda tashxislanuvchi parametrlar vektori komponentlarini dastlabki balanslangan rejim qiymatlariga nisbatan uchta noaniq termlar bilan aks ettirish mumkin (3.4.7-rasm) [30]:

- L (low) – agar parametrning qiymati dastlabki balanslangan rejim qiymatlariga nisbatan pasaysa;

- N (normal) – agar parametrning og'ishi dastlabki balanslangan rejimga nisbatan ruxsat berilgan diapazon chegaralaridan chiqmasa;

- H (high) – agar parametrning qiymati dastlabki balanslangan rejim qiymatlariga nisbatan oshib ketsa. Baholash algoritmining ishi natijasi bo'yicha omillar fazosini shakllantirish mumkin bo'lib, undagi o'qlar bo'yicha o'lgangan parametrlarning Δx_i ($i \in \overline{1, n}$) qiymatlariga to'g'rilash kiritishlar va nobalanslar qiymatlari ΔF_j ($j \in \overline{1, m}$) qo'yiladi.

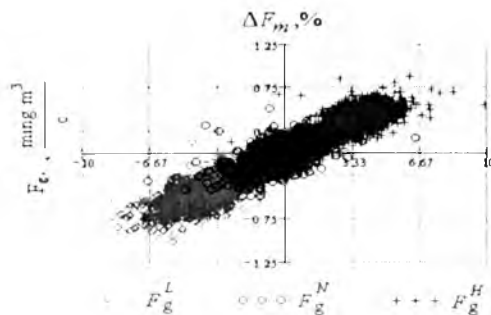


3.4.7-rasm. Uchburchakli tegishlilik funksiyali belgili noaniq o'zgaruvchilarning grafik tasvirlanishi.

Ma'lumotlarga to'plamli ishlov berishning ma'lum vaqt ichida olingan natijalari fazoda nuqtalar "buluti" shaklida aks ettiriladi. Agar biror parametrning pasayishi yoki oshishi kuzatilsa, natijada omillar fazosidagi "bulut" ning holati o'zgaradi. 3.4.8 – rasmda L , H va N termlar bilan berilgan "bulut" ning proyeksiyasi ko'rsatilgan

bo'lib, ular mos ravishda noaniq chegarali F_g^N , F_g^L va F_g^H to'plamlarni hosil qiladi.

Quyida o'lchash parametrlarini tashxislash maqsadida ularni tahlil qiluvchi neyro tarmoqli klassifikatori sintezlash uslubi ko'rsatilgan.



3.4.8-rasm. O'lchash vositalarining qisman buzilishini omillar fazosidagi "bulut" holatiga ta'siri.

Tasniflash masalalarini yechish uchun neyronli tarmoqni sintezlash

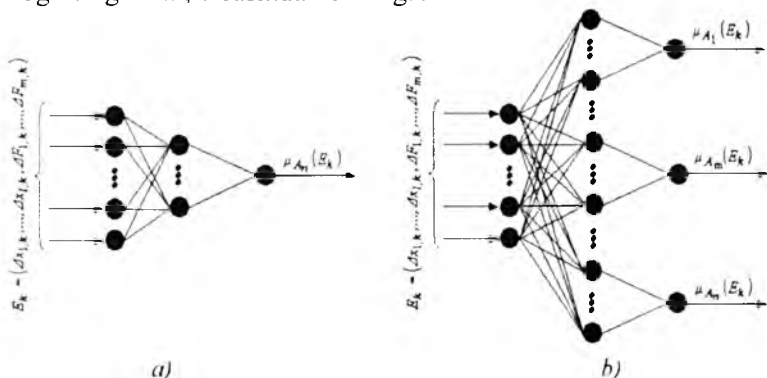
Tasniflash masalalarini yechish uchun uch qatlamli perseptron shakli ishlangan, to'g'ri yo'nalishli neyrotarmoqlardan foydalanish taklif etiladi. Tarmoq chiqish qatlamining faollashtirish funksiyasi sifatida sigmoidal ko'rinishli funktsiyani tanlash mumkin:

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-s}}.$$

Bunday faollashtirish funktsiyali neyronning chiqish iymati $[0,1]$ diapazonda yotadi. Neyronlarning chiqish qiymatlari mos termlarning tegishlilik funktsiyalariga javob beradigan qilib sozlanadi. Bu holda neyronning chiqish qiymati biror A_n noaniq to'plamdagi $E_k = (\Delta x_{1,k}, \dots, \Delta x_{l,k}, \Delta F_{1,k}, \dots, \Delta F_{m,k})$ kirish vektorining tegishlilik darajasini ko'rsatadi. Faollashtirish funktsiyasi qiymati $\mu_{A_n}(E_k) = 1$, vektor E_k noaniq to'plam A_n da yotishini, qiymat $\mu_{A_n}(E_k) = 0$ esa vektor E_k noaniq to'plam A_n da yotmasligini bildiradigan qilib tanlanadi.

Har bir sinfni tanish uchun individual uch qatlamli perseptrondan foydalanish taklif etiladi. Oraliq qatlamdagi neyronlar soni tarmoqdagi

kirish va chiqish neyronlari yarim yig'indisiga teng [36]. Bunday neyronning umumiy ko'rinishi 3.4.9, a-rasmda ko'rsatilgan. Buzilishlarni tasniflash masalasini yechish uchun tashxislovchi neyron tarmog'ining 3.4.9, b-rasmda keltirilgan.



3.4.9-rasm. Tashxislovchi neyron tarmoqlari strukturasi.

Neyron tarmog'ining qabul qilingan strukturasi quyidagi imkoniyatlarni beradi:

- SNT ni ketma-ket o'rgatishni o'tkazish;
- SNT ni tanlab o'rgatishni o'tkazish;
- neyronlar o'rtasidagi aloqalarni buzmasdan va SNT ni qayta o'rgatmasdan turib, tanish uchun berilgan sinflarni qo'shish yoki olib tashlash.

Bunday yondashuv neyron tarmoqlaridan foydalanish jarayonida hisoblash manbalarini tejash imkonini beradi.

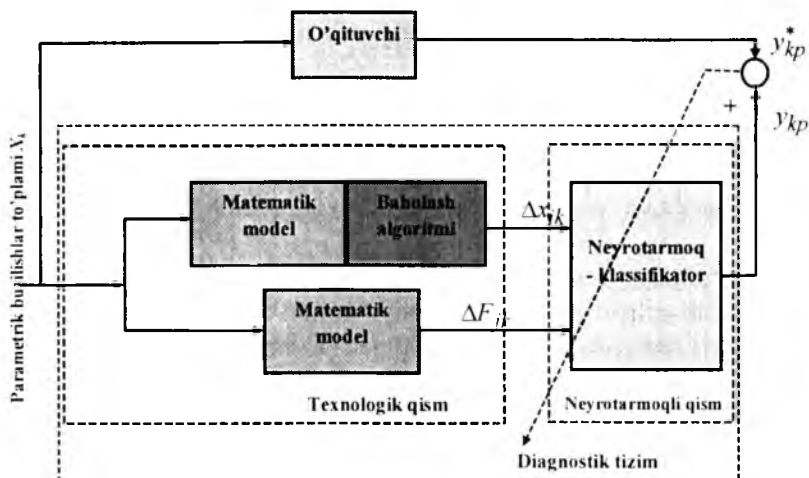
Neyronlarning strukturasi tanlagandan so'ng ularni o'rgatish zarur. O'rgatish vaqtida chiqish va etalon vektorlar o'rtasidagi tarmoqning kvadratik xatoligini minimallashtirish maqsadida har bir neyron uchun sinaptik koeffitsiyentlar $w_{i,j}$ qiymati o'zgartiriladi:

$$E = \sum_{k=1}^N \left(\sum_{p=1}^M (y_{k,p} - y_{k,p}^*)^2 \right),$$

bu yerda N - o'rganuvchi tanlanmadagi misollarning umumiy soni, M - tarmoq chiqishlari soni, $y_{k,p}$ - tarmoq chiqishi, $y_{k,p}^*$ - o'rgatish tanlanmalari misollari uchun neyron tarmoqlari chiqish qiymatlari.

Tarmoqni sozlash o'qituvchili o'rgatish tamoyiliga asoslanadi (3.4.10-rasm).

Sun'iy neyron tarmoqlarini tadqiq qilish natijalari, ularni o'rgatish (o'qitish) masalasi ko'p ekstermalli ekanligini ko'rsatdi, shuning uchun optimallashtirishning maqsad funksiyasi gradiyentiga asoslangan barcha klassik usullari eng yaxshi yechimni topishni kafolatlay olmaydi (xatolarni teskari taqsimlash algoritmi ham). Shuning uchun sinflarni tanish sifatini oshirish maqsadida global optimallashtirish algoritmlaridan foydalanish kerak. Ulardan eng tanqilisi va samaralisi optimallashtirishning genetik algoritmlari va ularning modifikatsiyalari hisoblanadi.



3.4.10-rasm. Neyron tarmoqlarini o'qituvchili o'rgatish (o'qitish).

3.5. Sanoat obyektlarini tashxislashning intellektual tizimi

Zamonaviy sanoat korxonalari uzluksiz ishlab chiqarish tavsifiga ega bo'lgan, o'nlab gazni qayta ishlash obyektlaridan tuzilgan murakkab ishlab chiqarish tizimi hisoblanadi. Gaz qazib chiqaruvchi korxonalarni tezkor-dispatcherli boshqarishdan maqsad, ishlab chiqarish rejasini halokatlersiz, ishlab chiqarishni ritmik ishlashini

ta'minlagan holda bajarishdir. Boshqaruv qarorlarini bir-birdan kompetentlik darajasi, boshqarish saviyasi va funksiyalari bilan farqlanuvchi foydalanuvchilar guruhi (bosh direktor, bosh muhandis, direktor o'rinbosari va shu kabilar) ishlab chiqadi. Bu qarorlarning sifati, birinchi navbatda foydalanuvchining ushbu sohadagi bilim darajasi, ish tajribasiga, shuningdek ularga ishlab chiqarish jarayonini borishi haqidagi kelib tushayotgan axborotlarning ishonchligiga bog'liq.

Tezkor-dispatcherlik boshqarishining avtomatlashtirilgan tizimlarni sanoat korxonalariga [37÷42] qo'llash tajribasi, ishlatilayotgan an'anaviy "qattiq" matematik modellar boshqarish obyektiga yetarlicha monand emasligini ko'rsatdi. So'nggi yillarda sun'iy intellektning rivojlanish shu darajaga yetdiki, bilimlarga tayanuvchi samarali tizimlarni yaratish imkoni paydo bo'ldi. Uning uchun dispatcherlik boshqaruvli ekspertli texnologik tizimlarni yaratishga urinishlar tabiiy hol bo'lib, bunday tizimlarda zamonaviy kompyuterli texnika afzalliklari, yuqori tezkorlik, katta xotira hajmi va yuqori hisoblash quvvati, shuningdek o'zida ushbu sohadagi eng yuqori malakali ekspertlar bilimini va tajribasi umumlashtirilgan bo'ladi.

Ko'pincha ishlab chiqarish vaziyatlaridagi holatlar bo'yicha qaror qabul qilish, jarayonni doimiy kuzatuvchi va normal holatdan og'ishlarni aniqlash uchun kelayotgan axborotlarni tahlil qiluvchi navbatchi dispatcher zimmasida bo'ladi. Agar og'ishlar yuzaga kelsa, dispatcher uning yuzaga kelish sabablarini aniqlashi lozim. Sabab aniqlangandan so'ng vaziyatni o'nglash va og'ishni bartaraf etish chora-tadbirlari ketma-ketligini ishlab chiqadi. Shunday qilib, dispatcher doimiy ravishda ishlab chiqarish jarayonini kuzatish, vaziyatni tahlil qilish va harakatlarni rejalashtirishni amalga oshiradi. Bundan tashqari, u vaqti-vaqti bilan qator hisoblash amallarini bajarishiga to'g'ri keladi.

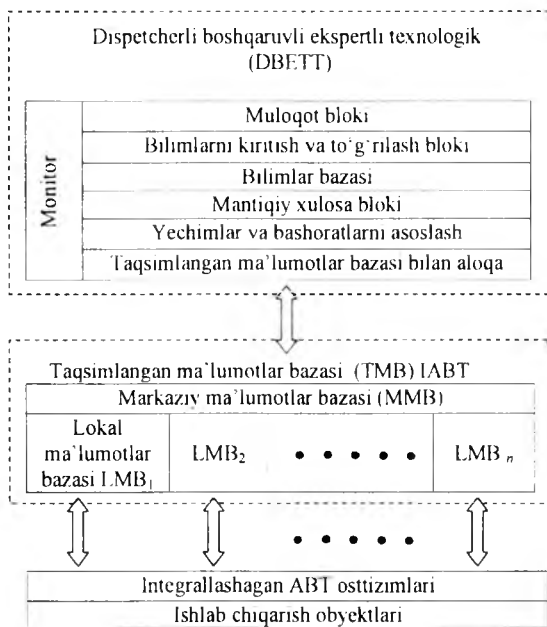
Taklif etilayotgan tizimlar foydalanuvchiga ishlab chiqarish vaziyatlarida holatlar bo'yicha tavsiyalar berish, ishonchli axborotlar tezkor uzatish va hisoblashlarni amalga oshirish kabi yordamlarni ko'rsatishga mo'ljallangan.

Texnologik jarayonlarni boshqaruvchi tizimlarning an'anaviy ekspertli tizimlardan farqli jihatlari quyidagilardan iborat:

- mantiqiy xulosa amallarini avtomatik ishga tushirish;

- integrallashgan avtomatlashtirilgan boshqarish tizimlari tarkibida faoliyat yuritib olish;
- real vaqt masshtabida ishlash;
- turli saviyadagi foydalanuvchilarning tizimli iste'molini e'tiborga olish.

Ko'rilayotgan tizim arxitekturasida quyidagi bloklarni o'z ichiga oladi (3.5.1-rasm): monitor; muloqot bloki; bilimlarni kiritish va to'g'rilash bloki; bilimlar bazasi; mantiqiy xulosa bloki; yechim (qaror) va bashoratlarni asoslash bloki; taqsimlangan ma'lumotlar bazasi bilan aloqa bazasi bilan aloqa bloki, hisoblash bloki.



3.5.1-rasm. Dispetcherli boshqaruvli ekspertli texnologik tizim arxitekturasida: IABT – integrallashgan avtomatlashtirilgan boshqarish tizimi.

Monitor tizimning barcha faoliyat jarayonlarini boshqaradi va qolgan barcha bloklarning o'zaro axborot va dasturiy harakatini ta'minlaydi.

Muloqot bloki foydalanuvchi va tizimning muloqot rejimida ishlashini ta'minlashga xizmat qiladi. Uning funksiyalariga

foydalanuvchidan so'rovni qabul qilish; so'rovlarga birlamchi ishlov berish, ya'ni semantikasi ajratish; foydalanuvchiga javobni shakllantirish kiradi. Muloqot bloki menyu tamoyiliga ko'ra ishlaydi. Muloqot bloki to'rtta tashkil etuvchi: foydalanuvchidan so'rovni (xabarni) qabul qilish moduli; so'rovga ishlov berish moduli; semantikasi ajratish moduli va foydalanuvchiga xabar (so'rov)ni shakllantirish modulidan iborat.

Ekspertli tizimlarni yaratishdagi muhim muammolardan biri bilimlarni ifodalash shaklini tanlash hisoblanadi. Bilimlarni ifodalash modelini tanlashga, avvalo, yechilayotgan masalalar tizimlari turi, predmet sohasining xususiyatlari va ekspertning professional bilimlari strukturasi ta'sir ko'rsatadi.

Frey m nomi	(nomi)
Umumlashgan qiymati	(tavsif)
Slot 1	(qiymat 1)
.....	
Slot K	(qiymat K)

Dispetcherli boshqariladigan ekspertli tizimlarning bilimlar bazasi ikki sathdan iborat (3.5.1-rasm) [41]. Birinchi sathda tizim duynosining modellari joylashadi, unda korxonaning ishlab chiqarish faoliyati strukturasi va uning tashqi dunyo bilan aloqalari to'g'risidagi bilimlar bo'ladi. Shu yerda foydalanuvchilarning individual modellari, ularning axborot iste'moli, istiqboli, yechadigan masalalari doirasi va boshqa jihatlari ham saqlanadi. Tizim duynosining modellaridagi bilimlar asosan deklarativ va ektensional xarakterga ega bo'ladi. Predmet sohasining asosiy (tayanch) kotseplarini aks ettirish uchun freymlar ishlatiladi. Bu ekspertning pred sohasi strukturasi va qurilishi haqidagi verbal bilimlarini iyerarxikligi, o'zaro bog'langanligi va qo'yilgan xarakteriga bog'liq.

Birinchi va ikkinchi slotlar har doim qattiq bog'langan semantikaga (freym nomi va uning umumiy qiymati) ega bo'ladi. Boshqa slotlar ham ushbu predmet sohasida aniq mohiyatga ega bo'lishi mumkin (masalan, ular «ga kirish», «dan iborat», «turli xil hisoblandi» kabi bo'lishi mumkin). Bu obyektlar o'rtasidagi iyerarxik, turli xillik va boshqa munosabatlarni tashkil etishga imkon beradi.

Bu tizim bilimlar bazasining ikkinchi sathi qoidalar bazasidan tashkil topgan. Bu yerda ishlab chiqarishning aniq vaziyatlari va

harakatlari, tavsiyalar to'g'risidagi bilimlar to'plangan. Bu bilimlar amaliy, intensional xarakterga ega bo'lib, quyidagi ko'rinishda yoziladi: AGAR $A_1, \dots, A_n$ bo'lsa, UNDA $V_1, \dots, V_k$ bo'ladi, bu yerda A_n – freym – namuna bo'lib, tizim dunyosidan olingan modellarning freymlari solishtiriladi; V_k – boshlang'ich modelni o'zgartiruvchi harakat.

Qoidalar bazasi strukturalangan va qoidalar paketidan tashkil topgan. Qoidalarning chap qismiga obyektidan olingan modellar joylashishi mumkin. Qoidalarning o'ng qismiga esa quyidagicha sinflanadigan harakatlar joylashadi:

- tizim modellaridagi freymni yaratish, o'chirish yoki takomillashtirish;
- foydalanuvchi terminaliga xabar chiqarish;
- foydalanuvchi terminalidan ma'lumot kiritish;
- aloqa bloki yordamida taqsimlangan ma'lumotlar bazasidan axborotlarni olish;
- qoidalar bazasiga qoidalar paketini kiritish yoki undan o'chirish;
- mantiqiy xulosa ishini to'xtatish va boshqarishni monitorga uzatish.

Ma'lumki, ekspert bilimlarini olish va bilimlar bazasini sozlashga ekspertli tizimlarni yaratishga ketadigan vaqtning 50-90 % sarflanadi. Tabiiyki, bu jarayonni tezlashtirish va bilimlar bazasiga kiritilayotgan bilimlar sifatini oshirish zarurati yuzaga keladi. Tizimda shu maqsadda bilimlarni kiritish va ularni to'g'rilash bloki xizmat qiladi.

Bilimlar bazasini shakllantirish jarayoni quyidagi bosqichlardan iborat:

- perdmets sohasini konseptual tarzda sohaschalarga ajratish;
- freym-prototiplar va ular asosida tizim modellaridagi ma'lum freym nusxalarni yaratish;
- shablonlar, qoidalar va ular asosida aniq qoida-mahsulotlarni yaratish;
- freymlar (prototip va nusxalarni) ni to'g'rilash, ahamiyat, maqsad va istiqbolli tizimlar va qoidalarni o'z ichiga oluvchi bilimlar bazasini to'ldirish (aniqlash).

Har bir bosqichni batafsil ko'rib chiqamiz.

Predmet sohasi haqidagi bilimlarni konseptual bo'lish bilimlar muhandisi orqali amalga oshiriladi. Bilimlar muhandisi ekspert bilan suhbatlashish asosida tayanch belgilarni aniqlaydi va ular bo'yicha keyinchalik tizim modellarini strukturalaydi. Tizimlarning modellarini bunday strukturalash qator afzalliklarga ega. Turli sohalaridagi bilimlar nisbiy mustaqil bo'lib, bu bilimlarni kiritish va to'g'rilash jarayonini yengillashtiradi. Bundan tashqari, ular bir-birini inkor etishi ham mumkin.

Bu bosqich ham boshqasi singari muloqot rejimida amalga oshiriladi. Ekspertli texnologik tizim faol rolga kirishadi va ekspertdan avtomatik tarzda intervyu olish jarayonini amalga oshiradi, ekspertga savol beradi, "menyu" yoki "savol-javob" rejimida ishlash imkonini beradi.

Ikkinchi bosqichda predmet sohasining tayanch konseptlari aniqlanadi va ular asosida freym-prototiplar yaratiladi. Masalan, agar tayanch konsept – gazni majmuaviy tayyorlash qurilmasi (GMTQ) bo'lsa, unda freym-prototip «GMTQ» quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

Freym-prototip:

Freym nomi:	gaz tayyorlash sexi
Qiymat	Prototip
Nimaning tarkibiga kiradi	GMTQ
Nimalardan tuzilgan	(tarkibiy qismlar ro'yxati)
Xom ashyo kimdan olinadi	(yetkazib beruvchilar ro'yxati)
Xom ashyo turlari	(xom ashyo turlari ro'yxati)
Mahsulot ishlab chiqariladi	(iste'molchilar ro'yxati)
Mahsulot jo'natiladi	(iste'molchilar ro'yxati)

Freym-prototiplarni yaratishdan asosiy maqsad – freym-nusxalar yaratishni yengillashtirish va bu jarayonni tezlashtirishdan iborat, chunki bilimlar muhandisi keyinchalik freym strukturasini yana tuzmaydi, faqatgina uning slotlarini to'ldiradi va freym nomini aniqlaydi xolos. Masalan, freym-prototipdan olingan freym-nusxa quyidagi ko'rinishga ega:

Freym - nusxa:

Freym nomi:	gaz tayyorlash sexi
Qiymat	ishlayapti
Nimaning tarkibiga kiradi	GMTQ
Nimalardan tuzilgan	gaz tayyorlovchi texnologiyadan

Xom ashyo kimdan olinadi	gaz kollektoridan
Xom ashyo turlari	tabiiy gaz
Mahsulot ishlab chiqariladi	tozalangan va quritilgan gaz
Mahsulot jo'natiladi	sanoat tarmoqlararo kollektori

Uchinchi bosqichda qoidalar shabloni ishlab chiqiladi. Masalan, "Gaz tayyorlovchi texnologik liniyalardan biri to'xtab qoldi" vaziyati uchun shablon yaratamiz:

Qoida №. _____

Qoida nomi _____

AGAR –sonli gaz tayyorlash texnologik liniyasi to'xtab qolgan

VA _____ bo'lsa,

UNDA (harakatlar ro'yxati)

Unda tavsiyalar berish uchun aniq qoidalar quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

Qoida	№
Qoida nomi	1-sonli gaz tayyorlash texnologik liniyasini to'xtatish
AGAR	1-sonli gaz tayyorlash texnologik liniyasini to'xtab qolgan.
VA	gaz tayyorlashning qolgan texnologik liniyalari me'yorda ishlamoqda.
UNDA	gaz tayyorlashning ishlab turgan texnologik liniyalari o'rtasida gaz yuklamasini taqsimlash.

Bilimlar bazasini aniqlashtirish ekspertli tizim birinchi prototipi yaratilgandan keyin davom ettiriladi va yuqorida sanab o'tilgan ixtiyoriy bosqichlarda amalga oshirilish mumkin.

Ko'rib chiqilayotgan tizimdagi mantiqiy xulosa mexanizmi, davriy xarakterdagi mahsulot tizimlari uchun an'anaviy bo'lib, quyidagi uchta bosqichdan iborat:

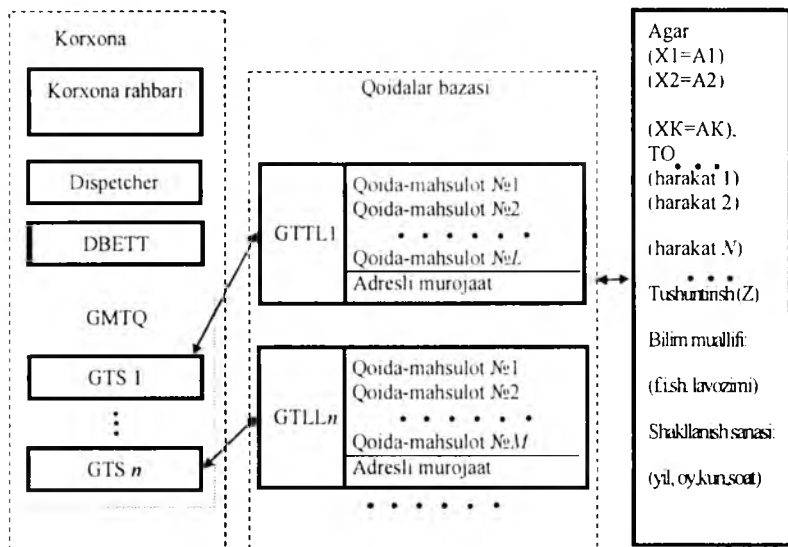
1. Qoidalarni solishtirish, bunda qoidalar bazasidagi qoidalarining antetsedentlari tizim modellaridagi obyektlari bilan solishtiriladi. Natijada "nizoli to'plam" yuzaga keladi va u bajarish huquqi uchun "nizolashayotgan" qoidalarni solishtiradi.

2. Qoidalarni tanlash, bunda istiqbollilar tizimi asosida nizoli to'plam. Keyingi bosqichda bajariladigan bitta qoidaga kamayishi

mumkin. Mantiqiy xulosa blokida, yechimni qidirishning ham to'g'ri ham teskari strategiyasi ishlatilishini ta'kidlab o'tamiz.

3. Qoidani bajarish, qoidaning o'ng qismida joylashgan harakatlar amalga oshiriladi. Shundan so'ng birinchi bosqichga qaytish amalga oshiriladi.

3.5.2-rasmda DBETT bilimlar bazasining amalga oshirilish fragmenti va qoidalar azasining tizim bilan o'zaro aloqasi keltirilgan. Ramning chap qismida korxonaning ishlab chiqarish strukturasini aks ettiruvchi qism joylashgan. Rasm markazida "Gaz tayyorlashsezi" freymi bilan bog'langan qoidalar bazasi fragmenti joylashgan. Rasmning o'ng qismida qoidalar bazasida saqlanayotgan qoida-mahsulotning umumiy shakli ko'rsatilgan.



3.5.2-rasm. DBETT bilimlar bazasi.

DBETT – dispatcherli boshqariladigan ekspertli texnologik tizim; GMTQ – gazni majmuaviy tayyorlash qurilmasi; GTS – gaz tayyorlash sexi; GTTL – gaz tayyorlovchi texnologik liniya.

Tavsiyalar va bashoratlarni asoslash bloki foydalanuvchi xohishiga ko'ra tavsiyalarga tushuntirishlar beradi. Bu tushuntirishlar mantiqiy xulosalashga asoslangan bo'ladi.

Bundan tashqari, yechim va tavsiyalarni asoslashni jarayon, obyekt, asosiy texnologik parametr dinamikasining o'zgarishini tahlil qilish orqali ham amalga oshirish mumkin.

Tushuntirish bloki tarkibidagi bashoratlash funksiyasini amalga oshirish uchun ishlab chiqarish jarayonining imitatsion modeli ishlatiladi. Bu modellar asosida ma'lum vaqt oralig'ida vaziyat o'zgarishlari bashoratini olish hamda qabul qilinayotgan qarorning asoslanganligini tekshirish mumkin. Bundan tashqari, boshqaruvchi personalning qator koordinatsiyali boshqarish harakatlari imitatsiyalanadi va olinadigan qarorlar saviyasi oshadi.

Dispatcherli boshqariluvchi ekspertli texnologik tizimlarni rivojlanish istiqbollari, birinchi navbatda, uning tarkibiga kiruvchi bloklarni takomillashtirishga bog'liq. Bu sinfdagi tizimlarni rivojlantirishning asosiy yo'nalishlaridan biri bilimlarni ifodalashning muammoli-yo'naltirilgan generatorini yaratish bilan bog'liqdir. Bunday generator ixtisoslashtirilgan tillarni konstruksiyalash va noaniq axborotlar bilan ishlash imkonini beradi.

Imitatsion modellarning sifati, ular asosida olingan bashoratlar foydalanilayotgan modellarning monandligini, shuningdek chiqish statistikasining algoritmlari samaradorligini ahamiyatli darajada belgilab beradi. Imitatsion modellardagi aniqlanmagan omillarni modellashtirish masalasini ko'rib chiqamiz.

Bugungi kunda murakkab tizimlarni imitatsion modellashtirish vaqtida aniqlanmagan omillar ξ modellashtiriladi, bunga aniq berilgan taqsimlanish funksiyalari $p(\xi)$ asos qilib olinadi, chiqish statistikasiga esa qattiq algoritmlar bilan ishlov beriladi (3.5.3-rasm).

Murakkab tizimlarda ehtimoliy tavsiyalarni aniqlashning asosiy usuli ekspertli baholash hisoblanadi, lekin ma'lumotlarga statistik ishlov berish usullaridan ham foydalanish mumkin. Ekspert haqiqiy taqsimlanish funksiyasi joylashadigan yo'lni, yoki taqsimlanishning sonli qiymatlari yotadigan oraliqni aniqlaydi.

Shunday qilib, bu yerda yuqoriroq darajadagi noaniq o'rinli, aynan, ehtimoliy taqsimlanishning aniqlanmaganligi (3.5.4-rasm). Bunday modellardan foydalanish, aniq berilgan taqsimlanish funksiyalariga teng kuchli va ular aniqlanmaganlikning real darajasini sun'iy pasaytirishda ishlatiladi:

$$m = \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right) / n.$$

Tizimlarning murakkabligi, ta'sir etuvchi omillarning ehtimoliy taqsimlanishini aniqlanmaganligi, imitatsion tajribalar sonining cheklanganligi (yoki bir tajribaning uzoqligi), yoki qaror qabul qilishga ketadigan vaqt, chiqish kattaliklarining taqsimlanishini aniq belgilash imkoniyati yo'q bo'lgan vaziyatlarga olib kelishi mumkin.

Ma'lumki, optimal statistik baholash algoritmlari taqsimlanish funksiyalarini to'la aniqlaydi va boshlang'ich qo'yimlarning buzilishlariga nisbatan yuqori sezgirlikka ega. Aynan shuning uchun ham ehtimoliy taqsimlanishning aniqlanmaganlik sharoitlarida algoritmlar umuman ishga yaroqsiz bo'lib qoladi. Baholashning robustli algoritmlarini qurishga ehtiyoj tug'iladi. Robast algoritmlar nominal sharoitlarda yuqori samaradorlikka ega va berilgan sinf doirasida og'ishlar bo'lgan sharoitlarda samarali qo'llaniladi. Shunday qilib, monand imitatsion modellarni qurish muammosi quyidagi masalalarni yechishni talab etadi:

- aniqlanmaganlik bilan ehtimoliy taqsimlangan kattaliklarning matematik modellari va ularni kompyuterda modellashtirish usullarini yaratish;

- robustli statistik baholash usullari va ularga mos keluvchi dasturiy vositalarni ishlab chiqish.

Ehtimoliy-statistik konsepsiya doirasida aniqlanmagan ehtimoliy taqsimlanishli kattaliklarni tavsiflash uchun monand apparat "taqsimlanish sinfi" turidagi model hisoblanadi. Umumiy holda (3.3.5-rasm) bu sinf cheklanishlar tizimi bilan beriladi:

$$P = \begin{cases} \int_{-\infty}^{+\infty} p(\xi) f_i(\xi) d\xi < \alpha_i, & i = 1, 2, \dots, k, \\ p(\xi) \geq \varphi_1(\xi), \\ p(\xi) \leq \varphi_2(\xi) \end{cases}$$

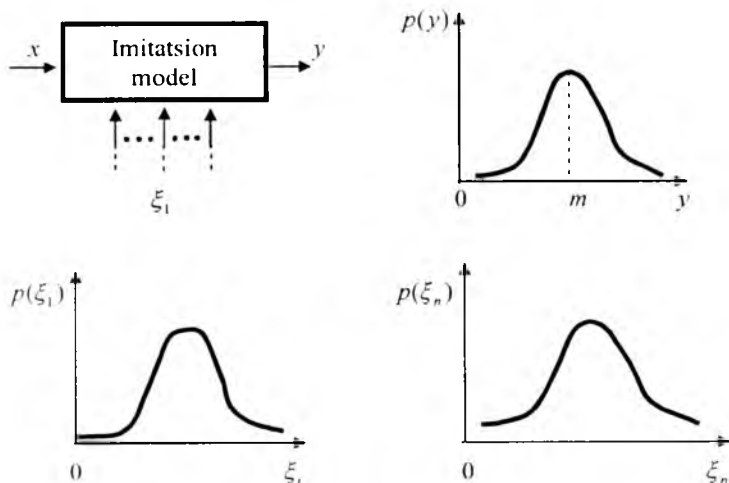
Bu ifodada birinchi tenglama taqsimlanishning ehtimoliy tavsiflari haqidagi bizning tasavvurlarimiz noaniqligini, ikkinchi va uchinchi tenglamalar esa taqsimlanishning noma'lum zichligi joylashadigan yo'lakni ifodalaydi.

Ko'rib chiqilayotgan yondashuvda aniqlanmagan omil haqidagi axborotning har bir sathiga taqsimlanishning ma'lum sinfi to'g'ri keladi. Axborot sathi qanchalik yuqori bo'lsa, mos keluvchi sinf ham shunchalik bo'ladi. Axborot to'liq bo'lgan holda yagona zichlikni o'z ichiga oluvchi torroq sinfga, ya'ni taqsimlanishning aniq belgilanishga

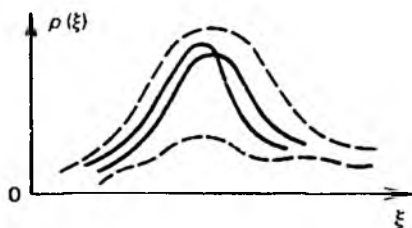
o'tamiz. Parametrlar α , va funksiyalar φ_1 va φ_2 sinf kengligini rostlash imkonini beradi.

Tahlil shuni ko'rsatadiki, ham g'alayon omillarini ham chiqish kattaliklarini tavsiflash uchun quyidagi yo'l-yo'lli model tabiiyroq va qulay hisoblanadi:

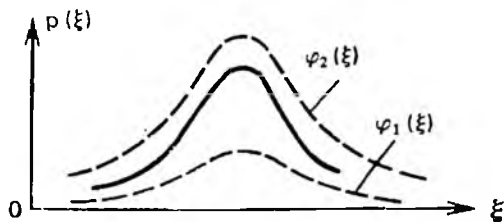
$$P = \begin{cases} \int_{-\infty}^{\infty} p(\xi) d\xi = 1, \\ \varphi_1(\xi) \leq p(\xi) \leq \varphi_2(\xi). \end{cases} \quad (3.5.1)$$



3.5.3-rasm. m uchun aniq berilgan taqsimlanishlar sharoitidagi imitatsion model .



3.5.4-rasm. Aniqlanmagan ehtimolli taqsimlangan tasodifiy kattalik.



3.5.5-rasm. «Taqsimlanish sinfi» turidagi model.

Bu yerda birinchi tenglama me'yorlashtirish shartini, ikinchisi esa yo'lning o'zini anglatadi.

P sinfda berilgan, taqsimlangan kattalikni modellashtirishda ikki yondashuv mavjud: birinchisi butun sinfni imitatsiyalash bilan bog'liq; ikkinchisi esa eng qulay zichlikdagi sinfni qisqartirishga asoslangan, bunda zichlik (3.1.5) cheklanishlarda aniqlanmaganlikning axborot o'lchamlaridan birini ekstremumga olib boradi (xususan, sinfdagi fisher axborotlari minimumi):

$$p_x(\xi) = \arg \min_{p \in I^*} J_p, J_p = \int_x^x \frac{p'(\xi)^2}{p(\xi)} d\xi \quad (3.5.2)$$

Birinchi yo'l hech qanday qo'shimcha taxminlarni talab etmaydi; ikkinchisi esa aniqlanmaganlikning mos o'lchamlari monandligi haqidagi farazlarga tayanadi.

Butun sinf asosida modellashtirish ehtimoliy obyektlarni modellashtirish nazariyasida mustaqil muammoni namoyon etadi va shu vaqtga qadar u yetarli darajada ishlab chiqilmagan. Reduksiyaga asoslangan yondashuvda, sinflarni modellashtirish eng qulay zichlik bo'yicha tasodifiy kattaliklarni modellashtirishga olib kelinadi va u ma'lum usullar orqali amalga oshirilishi mumkin.

Bugungi kunda statistik ishlov berish algoritmlari robustligini ta'minlashga bo'lgan bir nechta yondashuvlar mavjud. Ularning ichidan minimaksli yondashuv keng rivoj topdi [30]. Ko'rsatilgan yondashuvning mohiyati eng yomon sharoitlarda eng yuqori samara beradigan algoritumni qurishdan iborat. Bunda, o'xshash amallarning samaradorligi yuqori darajada va ixtiyoriy boshlang'ich modellar uchun minimaks amallari optimal amallar samaradorligi bo'yicha yutqizmaydi va o'z navbatida boshlang'ich modeldan og'ish bo'lganda bir oz yomonroq samaradorlikka ega bo'ladi deb faraz qilinadi.

Minimaksli robustli amallar ikki bosqichda amalga oshiriladi: birinchi bosqichda Fisher bo'yicha eng kam qulaylikka ega zichlik $p_x(\xi)$ qidiriladi; ikkinchi bosqichda esa quyidagi tenglama yechimi kabi maksimal haqiqatnamolik bahosi quriladi:

$$\sum_{i=1}^n L(\xi_i - m) = 0, \quad (3.5.3)$$

bu yerda $L = \ln p_x(\xi)$ - sezgirlik funksiyasi.

Baholash algoritmi rekurrent shaklda quyidagi ko'rinishga ega:

$$m(n) = m(n-1) + \frac{1}{n l(p_x)} L(\xi - m(n-1)).$$

Katta amaliy ahamiyatga ega bo'lgan qator sinflar uchun analitik usullar bilan robustli algoritmlar qurilgan. Variatsion masala (3.5.3) ni sonli usullar bilan topilgan yechimiga, $p(\xi)$ umumiy holda, yo'l-yo'lli modelni qo'llash mumkin. Ular taqsimlanish zichligi $p_x(\xi)$ ning u yoki bu silliqlantirishlari va matematik dasturlash masalalarining keyingi yechimlari bilan bog'liqdir. Demak, agar $p(\xi)$ bo'lak-chiziqli funksiyalar, integrallar yig'indilar bilan, hosilalar esa ayirmalar bilan silliqlantirilsa, unda chiziqli chegaralanishlarga ega bo'lgan nochiziqli dasturlash masalasiga kelish mumkin.

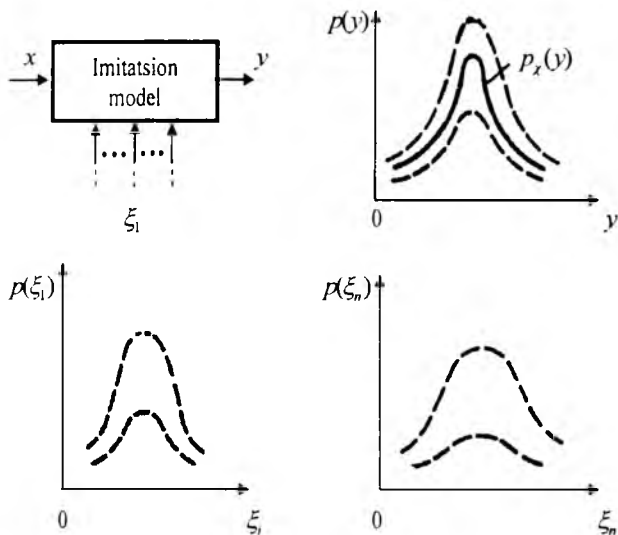
Boshqa yanada aniqroq silliqlantirishlar ham bo'lishi mumkin:

$$\sum_{m=1}^k \frac{(p_{n+1} - p_m)^2}{p_m} \rightarrow \min; \sum_{m=1}^k p_m h = 1, m = 1, 2, \dots, k;$$

$$\varphi_1(mh) \leq p(mh) \leq \varphi_2(mh).$$

Tanlangan sinfning monandligini va mos algoritmlarning ish qobiliyatlarini tekshirish (3.5.6-rasm) statistik ma'lumotlar asosidagi test o'tkazish orqali amalga oshiriladi.

Bashoratlash masalalarini yechishda real texnologik jarayonlarning imitatsion modellarning monandligini oshirish va avtomatlashtirilgan boshqarish tizimlaridagi yechimlar (qarorlar)ni asoslash sohasidagi ishlarning keyingi rivoji aniqlanmaganlikning boshqa turi – noaniqlik (ma'lumotlar, vaziyatlar, tizim bilan ishlaydigan foydalanuvchi fikrlari) bilan bog'liqdir.



3.5.6-rasm. “Taqsimlanishlar sinfi” turidagi aniqlanmaganlik sharoitidagi imitatsion model.

3-bob bo'yicha nazorat savollari

1. Ma'lumotlarni fazzifikatsiyalash nima va nima uchun o'tkaziladi?
2. Bilimlar qanday ko'rinishlarda ifodalanishi mumkin?
3. Sun'iy intellekt sohasidagi asosiy tendensiyalarni sanang.
4. Ekspertli tizimlarda noaniq mantiq qanday ishlatiladi?
5. Bilimlarni ifodalashning qaysi tili obyektli-yo'naltirilgan sinfga ko'proq yaqin?
6. «Rasmiy-mantiqiy modellar» ga ta'rif bering. U qanday komponentlardan tuzilishi mumkin?
7. Rasmiy-mantiqiy modellarning afzalliklari va kamchiliklarini sanang.
8. Noaniq ekspertli tizimlarga ta'rif bering.
9. Mantiqiy-lingvistik tizimlar asosida nima yotadi?
10. Mamdanining noaniq mantig'i ta'rifini ayting.

11. ESPLAN ekspertli tizimlar bajaradigan funksiyalar va uning arxitekturasini bayon eting.
12. Mahsulotlar tarmog'ini faollashtirish jarayonining mohiyati nimadan iborat?
13. Noaniq va yumshoq ekspertli tizimlarni solishtirma tahlil qiling.
14. Noaniq xulosalash tizimlarining qoidalar bazasi qanday shakllantiriladi?
15. Ma'lumotlarni defazzifikatsiyalashning asosiy usullari mohiyatini bayon qiling.
16. Timsollarni tanishning asosiy rasmiy usullari tasnifini keltiring.
17. Nazorat, tashxislash va boshqarishning intellektual tizimlari qurilishining neyro-tarmoqli texnologiyasini bayon eting.
18. ESPLAN dagi mantiqiy xulosa mexanizmini tushuntiring.
19. ESPLAN bo'sh ekspertli tizim bo'la oladimi?
20. Neyron tarmoqlarni o'rgatish (o'qitish)ning qanday usullari mavjud?
21. DBETT ekspertli tizimi ESPLAN dan nimasi bilan farqlanadi?

3-bobga doir adabiyotlar

1. http://inter-vus.tuit.uz/Elib_baza/INTUIT.ru/departament/ds/fuzzysets/10/3.html
2. <http://vudquit.no-ip.biz.3232/departament/ds/fuzzysets/10/fuzzesistem.10.html>
3. <http://www.moluch.ru/archive/54/7335>
4. Aliev R.A. and Aliev R.R. Soft Computing and Its Application. (World Scientific, New Jersey, London, Singapore, Hong Kong), 2001
5. Aliev R.A., Shakhnazarov M.M., Gulko D.E. Scheduling Expert Systems. Transactions of Academy of Sciences of USSR, «Journal of Computer and Systems Sciences International» 5: 118-128, 1988(in English and Russian).
6. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом. -М.: Радио и связь, 1990. -264с.
7. Balch T., Arkin R.C. Cooperative Multiagent Robotic Systems AI-based Mobile Robots: Case Studies of Successful Robot System, D. Kortenkamp, R.P. Bonasso, R. Murphy (eds). MIT Press, 1998.
8. Ali K. S., Arkin R.C. Multiagent Teleautonomous Behavioral Control, Machine Intelligence and Robotic Control, vol.1, No2, 2000, - pp.3-10.
9. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. Information Sciences, 1975, Part 1,8 - pp.199-249.
10. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. Information Sciences, 1975, Part 2,8 - pp.301 - 357.

11. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. Information Sciences, 1975, Part 3,9 - pp.43-80.
12. Aliev R.A., Bonfig K.W., Aliev F.T. Messen, Steuern und Regeln mit Fuzzy Logik: Frazis-Verlag GmbH.-Munchen, 1994. - 309p.
13. Balch T., Arkin R.C., Motor schema-based Formation Control for Multiagent Robot Team.Proc. of First Inter. Conf. on Multiagent Systems. - SanFrancisco, 1995.- pp.10-16.
14. Arkin R.C. Cooperation without communication: Multiagent schema-based robot navigation. Journal of Robotic Systems, 9(3), 1992. - pp. 351-364.
15. Balch T., Arkin R.C. Communication in Reactive Multiagent Robotic System, Autonomous Robots, 1995. - pp.27-52.
16. Ульянов С.В., Колбенко Е.В. Гибридная экспертная система с глубинным представленным знаний для проектирования и диагностики биотехнических изделий. -М.: Наука, 1995.
17. Алиев Р.А., Гулько Д.Е., Шахназаров М.М. Экспертная система для производственного планирования // Известия АН «Техническая кибернетика», 1988. №5. -с.118-128.
18. <http://eef.misis.ru/sites/default/files/lectures/4-4-6.pdf>
19. <http://nzs.bstu.ru/chap27.html>
20. Aliev R.A., Mamedova G.A., Aliev R.R. Fuzzy Sets Theory and Its Application. -Tabriz: Tabriz University Press, 1993. - 244 p.
21. <http://sites.google.com/site/upravlenieznaniami/intellektualnye-informacionnye-sistemy-v-upravlenii-znaniami>
22. Mataric, M.J. Issues and approaches in the design of collective autonomous agents. Robotics and Autonomous Systems, 16(2-4), 1995. - pp.321-331.
23. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. -М.: Наука, 1986.
24. Lerman K., Galstyan A. Mathematical Model of Foraging in a Group of Robots: Effect of Interference. Autonomous robots, 2002, No. 13 - pp.127-141.
25. Ulman P., Balch T. Niche Selektion for ForagingTasksin Multi-Robot Teams Using Reinforcement Learning, Proc. of 2 rd Inter. Workshop on the Mathematics and Algorithms of locial Insect. - Atlanta, Georgia, 2003.
26. Dias M.B., Stentz A. A Free Market Architecture for Distributed Control of a Multirobot System. Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS), Venice, Italy, July, 2000.
27. Stentz A., Dias M.B. A Free Market Architecture for Coordinating Multiple Robots tech. report CMU-RI-TR-99-42, Robitics Institute, Carnegie Mellon University, December, 1999.
28. Goldberg D., Cicirello V., Dias M.B., Simmons R., Smith S., Stentz A. Market-Based Multi-Robot Planning in a Distributed Layered Architecture.

- Multi-Robot Systems: From Swarms to Intelligent Automata: Proceedings from the 2003 International Workshop on Multi-Robot Systems, Kluwer Academic Publishers, Vol. 2, 2003 - pp. 27-38.
29. Zlot R., Stentz A., Dias M.B., Thayer S. Multi-Robot Exploration Controlled By A Market Economy, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). May 2002.
30. Каляев, И.А. Использование принципов коллективного принятия решений при распределении потока задач в компьютерных сетях // Информационные технологии, 2002.- №6. -С.82-85.
31. Aliev R.A., Tsercovny A.E. "Smart" manufacturing systems. Transactions of Academy of Sciences of USSR. «Journal of Computer and Systems Sciences International» 6: 99-108, 1988 (English and Russian).
32. Клышинский Э.С. Агентные системы: классификация и применение // САПР и графика, № 8.- 1999. - С. 90-96.
33. Aliev R.A., Vahidov R.M., Aliev R.R. Artificial Neural Networks: Theory and Practice. -Tabriz: Tabriz University Press, 1993. - 193 p.
34. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Распределенные системы планирования действий коллективов роботов. –М.: Янус-К, 2002.–292 с.
35. Мальцев П.П., Пономарев К.М., Степанов Ю.И. "Умная пыль" на основе микросистемной техники. // "Интеллектуальные робототехнические системы – 2001": материалы молодеж. науч. школы. -Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001.-С.220-232.
36. <http://www.ist.edu.ru/ft/003873/neyro.pdf>
37. Гандурин В.А., Капустян С.Г., Мельник Э.В. Алгоритм коллективного улучшения плана в задачах распределения ресурсов многопроцессорных информационно-управляющих систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2007.- №1.
38. http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?tutindex=25&index=44&layer=2
39. <http://znanie.podelise.ru/does/87598/index-9862.html>
40. http://vudquit.noip.biz.3232/department/database/datamining/12/datamining_12.html
41. Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Теория интеллектуальных систем и ее применение. – Баку: Чашыюглы, 2001. - 720 с.
42. Aliev R.A., Abdullayev T.S., Nuriyev M.N. Artificial Intelligence. - Tabriz: Tabriz University Press, 1993. - 171 p.

4-BOB

TAQSIMLANGAN INTELLEKTUAL TIZIMLAR

4.1. Intellektual agent

*Sun'iy intellekt*da intellektual agent deganda atrof-muhit va undagi harakatlarni kuzatadigan, aqlli narsalar tushuniladi. Bunda ularning xulqi tushunishga qodir va ularning harakatlari biror-bir maqsadga erishiga yo'naltirilgan bo'ladi. Bunday agentlar robot yoki qurilgan dasturli tizimlar bo'lishi mumkin. Agar agentlar atrof-muhit bilan xuddi inson kabi o'zaro ta'sirlashayotgan bo'lsa, ularni intellektualligi haqida so'z yuritish mumkin.

Intellektual agent – bu foydalanuvchi tomonidan berilgan topshiriqlarni uzoq vaqt davomida mustaqil bajara oladigan kompyuterli dastur. Intellektual agentlar operatorlarni qo'llab-quvvatlash yoki axborotlarni to'plash uchun ishlatiladi. Agentlar omonidan bajariladigan topshiriqlarga misol bo'lib, doimiy ravishda zaruriy axborotlarni Internetdan qidirish va ularni to'plash masalasi xizmat qilishi mumkin. Kompyuter viruslari, botlar, qidirish robotlari – bularning barchasini intellektual agentlarga kiritish mumkin. Bunday agentlar qat'iy algoritmgaga ega bo'ladi va ularning "intellektualligi" moslashish va o'rganish qobiliyatlari kabi tushuniladi.

Bir jihatdan qaraganda intellektual agentni ishlab chiqishning an'anaviy usullaridan foydalanish asosida ham sintezlash mumkin. Boshqa jihatdan esa intellektual agent o'zining vazifasini bajargan holda to'la mustaqil bo'lishi mumkin.

Sun'iy intellektda quyidagi turdagi agentlarni farqlash qabul qilingan:

- *jismoniy agent* – atrofimizdagi dunyoni sensorlar orqali idrok qiluvchi va manipulyatorlar yordamida harakatlanuvchi agent;

- *vaqt bo'yicha agent* – vaqt bo'yicha o'zgaruvchan axborotlardan foydalanuvchi agent bo'lib, ba'zi harakatlarni taklif etadi yoki ma'lumotlarni kompyuter dasturi yoki insonga taqdim etib, dasturiy kirish orqali axborotlarni oladi.

Sodda agentli dastur agent funksiyasi kabi matematik tavsiflanishi mumkin va bunda agent funksiyasi agent bajarishi lozim bo'lgan ixtiyoriy natijalarni ak ettiradi yoki natija sifatida koeffitsiyent, teskari aloqa elementi yoki keyingi harakatlar uchun

beriladigan funktsiya yoki o'zgarmlar olinishi mumkin. Dasturiy agent, aksincha, qabul qilingan natijalarni harakatga keltiradi.

Qabul qilingan (idrok etilgan) axborotlarga ishlov berish turiga ko'ra barcha agentlarni quyidagi guruhlariga ajratish mumkin:

- sodda xulqli agentlar;
- xulqi modellarga asoslanuvchi agentlar;
- maqsadli yo'naltirilgan agentlar;
- amaliy (tajribali) agentlar;
- o'rganuvchi agentlar;

Sodda xulqli agentlar joriy bilimlarning asosiga ta'sir ko'rsatadi. Ularning agentli funktsiyasi «shart-harakat»: IF (shart) THEN (ish-harakat) sxemasiga asoslangan.

Agar atrof-muhit to'la kuzatilsa, bunday funktsiya muvaffaqiyatli bo'lishi mumkin. Ba'zi agentlar obyektning joriy holati haqidagi axborotlarga ham ega bo'lishi mumkin va bu ularga shartga e'tibor bermaslik imkonini beradi.

Xulqi modellarga asoslanuvchi agentlar faqatgina bir qismi kuzatiladigan muhit bilan ishlashi mumkin. Agent tarkibida talqin chegarasidan tashqaridagi qismlar haqidagi tasavvurlar saqlanadi. Bunday tasavvurlarga ega bo'lish uchun agent atrofdagi olam qanday qurilgan va qanday ko'rinishini bilishi lozim.

Maqsadli yo'naltirilgan agentlar oldingi turdagilarga o'xshash. ammo ular o'zlari uchun istalgan (kutilgan) vaziyatlar haqidagi axborotlarni saqlaydi. Bu agentga ko'p yo'llar ichidan kerakli maqsadga olib boradiganini tanlash imkonini beradi. Maqsadli yo'naltirilgan agentlar, maqsadga erishilgan yoki erishilmagan holatlar bilan farqlanadi.

Amaliy agentlar o'zlari uchun joriy holat qanchalik kutilganligini farqlay oladilar. Bunday baholar "foydalilik funktsiyalari" yordamida olinishi mumkin.

O'rganuvchi agentlar avtonom intellektual agentlar (autonomous intelligent agents) ham deb ataladi, bu ularning o'rganishga bo'lgan mustaqilligi va qobiliyatligi hamda o'zgaruvchan holatlarga moslashuvchanligini bildiradi.

O'rganuvchi agentlar tizimi quyidagi xususiyatlarni namoyon etishi lozim [1-3]:

- atrof-muhit bilan ta'sirlashuv jarayonida o'rganish va rivojlanish;
- real vaqt rejimiga moslashuvchanlik;
- katta hajmdagi ma'lumotlar asosida tez o'rganish;
- muammoni yechishning yangi usullariga qadamli moslashuvchanlik;
- misollar bazasiga ularni to'ldirish imkoniyati bilan ega bo'lish;
- tezkor va uzoq xotirani modellashtirish parametrlariga ega bo'lish va shu kabilar;
- xulq, xatolik va muvaffaqiyat atamalarida o'zini tahlil qilish.

Ko'p agentli tizim (KAT) (multi-agent system) – bu bir nechta o'zaro ta'sirlashuvchi intellektual agentlardan hosil qilingan tizim. Ko'p agentli tizimlar, bir agent yoki monolitli tizim yordamida yechish qiyin yoki mumkin bo'lmagan muammolarni yechish uchun ishlatiladi. Ko'p agentli tizimdagi agentlar quyidagi tavsiflarga ega bo'ladi [4]:

- avtonomlik (agentlar hech bo'lmaganda qisman mustaqil);
- ifodalashning cheklanganligi (birorta ham agentda butun tizim haqida tasavvur yo'q, yo tizim juda murakkab bo'lib, agent u haqida bilishi uchun amaliy qo'llanilish kerak);
- demarkazlashtirish (butun tizimni boshqaruvchi agentlar mavjud emas).

Odatda ko'p agentli tizimlarda dasturiy agentlar faoliyat yuritadi. Ko'p agentli tizimlarni robotlar, odamlar yoki odamlar guruhi tashkil etishi mumkin. Ko'p agentli tizim (KAT) shuningdek qo'shma buyruqlarni ham o'z ichiga olishi mumkin.

KAT da, hatto, agar har bir agentning xulqi strategiyasi sodda bo'lsa ham, o'z-o'zini tashkil etish va murakkab xulq yuzaga kelishi mumkin. Bu *chumoli algoritmlari* asosida yotadi.

Intellektual agentning ikkita ta'rifi – “kuchsiz” va “kuchli” larni farqlash mumkin. *Kuchsiz intellektual agent* deganda, quyidagi ma'lumotlarga ega bo'lgan, dasturiy yoki apparatli amalga oshirilgan tizim tushuniladi:

- avtonomlik – intellektual agentning inson ishtirokisiz ishlay olish qobiliyati bo'lib, bunda agent o'zining harakatlari va ichki holatlari ustidan nazoratni amalga oshiradi;

– ijtimoiy xulq (socialability) – agentlarning bir-biri bilan, hammaga ma’lum kommunikatsiya tili yordamida xabarlar almashinib, faoliyat yuritish qobiliyati;

– reaktivlik (reactivity) – muhit holatini idrok etish va oʻz vaqtida bu oʻzgarishlarga javob berish qobiliyati;

– faollashuvchanlik (pro-activity) – agentning tashabbusni oʻziga olish qobiliyati, ya’ni maqsadlarni ishlab chiqish va ularga erishish uchun ratsional harakatlanish qobiliyati.

Agentning kuchli ta’rifi qator qo’shimcha xossalarni nazarda tutadi. Xususan, ulardan eng asosiysi agentda hech bo’lmaganda “*mentalli xossalar*” (*intensional tushunchalar* deb ham atalishi mumkin) deb ataladigan quyidagi ostto’plamlarning bo’lishi hisoblanadi:

– bilim (knowledge) – bu agentning o’zi, muhit va boshqa agentlar haqidagi bilimlarining o’zgarmas qismi, ya’ni uning ishlashi davomida o’zgarmaydigan qismi;

– ishonch (beliefs), e’tiqod – agentning muhit, xususan boshqa agentlar haqidagi bilimlari; bu – vaqt o’tishi bilan o’zgarib, ishonchsiz bo’lib qoladigan bilim; biroq agent bu haqda axborotga ega bo’lmasligi va ular asosida xulosa chiqarish mumkinligiga ishonib qolishi mumkin;

– xohish (istak) (desires) – bu agent yetishishni istaydigan holat, vaziyat; biroq ular bir-birini inkor etishi mumkin, shuning uchun ham agent ularning barchasiga erishishni kutmaydi;

– maqsadli (qasddan) (intentions) – bu agent boshqa agentlar oldidagi majburiyatlarini bajarishga majbupligi yoki uning istaklaridan chiqishini bildiradi;

– maqsadlar (goals) – chekli va oraliq holatlarning aniq to’plami bo’lib, unga erishishni agent xulqning joriy strategiyasi sifatida qabul qiladi;

– boshqa agentlarga nisbatan majburiyatlar (commitments) – korporativ maqsadlar yoki hamkorlik doirasidagi alohida agentlarning maqsadlari doirasida boshqa agentlarning iltimosi (topshirig’i)ga ko’ra agent o’ziga oladigan topshiriqlar (vazifalar).

Sanab o’tilgan tushunchalardan birinchi ikkitasi “*agentning pozitsiyasi*”, uning “*nuqtai-nazari*” (attitudes) deyiladi. Qolganlari ingliz tilidagi bitta umumiy «pro-attitude» atamasi bilan tavsiflanadi.

Mohiyat shundan iboratki, bu tushunchalar agentlarning xulqini, ushbu atamalar mazmunli va rasmiy jihatdan haqiqiy tasdig'ini topadigan qilib, "yo'naltiradi".

Shuningdek agent quyidagi xossalarga ega bo'lishi kerak:

- harakatchanlik (mobillik) (mobility) – agentning, masalalarni birgalikda yoki boshqa agentlar yordamida jamoaviy yechishda o'zining masalasini yechish uchun zaruriy axborotlar qidiruvida tarmoq bo'ylab ko'chish qobiliyati;

- xayrixohlik (benevolence) – agentlarning bir-biriga yordam berishga tayyorligi va agentning foydalanuvchi tomonidan berilgan topshiriqni yechish qobiliyati bo'lib, u agentda nizoli maqsadlar yo'q deb faraz qiladi;

- haqqoniylik (veracity) – agentning unga berilgan axborotning yolg'onligi ma'lum bo'lganda uni boshqarmaslik xossasi;

- ratsionallik (ma'qullik) (rationality) – agentning o'z maqsadlariga erishishi uchun (undan chiqib ketmasdan) o'z bilimlari va ishonchlari doirasida harakatlanish qobiliyati.

O'zlarining funksiyalarini faol bajarishlari uchun intellektual agentlar odatda ko'pgina "subagentlar"dan iborat bo'lgan iyerarxik strukturaga ajratiladi. Intellektual subagentlar past saviyali funksiyalarga ishlov beradi va ularni bajaradi. Intellektual agentlar va subagentlar murakkab masalalarni yechishga qodir bo'lgan to'la tizimni tashkil etadi. Bunda tizimning xulqi aqlli taassurot qoldiradi.

Subagentlarning quyidagi turlari mavjud:

- vaqtli agentlar (tezkor qarorlar qabul qilish uchun);
- fazoviy mijozlar (real dunyo bilan ta'sirlashish uchun);
- sensorli agentlar (sensorli signallarga ishlov beradi);
- ishlov beruvchi agentlar (nutqni tanish kabi muammolarni yechadi);

- qaror qabul qiluvchi agentlar;
- o'rganuvchi agentlar (boshqa intellektual agentlar uchun ma'lumotlar bazasi va strukturasini yaratish uchun);

- dunyoviy agentlar (avtonom xulq uchun agentlarning qolgan sinflarini o'zigi birlashtiradi).

Nihoyat, *yarim intellektual* deb hisoblanadigan va cheklangan sondagi agentlar ham mavjud (soddaligi, qaror qabul qilish qobiliyatining kuchsizligi, tashqi dunyoga bo'lgan qarashlarining

cheklanganligi va yomon o'rganganligi sababli yarimintellektual deyiladi):

- sotib olishlar bo'yicha robotlar;
- foydalanuvchi yoki shaxsiy agentlar;
- boshqaruvchi va kuzatuvchi agentlar;
- axborotga erishuvchi agentlar.

Sotib olishlar bo'yicha robotlar tarmoq manbalarini (ko'proq Internetni) ko'rib chiqib, mahsulot va xizmatlar bo'yicha axborotlarni to'laydi.

Foydalanuvchi yoki shaxsiy agentlar – bu Sizning qiziqishlaringiz asosida va Sizning nomingizdan ishlovchi intellektual agentlar. Bu kategoriyaga, doimiy yoki ma'lum vaqt mobaynida quyidagi funksiyalarni bajaruvchi agentlar kiradi:

- pochtani tekshiradi va uni muhimlik bo'yicha saralaydi;
- opponent sifatida kompyuter o'yinlarida o'ynaydi;
- yangiliklarni to'playdi;
- tanlangan predmet sohasi bo'yicha axborotlarni qidiradi;
- keyingi foydalanuvchigacha axborotlarni saqlagan holda, mustaqil ravishda web-shakllarni to'ldiradi;
- tayanch axborotlarni qidirgan holda veb-sahifalarni kuzatadi;
- turli mavzularda «bahslashadi» (munozara qiladi).

Boshqaruvchi va kuzatuvchi agentlar «bashoratlovchi agentlar» sifatida ma'lum bo'lib, kuzatishlarni olib boradi va hisobotlarni jo'natadi. Ular odatda kompyuter tarmoqlarini, tarmoqqa ulangan har bir kompyuter konfiguratsiyasini kuzatishni olib boradi.

Axborotlarga erishuvchi agentlar aborotlarni to'plagan holda ma'lumotlar omborida ishlaydi. Ma'lumotlar ombori o'zida turli manbalardan kelayotgan axborotlarni birlashtiradi. *Axborotlarni to'plash* – bu keyinchalik foydalanish uchun axborotlarni qidirish jarayoni. Tasniflash – axborotlarni to'plash uchun eng ko'p qo'llaniladigan usullardan biri bo'lib, axborotlardagi timsollarni topadi va kategoriyalaydi. Axborotlarga erishuvchi agentlar rivojlanish tendensiyasining tayanch o'zgarishlarini aniqlashi va yangi axborotlar borligi haqida ogohlantirishi mumkin.

4.2. Multiagentli taqsimlangan tizimlar

Murakkab ishlab chiqarishlarni boshqarish tizimlarini yaratishda ishlab chiquvchilar oldida dilemma (ikkilanish) yuzaga keldi: cheklanishlar to'plamini, chunki nafaqat resurslarga bo'lgan, balki boshqalari ham bor, e'tiborga olgan holda ishlab chiqarishning optimal unumdorligi va zaruriy moslashuvchanligini ta'minlash zarur. Bu ishlab chiqarishning murakkabligi va u ishlaydigan muhitning aniqlanmaganligi bilan bog'liq. Bu ikkilanishlarni (boshqa omillar bilan bir qatorda) yengish texnologik jihozlar, ishlab chiqarish rejimlari va ularni boshqarish tamoyillarining moslashuvchanligini belgilab beradi.

Uzluksiz ishlab chiqarishning murakkabligi katta sondagi fazoviy-taqsimlangan texnologik obyektlar, ular o'rtasidagi ko'p sonli fizik o'zaro aloqalar, texnologik, rejaviy va tashkiliy-iqtisodiy qarorlar – bularning barchasi turli ishlab chiqarish bo'limlari o'rtasida taqsimlangan majmuaviy masalalarni yechishni talab etadi. Masalalarni granulyatsiyalashning oshishi, ya'ni global ishlab chiqarish masalalarini yanada mayda masalalarga bo'laklash, koordinatsiyalash qiymatlarining oshishiga olib keladi va masalalarning taqsimlanganlik qiymatlari masalalar o'rtasidagi kooperatsiyalash darajasini belgilab beradi. Bu ishlab chiqarish korxonasining ikkita asosiy iqtisodiy resurslari hisoblanuvchi masalalarni (bilimlarni) taqsimlanishiga ham fizik resurslar (jihozlar, shaxslar) ni taqsimlanishiga ham tegishli.

Ishlab chiqarishni boshqarishning taqsimlangan intellektual tizimlari fizik resurslarning integratsiyasini emas, balki ixtisoslashgan bilimlar, ma'lumotlar bazasini ishlab chiqarishning alohida taqsimlangan va tashkillashtirilgan bo'limlarida integratsiyalash hamda ularni axborot jarayonlariga integratsiyasini ko'rib chiqadi.

Sanoat ishlab chiqarishining uzluksiz texnologik jarayonlari murakkab hisoblanib, qaysidir darajada aniqlanmagan, noaniq taqsimlangan muhitda ishlovchi dinamik tizimlar bo'lishi mumkin. Ishlab chiqarishning yuqorida ko'rsatilgan tavsiflarini e'tiborga olish uchun ishlab chiqarishni atrof-muhitga moslashtirish va boshqarish jarayonining parametrlarini optimallashtirish uchun boshqarish va rejalashtirish masalalarini yechish talab etiladi. Sanoat ishlab chiqarishining murakkabligi masalalarni geterarxik gorizontol

strukturaga, ishlab chiqarish muhitining aniqlanmaganligi esa iyerarxik vertikal strukturaga taqsimlashni talab etadi. Shunday qilib, ishlab chiqarishning murakkabligi va atrof-muhitning aniqlanmaganligi ishlab chiqarishni boshqarishning taqsimlangan iyerarxik tizimi (ICHBTIT) ni yaratishni talab etadi.

Tashkilot, boshqarish tizimining asosi bo'lib, funksional va iyerarxik dekompozitsiyani o'zida mujassamlashtirgan holda koordinatorlar, rejalashtiruvchi va nazoratchilar yordamida qaror qabul qilish jarayonining samarali bo'lishini ta'minlaydi. Bunda qaror qabul qilish jarayonlari qarorlarning real sanoat ishlab chiqarishidagi harakatlarga yaqinligini belgilab beradi [4].

Turli sathlarda turli qaror qabul qilgichlar tomonidan bajariladigan asosiy harakatlar:

- koordinatsiyalovchi harakatlar, ular turli qaror qabul qilgichlar tomonidan qabul qilingan va umumiy muammoni yechishda qatnashadigan yechimlarning muvofiqligini qo'llab-quvvatlashga yo'naltirilgan bo'ladi;

- harakatlarni rejalashtirish, berilgan maqsadni ta'minlash uchun texnologik jarayonlar o'rtasida resurslar (moddiy, moliyaviy va boshqa) ni taqsimlashga mo'ljallangan bo'ladi;

- boshqaruvchi harakatlar, sanoat obyektlarida kechadigan texnologik jarayonlarning maqsadli va real faoliyati o'rtasidagi og'ishlarni minimallashtirishga yo'naltirilgan bo'ladi.

Ishlab chiqarishning umumiy maqsadiga erishi uchun funksiya va masalalarni koordinatsiyalash, harakatlar ketma-ketligini rejalashtirish, real sharoitlarda ishlab chiqarishning optimal xulqini qo'llab-quvvatlash uchun uni boshqarish quyidagi xususiyatlar bilan xarakterlanadi:

1. Qaror qabul qilgichlar (koordinatorlar, rejalashtiruvchilar va shu kabilar) ning ishlashi ishlab chiqarish, jarayonlar holati, noaniq aniqlanmaganlik bilan monand tavsiflanadigan ishlab chiqarish muhitining aniqlanmaganligi sharoitlarida yuz beradi.

2. Ishlab chiqarish vaziyatlarining o'zgaruvchanligi, ishlab chiqarish holatini tavsiflovchi ma'lumotlar va bilimlarning dinamikligi qaror qabul qilgichlar me'yorda ishlashi uchun zarur bilimlar bazasi va ma'lumotlar bazasini real rejimda tiklanishini talab etadi. Bunda ishlab chiqarishni rejalashtirish va boshqarish tizimlarini o'rgatish muammosi birinchi o'ringa chiqadi.

3. Sanoat ishlab chiqarishini rejalashtirish va boshqarishning ko'pgina masalalari (xususan, tashxislash), harakatlar rejasini tanlash, noaniqlik va aniqlanmaganlik sharoitlarida bajariladigan boshqaruv qarorlarini ishlab chiqish qisman mantiqiy, qisman intuitiv hisoblanadi va evristik qoidalar, modellashirish usullari va sog'lom fikrlashni qo'llashni talab etadi. Bu holda klassik algoritmik usullar to'g'ri kelmaydi.

4. Qaror qabul qilgichlar (koordinatorlar, rejalashtiruvchilar, nazoratchilar) yechiladigan muammolarni mustaqil yoki qisman bog'langan submuammolarga aylantiradi va nizoli vaziyatlarni bilimlarga tayanuvchi maqsadlar o'rtasida axborotlarni almashtirish usuli bilan bartaraf etadi. Ko'pincha bu maqsadlar noaniq belgilangan bo'lib, nizolarni bartaraf etish maqsadida maqsadlar o'rtasidagi integratsiya aniqlanmaganlik sharoitida yuz beradi.

5. Masalalarni yechgichlar (masalan, interpretatsiyalash, tashxislash, rejalashtirish va shu kabilarning ekspertli tizimlari), bilimlar bazalari, ma'lumotlar bazalari butun sanoat korxonasi bo'ylab taqsimlangan, chunki fizik resurslar (mehnat resurslari, materiallar, jihozlar) korxona chegarasida fazoviy taqsimlangan. Boshqarish tizimi axborotlar, bilimlar, tajribalarni boshqarish tizimining barcha iyerarxiyasi bo'ylab taqsimlanishiga imkon berishi lozim. Ishlab chiqarish, texnologik jarayonlar, resurslarni taqsimlashning, tajriba bo'yicha o'rgatilgan va bilimlarga tayanuvchi modellari tizimning barcha tuzilmasi bo'yicha integratsiya vositasi (bazasi) bo'lishi kerak.

Murakkab sanoat ishlab chiqarishini rejalashtirish va boshqarishning yuqorida sanab o'tilgan xususiyatlaridan kelib chiqqan holda [5,6], xulosa qilib shuni aytish mumkin-ki, boshqarish tizimlariga qo'yilgan zamonaviy talablarga javob beradigani – bu Soft Computing texnologiyasiga asoslangan taqsimlangan intellektual tizimdir. Bunday tizim struktura, funktsiya va xulq bilan belgilanadi, ya'ni u o'zaro ta'sirlashuvchi osttizimlardan tashkil topgan bo'lib, ishlab chiqarish va uni tashkil etuvchi elementlarining noaniq va aniqlanmagan holatlari sharoitida maqsadga erishish masalalarini hal etadi.

Gazni qayta ishlovchi korxona misolida ishlab chiqarishni boshqarishning taqsimlangan intellektual tizimi (ICHBTIT) ga e'tibor qaratamiz.

ICHBTIT ni tashkil etish. Gaz qazib chiqaruvchi korxonalarning asosiy maqsadi resurslarga bo'lgan limit, vaqt va tannarxlarga bo'lgan cheklanishlarni e'tiborga olgan holda berilgan miqdor va sifatdagi gazni quritish hisoblanadi. Resurslarni boshqarish, tarkibiga insonlar, jihozlar va boshqa vositalar guruhlarini birlashtiruvchi va turli ishlab chiqarish cheklanishlariga amal qilgan holda maqsadlar to'plamiga erishini ta'minlovchi mos bo'linmalar tomonidan amalga oshiriladi. Ko'rib chiqilayotgan tizim o'zida teskari aloqali berk boshqarish tizimi ko'rinishidagi integrallashgan tizimni namoyish etadi. Bunday tizimning kirishlari berilgan tavsifli quritilayotgan gaz miqdoriga bo'lgan topshiriq, chiqishlari esa tayyor mahsulot (quritilgan gaz, kondensat, motor moyi va shu kabilar) hisoblanadi.

4.2.1-rasmda ishlab chiqarishni boshqarishning taqsimlangan intellektual tizimi sxemasi keltirilgan.

«Ishlab chiqarishni rejalashtirish» sathida, o'lchash bloki (O'B) va integrallash bloki (IB₁) yordamida bajariladigan joriy o'lchashlar asosida gorizont t_2 da mahsulot chiqishining integrallangan qiymatlarini ularning berilgan qiymatlari bilan solishtirish, solishtirish bloki (SB₁) da amalga oshiriladi. shuningdek, xom ashyo, mahsulotlarni yuklash, texnologik jihozlarning holati, strategik rejalashtirish (marketing) talablarini e'tiborga olgan holda ishlab chiqarish rejasining integral ko'rsatkichlari aniqlanadi.

«Ishlab chiqarishni tezkor boshqarish» sathida tezkor t_1 vaqt oralig'ida tezkor rejalash hisoblanadi. IB₂, SB₂ ning funksiyalari IB₁ va SB₁ ning funksiyalariga o'xshash.

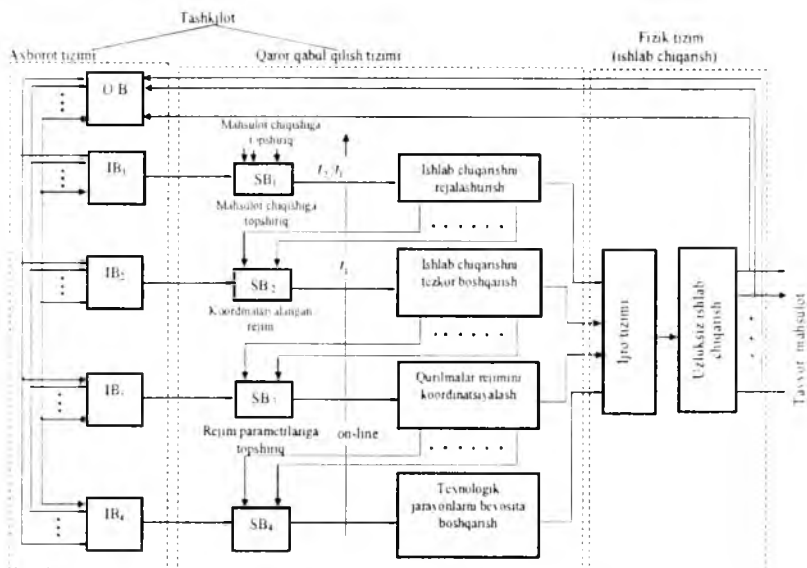
«Texnologik qurilmalar rejimlarini koordinatsiyalash» sathida, chiqarilayotgan mahsulot va ularning sifatini rejalashtirilgan reglament qiymatdan minimal og'ishini ta'minlash maqsadida, gaz ishlab chiqarish sanoati obyektlarining TJBAT agentlari o'rtasidagi koordinatsiyalash ta'minlanadi. IB₃, SB₃ ning funksiyalari IB₁ va SB₁ ning funksiyalariga o'xshash.

Iyerarxiyaning «Texnologik jarayonlarni bevosita boshqarish» sathida, iyerarxiyaning oldingi sathlarida aniqlangan texnologik jarayonlar rejimlarini tutib turish maqsadida, texnologik jarayonlarni rostdash amalga oshiriladi. IB₄, SB₄ ning funksiyalari IB₁ va SB₁ ning funksiyalariga o'xshash.

Ko'rib chiqilayotgan ICHBTIT da tashkilot masalalar yechgichlari (masalan, sanoat ishlab chiqarishini va gaz ishlab

chiqarish obyektlarini tezkor boshqarish (scheduling) uchun ekspertli tizimlar) va axborotlarga ishlov berishning taqsimlangan tarmog'i sifatida aks ettiriladi. Bu tarmoqlarda muammolarni intellektual iyerarxik boshqarish va rejalashtirishga mos keluvchi submuammolarga bo'laklash o'rindir.

Shuni ta'kidlash joizki, ICHBITT materiallar va axborotlarga ishlov berishning protsessori hisoblanib, fizik ishlab chiqarish, qaror qabul qilish osttizimi va axborot osttizimlarini o'z ichiga oladi. Oxirgi ikkitasi birgalikda axborot-boshqaruv tizimining asosini tashkil qiladi (4.2.1-rasm).



4.2.1-rasm. ICHBITT da tashkilotni aks ettirish sxemasi:

O'B – joriy o'lchashlar bloki; IB – integrallash bloki;

SB – solishtirish bloki.

Agentlar. Ko'rib chiqilayotgan taqsimlangan intellektual tizim, aytib o'tilganidek, o'zida masalalarni yechgichlarning bog'langan tarmog'ini o'zida aks ettiradi va ular alohidalikka berilmasdan, ma'lum masalalarni birgalikda ishlagan holda yechishadi. Ma'lumki, bu masala yechgichlar ICHBITT ning intellektual agentlari hisoblanadi.

Keyinchalik ICHBTIT ni, ma'lum masalalarni yechish va global maqsadga erishishda bir-birini faoliyatini koordinatsiyalovchi kooperativ, avtonom va intellektual agentlar tashkilotini o'zida namoyon etuvchi, multiagentli taqsimlangan intellektual tizim sifatida ko'rib chiqish mumkin.

Agentning intellektualligi, uning xususiy va umumiy (global) maqsadlarga nisbatan ratsional va aqlli harakat qila olish qobiliyati bilan belgilanadi. Agentning avtonomligi, uning boshqa agentlar tomonidan belgilanmagan, o'zining xususiy faoliyati bilan belgilanadi.

Kooperativ agentlar, ma'lum masalalarning yechimlari va bilimlarni almashgan holda, o'zaro ishlaydi [7,8]. Bunday agentlar kelib tushayotgan ma'lumotlar va xabarlarini idrok etish va talqin qila olish, xususiy bilimlari asosida mantiqiy xulosalash, qaror qabul qilish, rejalarini rejalashtirish va ijro etish, shuningdek xabarlarini jo'natish qobiliyatlariga ega bo'lishi kerak.

Agentlar ikki turda bo'lishi mumkin: *agent-insonlar* va *sun'iy agentlar*. Bu holda, ikkinchi tur agentlarning, masalan, sanoat obyektlari uchun ekspertli tizimlar, texnologik jarayonlar uchun aqlli tizimlarning afzalliklari ko'rib chiqilmoqda.

Ko'rib chiqilayotgan ICHBTIT konsepsiyasi doirasida, tashkilotning ketma-ket uchta asosiy tashkil etuvchilarini ko'rish mumkin: ichki axborotlardan tuzilgan strukturali; tashqi axborotlarni transformatsiyalovchi kommunikatsiyali; tashqi axborotlarni ichki axborotlarga almashtiruvchi boshqaruvli tashkil etuvchilar.

Struktura. Tizimning strukturasini uning osttizimlari, vaziyati, harakati, passiv, faol obyektlari va fazolari, obyektlari o'rtasidagi sabab va vaqtli munosabatlarini belgilab beradi. ICHBTIT uchun maqul struktura – bu bo'g'inlarida lokal intellektual agentlar (LIA) bilan bog'langan koordinatsiyalovchi intellektual agentlar (KIA) (masalan, tezkor boshqarishning koordinatsiyalovchi ekspertli tizimi) turgan struktura.

LIA funksional masalalarning tor doirasini hal qiladi, KIA esa – LIAning ishi natijasida olingan axborotlar to'plamini talab etadigan yirik masalalarni yechadi. Bu ICHBTIT da bilimlar almashinuvining bo'g'inlararo tilini monand tashkil etishni talab etadi. ICHBTIT dagi tashkilot jismoniy zavodning modeli bo'lganligi sababli, ishlab

chiqarishning strukturalari va undagi ICHBTIT o'rtasidagi muvofiqlik ko'rib chiqiladi.

KIA foydalanuvi so'rovlarini identifikatsiyalash va ularni quyi sathdagi KIA va LIA larga jo'natish funksiyalarini bajaradi. Ularni ifodalangan bilimlarni bo'g'inlararo almashinuv bayonnomasiga muvofiq o'zgartirish nazarda tutiladi. LIA da so'rovlarga ishlov berilgandan so'ng, KIA ga javob jo'natiladi va u javobni foydalanuvchiga qulay shaklda uzatadi.

Agar bir LIAning boshqasini bilimlar bazasiga murojaat qilishi kerak bo'lib qlosa, unda tashabbuskor LIA mos KIAga murojaat qiladi. KIA esa, o'z navbatida, so'rovni tanishni amalga oshiradi va uni tarmoqdagi zaruriy yo'nalish bo'ylab jo'natadi va oxirgi natijani talqin qiladi. ICHBTIT, u yoki bu funksional vazifalarni bajarish uchun zarur bo'lgan, ma'lumotlar bazasining taqsimlangan tizimiga ega bo'ladi.

Ko'rib chiqilayotgan strukturadagi iyerarxik sathlar miqdori axborotlarning aniqlanmaganlik darajasi bilan, funksional sathlar soni esa yechilayotgan masalalar ko'lemi bilan belgilanadi.

Boshqarish strategiyasi. Ko'p pog'onali iyerarxik tizimlardagi boshqarish strategiyasi maqsad va vazifalarning (maxsus boshqarish, tizim xulqini baholash bilan boshqarish va boshqalarning) tavsiflaridan kelib chiqqan holda farqlanadi. ICHBTIT da maqsadlar aniq shakllantirilganligi (masalan, unumdorlik, iqtisodiy ko'rsatkichlar kabi) sababli, harakat natijalari o'lchanadigan va bunda natijalarni baholash bilan boshqarish strategiyasidan foydalaniladi, u taqsimlangan boshqarishli tizimning butun iyerarxiyasi bo'ylab, lokal va global maqsadlarning muvofiqligini ta'minlashi zarur. Boshqarishning bunday strategiyasini konstruksiyalash, tizim dinamikasini modellashtirish, uning xulqini sifatli tavsiflarini tavsiflash hamda teskari aloqa, optimal boshqarish algoritmlaridan foydalanishga asoslanadi.

Kommunikatsiya. Taqsimlangan multiagentli intellektual tizimlarda kommunikatsiya turi va paradigmlarini tanlash – asosiy muammolardan biri.

ICHBTIT da agentlar soni va ularning o'zaro ta'sirlarini tashkil etishning markazlashmaganlik darajasi oshishi bilan, agentlar o'rtasida aylanuvchi axborotlar (xabarlar, bilimlar va ma'lumotlar) miqdori

oshib ketadi. Biroq, bu axborotlarga ishlov berish va ularni uzatish cheklangan ratsionallik tamoyili bilan cheklanadi [4,9].

Demak, kommunikatsiyaning shunday uslubiyatini tanlash kerakki, u lokal jarayonlar (masalan, agentlar, agentlar guruhlar hamda ular o'rtasidagi o'zaro ta'sirlashuvni ta'minlash uchun xabarlarini uzatish) uchun birgalikda ishlatiladigan xotirani nazarda tutuvchi aloqalarni minimallashtirishni ta'minlasin.

ICHTIT agentlari o'rtasidagi muvofiq kooperatsiyani ta'minlovchi tashkillashtirish va vositalarning tashkil etuvchilari sifatida, kommunikatsiya va boshqarish, qaysidir darajada bir-birini to'ldiradi. Masalan, bir agent boshqa agentlar haqidagi bilimlar yoki holatlarning modellariga ega bo'lganda, ICHTIT dagi kommunikatsiya minimallashtiriladi, demak, bunday model (bilim) boshqa agentning holatini umuman noto'g'ri aks ettirganda kommunikatsiyaga zarurat tug'ilar ekan.

Kommunikatsion tizim – bu axborot tizimi emasligini e'tiborga olish zarur. U jismoniy ma'lumotlarning aloqalarini ta'minlaydi, agentlar, insonlar va jihozlar o'rtasida xabarlarini uzatishga moslashgan standart bayonnomalarni belgilab beradi. O'zida rejalashtirish va boshqarish bilan bog'liq axborotlarni aks ettiruvchi xabarlarining mazmuni kommunikatsiya tizimlari uchun ahamiyatga ega emas.

ICHTIT asosiga Standartlarning Xalqaro Tashkiloti Ochiq Tizimlarining O'zaro ta'sirining yetti pog'onali modellari qo'yilgan.

Koordinatsiyalash, kooperatsiya. Taqsimlangan boshqarishning ustuvor muammosi agentlar o'rtasidagi kooperatsiya darajasi, kooperatsiyalangan agentlarning o'zaro ta'sirlarini tashkil etish hamda agentlar o'rtasidagi muvofiq kooperatsiya darajasi bilan belgilanadi. Intellektual agentlar, o'zaro vazifalarni taqsimlab olgan (kooperatsiyalab) holda, shunday koordinatsiyalanadilar-ki, natijada global yoki guruhli maqsadlarga erishishning umumiy muammolarini yechishda intellektual avtonom agentlarning xulqlari muvofiqligiga erishiladi.

Ko'rib chiqilayotgan yondashuv, koordinatsiyalashning to'la markazlashmagan strukturasiga emas, qisman markazlashmagan strukturaga mo'ljallangan bo'lib, bunda agentlardan biri koordinator (qaror qabul qiluvchi), qolganlari esa subordinatlar hisoblanadi va umumiy maqsadga erishi uchun submuammolarni hal qilishadi.

Umuman olganda, ICHBTIT to'la kooperativ bo'lishi mumkin, bunda kommunikatsiya qiymati yuqori, boshqarish qiymati esa past va antagonistik agentlar bilan amalga oshiriladi hamda kommunikatsiyaning past qiymati va boshqarishning yuqori qiymatini talab etadi. Uzlüksiz ishlab chiqarishlar (neft-gaz qazib chiqaruvchi, neft-gazni qayta ishlovchi, neft-kimyoviy, kimyoviy va shu kabilar) ning ko'pgina real ICHBTIT o'zida avtonom agentlarni birlashtiradi va ma'lum darajadagi kooperativlik xossasiga ega bo'lishadi.

Sanoat tarmoqlari uchun ICHBTIT kooperatsiyasining tavsiflari: boshqarish tavsifi – avtonom; kommunikatsiya qiymati – o'rtacha.

Ko'rsatib o'tilganlar, ushbu turdagi ICHBTIT larini ishlab chiqishda koordinatsiyali boshqarish strategiyasining quyidagi usullaridan birgalikda foydalanish maqsadga muvofiqligini tasdiqlaydi: kommunikatsiya – yo'naltirilgan usul (vaziyat va rejaga nisbatan xabarlar jo'natish) va "yuqoriga-pastga" boshqarish usuli.

4.3. Multiagentli tizimlarni qurishning asosiy tamoyillari va ularning arxitekturasini

Boshqarishning taqsimlangan intellektual tizimlarini qurishning konseptual asoslarini amalga oshirish uchun quyidagi asosiy tamoyillar keltiriladi [7,8].

Axborot manbalarining taqsimlanganligi va ochiqqligi. ICHBTIT da ma'lumotlar, bilimlar, tajribalar bazalari butun tuzilma bo'ylab taqsimlanadi. Ularning, qaror qabul qilishda zarur bo'ladigan barcha intellektual agentlar uchun ochiqqligi ta'minlanishi zarur. Shuningdek, ikkita asosiy masala: intellektual agentlar orasida boshqaruvni taqsimlash va bu agentlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirlashuv hal etilgan bo'lishi lozim. Agentlar o'rtasidagi muvofiq kooperatsiyaning zaruriy darajasi ta'minlangan bo'lishi kerak.

Intellektning dekompozitsiyalanuvchanligi. Sun'iy intellekt asosida boshqarishning taqsimlangan tizimlarini qurishda tizimning global intellektini qismli intellektlar to'plamiga ratsional dekompozitsiyalash zarurati yuzaga keladi. Bunda har bir qism intellekt muammo va masalalarning cheklangan va maxsus doirasini qamrab oladi.

Bunda ICHBTIT dagi osttizimlar parallel ishlaydi va ma'lumotlar va bilimlarga ishlov berish tezligi ortadi, bu esa o'z navbatida qaror qabul qilishni tezligini oshiradi. Ushbu holda

intellektual komponentlarning tirajlanishi va ulardan takroran foydalanish imkoniyati tugʻiladi.

Qisman intellektlarning koordinatsiyalanuvchanligi, bilimlarning qayta integratsiyalashuvi. Intellektning dekompozitsiyalanishi, bilimlar, boshqarish jarayonlari va qaror qabul qilishning taqsimlanish xarakterlari, alohida masalalarni yechish jarayonida qisman intellektlarning integratsiyalanishi uchun zaruriy shartlarni taʼminlashni talab etadi. Qisman intellektlarning koordinatsiyalashuvi va integrallanuvchanligi axborotlar toʻliq boʻlmagan sharoitlarda qaror qabul qilish masalalarini muvaffaqiyatli yechishga imkon beradi.

ICHBTIT jismoniy ishlab chiqarish jarayonlarini emas, balki boshqarishning turli iyerarxik darajalarida tashkil etilgan maxsuslashtirilgan bilimlarni qayta integratsiyalashni nazarda tutadi. Bu axborot jarayonlarini qayta integratsiyalash yordamida amalga oshiriladi.

Tizim intellektining noadditivligi. ICHBTIT ning umumiy intellekti tarkibiy agentlarning qisman intellektiga nisbatan additiv emas. Agentlarning mos faoliyati, ular oʻrtasidagi optimal kooperatsiya intellektual mohiyat kabi bilimlar bilan oʻzaro almashinadi va yangi bilimlarni yuzaga keltiradi hamda tizimning intellektual potentsiali tarkibiy agentlarning umumiy intellekti additivligidan oshib ketadi.

Global va lokal bilimlar nisbatining ratsionalligi. Agar ICHBTIT dagi umumiy intellektni maydalariga taqsimlansa, yaʼni tizim kuchli taqsimlangan boʻlsa, unda avtonom agentlar oʻzining jamoadoshlari holatlari haqida juda kam bilishadi. Agentlarning yoʻqotilishi yoki qoʻshilishi, agentlarga beriladigan yuklamaning oʻzgaruvchanligi va boshqa omillar bilan belgilanadigan, ICHBTIT ni oʻzgaruvchanligi bu muammolarni zaruriy etib tayinlaydi. Bunday holatlarda global va lokal bilimlarning ratsional nisbati taʼminlanishi kerak. Agar ishlab chiqilayotgan ICHBTIT dinamik boʻlsa, unda undagi global bilimlar hajmi minimal boʻlishi kerak, chunki ular to ishlatilguniga qadar eskirib qoladi. Bunda lokal bilimlar dolzarb va muhim hisoblanadi. Aksincha, agar ICHBTIT kuchsiz dinamik (masalan, masalani bajarilish vaqti minutlarda, ishlab chiqarish barqarorligi esa sutkalarda hisoblanganda) boʻlsa, lokal bilimlar hajmi minimal, global bilimlar hajmi esa maksimal boʻlish kerak.

Robastlik va moslashuvchalik. Sun'iy intellektli tizimlar tarmog'iga tizimning ishonchliligi va yashovchanligi, funksional imkoniyatlarning saqlanishi, joriy vaziyat va obyekt holatlarining boshqarish algoritmlari muvofiqligini ta'minlash bo'yicha qat'iy talablar qo'yiladi. Tizimlarning real vaqt masshtabida ishlashi, boshqarish obyektlarida bevosita boshqarish ta'sirlarini shakllantirish va amalga oshirish tizimning yuqori ishonchliligini ta'minlashni talab etadi. Biror bir qismning buzilish holatida, tizimning strukturasini qayta konfiguratsiyalash hisobiga uning funksional imkoniyatlarini tiklanishini ta'minlashi zarur. Ma'lumotlar va bilimlar bazalarini yangilash mexanizmlarini nazarda tutish va amalga oshirish zarur. Ikki karali moslashuvchanlik (strukturali va parametrik) – sun'iy intellektli tizimlar asosida taqsimlangan boshqarish tizimlarini yaratishning zaruriy sharti.

Ko'p rejimlilik. ICHBTIT tarkibidagi lokal tizimlar tuzilishi va shakliga ko'ra turli masalalarni yechadi. Masalalarning tarkibi va foydalanuvchilarning talablarini e'tiborga olgan holda tizimning ko'p rejimli (paketli ishlov berish, tezkor ruxsat berish, real vaqt masshtabi) ishini ta'minlash zarur.

Tizimning ochiqiligi. ICHBTIT ni yaratish bosqichida masalalarning cheklangan doirasi ko'rib chiqiladi. Uning tadrijiy rivojlanish jarayonida, oldin amalga oshirilgan masalalar to'plami bilan mos bo'lgan yechimlar talab etiladi. Ishlab chiqarishning rivojlanishi mos ravishda boshqarish tizimlarining rivojlanishini talab etadi. Shundan kelib chiqqan holda, ICHBTIT modulli strukturali ochiq tizim sifatida quriladi va u o'ziga yangi masalalarni va intellektual agentlarni qo'shish imkonini beradi.

Boshqa agentlarning xulqini bashoratlash. ICHBTIT da mavjud va endi qo'shiladigan agentlar xususiy intellektga ega bo'lishlari va o'zlari bajaradigan vakolati, kompetensiyasi va bajaradigan funksiyalari doirasida aloqa tarmog'i bo'yicha boshqa qismlar bilan o'zaro aloqada bo'lishi kerak.

Taqsimlangan intellektual tizimlarda kommunikatsiya tannarxini minimallashtirish uchun agentlar holat modellari yoki boshqa (qo'shni) agentlarning aks ettirilishiga ega bo'lishi zarur. ICHBTIT agentlarning rejalari, ratsional xulqi va boshqa agentlarning bilimlarini ularda joylashgan axborotlar asosida. Katta miqdordagi axborot almashinuvi hisobiga intellektual bashoratlashni nazarda tutadi. Bunda

har bir intellektual agent muhitlar, ma'lumotlar va boshqarishning aniqlanmaganligi (sensorlar, kommunikatsiya kanallari haqida axborotlarning to'liqmasligi, boshqa agentlarning to'la yoki aniq modellarining yo'qligi) bilan ish ko'radi.

ICHTIT ning arxitekturası. ICHBTIT ning arxitekturası o'zaro va tashqi agentlar bilan o'zaro ta'sirlashuvchi intellektual agentlarning ko'p sathli iyerarxik tarmog'i kabi aks ettiriladi [11-32].

Yuqorida aytib o'tilganidek, ICHBTIT da ikki turdagi agentlar farqlanadi: avtonom ishlaydigan va axborotlarga ishlov berish hamda qaror qabul qilishning xususiy masalalarini yechuvchi lokal intellektual agentlar (LA_g): o'zining xususiy funksiyalaridan tashqari, tizimdagi kooperatsiyalangan intellektual agentlarni koordinatsiyalash masalalarini yechuvchi koordinatsiyalovchi intellektual agentlar (KA_g).

ICHTITni taklif etilayotgan arxitekturası 4.3.1-rasmda keltirilgan.

Arxitekturadagi boshqarish sathida manbalarni (korxona, ishlab chiqarish, texnologik jarayon va shu kabilarni) agregatsiyalash amalga oshiriladi. Bu iyerarxiya tizimdagi rejalashtirish va boshqarish iyerarxiyalarini moslashtiradi. Bunda har bir sath rejalashtirish gorizonti va qarorlarni yangilanish davri bilan belgilanadi: global rejalashtirish – yil/oy, tezkor boshqarish - oy/kun bilan va shu kabilar.

ICHTIT dagi iyerarxiyani tashkil etish chuqurligi (iyerarxik sathlar miqdori) shartli hisoblanadi va u korxona sathlari miqdoriga bog'liq.

ICHTIT dagi birinchi sathdagi koordinatsiyalovchi agentlarning asosiy vazifalari quyidagilar hisoblanadi: ishlab chiqarish rejasini aniqlash va korxona bo'yicha yillik mahsulotlarni kvartallarga bo'lib amalga oshirish; korxona bo'yicha yillik ishlab chiqarish dasturini turli mezonlarga ko'ra shakllantirish (masalan, maksimum foyda, minimum xarajatlar va shu kabi); korxona bo'yicha ishlab chiqarish dasturini rejali davrlar bo'yicha taqsimlash.

Bu agentlar vazifasiga manbalarning rejali fondini hisoblash ham kiradi (masalan, ishlab chiqarish ishchilarining rejali sonini hisoblash, oyli-maoshlarning rejali fondini hisoblash va shu kabilar).

Ishlab chiqarishning istiqbolli rejasi yoki marketing rejasi, shuningdek quyida joylashgan osttizimlar (intellektual agentlar) dan olinadigan axborotlar asosida birinchi sath (korxonani boshqarish) asosini tashkil etuvchi global rejalashtirgichlar ICHBTIT ni ikkinchi sathida bajariladigan rejalarni ishlab chiqadi. Bu sath – ishlab chiqarish bo'linmalari sathi – ishlab chiqarishni tezkor boshqarish, mahsulot sifatini tezkor boshqarish, yordamchi ishlab chiqarishni tezkor boshqarish uchun mo'ljallangan intellektual koordinatsiyalovchi agentlar to'plamini o'z ichiga oladi.

Koordinatsiyalovchi intellektual agent (KA_{11}^2 ikkinchi pog'onaning birinchi agenti) korxonaning barcha ishlab chiqarish-xo'jalik faoliyatini boshqarish jarayonlarini bog'lab turuvchi markaziy bo'g'in hisoblanadi. Uning funksiyalariga kvartalli ishlab chiqarish dasturlarini kalendar muddatlar (oy) va qurilmalar (sex) bo'yicha taqsimlash, ishlab chiqarishni tezkor ta'minlash va unga xizmat ko'rsatish, manbalarni boshqarish va shu kabilar kiradi.

Bundan tashqari, ushbu agent har bir ishlab chiqarish (sex)ni tashkil etuvchi sex (qurilmalar) ning faoliyatini koordinatsiyalash funksiyalarini ham bajaradi. Buning uchun ular tomonidan keyingi sath agentlari uchun rejali topshiriqlar shakllantiriladi.

Ikkinchi sathning ikkinchi koordinatsiyalovchi agenti KA_{12}^2 sifat mezoniga ko'ra kvartalda mahsulot ishlab chiqarishni bashoratlaydi, bir oyda sexda chiqarilgan yaroqsiz mahsulotlarni stati tahlil qiladi, sex bo'yicha oylik sifat ko'rsatkichlarini tezkor nazorat qilishni amalga oshiradi.

Yuqori sathning rejasi va quyi sathning axborotlari asosida keyingi sathdagi intellektual agentlar (koordinatsiyalovchi va lokal) uchun rejali vazifalar ishlab chiqiladi.

Ikkinchi sathning uchinchi koordinatsiyalovchi agenti KA_{13}^2 kvartal/oyda sex bo'yicha rejali-ogohlantiruvchi ta'mirlashlarning grafigini hisoblash, ishlab chiqarish (sex) bo'yicha ishdan chiqqan jihozlarni almashtirishning optimal muddatlarini hisoblash vazifalarini bajarishga mo'ljallangan.

Shuningdek, keyingi sathdagi intellektual agentlar uchun rejali topshiriqlarni ham shakllantiradi.

ICHBTIT boshqarishi ikkinchi sathining funksional iyerarxiyasi, moddiy-texnik ta'minot, mahsulot sotilishi va boshqa masalalarni ham tezkor boshqarish funksiyalarini bajaradi.

ICHBTIT ning navbatdagi sathi (texnologik jarayonlar va jihozlar sathi) qurilmalarning ishini dinamik rejalashtirish, ishlab chiqarishni dispetcherlashtirish, texnologik tartibga bo'ysunishni tahlil qilish, ta'mirlash ta'minotini boshqarish, energetik ta'minotni boshqarishning intellektual agentlari to'plamidan tashkil topadi.

Bu sathdagi agentlar, oldingi sathdagi agentlardan berilgan topshiriqlar va quyi sathlardan kelayotgan holatlar haqidagi axborotlardan kelib chiqib, iyerarxiyaning quyi sathida turgan agentlar (KA_{rm-1}^l , KA_{rm-1}^k , KA_{rm-1}^q ko'rinishdagi agentlar) uchun ishlash ketma-ketligini shakllantiradi. Bu sathning lokal agentlari (masalan, KA_{rm-1}^{k+l}) texnologik jihozlarni boshqarish, texnologik amallar va avtomatlashtirish jarayonlarini bajarilishi uchun buyruqlarni shakllantiradi.

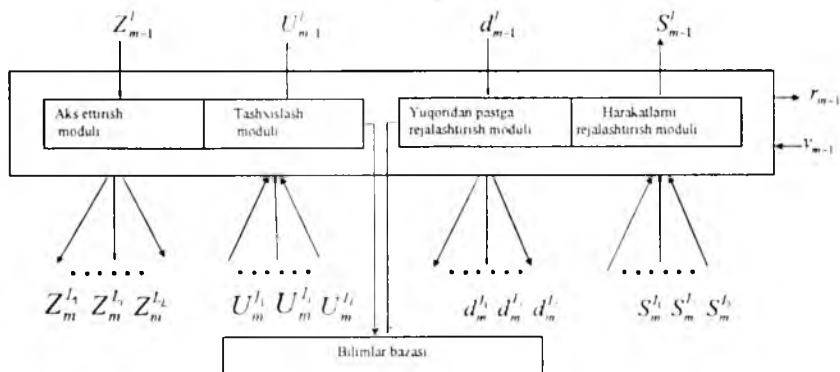
ICHBTIT ning so'nggi vertikal iyerarxik sathi (texnologik jarayonlar va jihozlar sathi) da texnologik jarayonlar, amallar va jihozlarni avtomatlashtirishni bevosita boshqaruvchi lokal intellektual agentlar joylashgan.

Ular ICHBTIT ning turli funksional sathlarida turli vazifalarni bajaradi (masalan, LA_{rm}^v , LA_{rm}^p – texnologik jarayonlarni boshqarish va avtomatlashtirish; LA_{rm}^{p+1} – tovar-xom ashyosi xo'jaligini boshqarish; LA_{rm}^{p+2} – dispetcherlik bo'yicha ishlab chiqarish topshiriqlarini bajaralishini tahlil qilish; LA_{rm}^h – texnologik jarayon holatini tashxislash; LA_{rm}^l – jihozlardagi kamchiliklarni tashxislash).

Ko'rib chiqilayotgan arxitektura yechimining markazi kontroller (dasturiy mahsulot, masalan, ekspertli tizim yoki inson – tirik agent) hisoblanadi. Kontrollerning funksional strukturasi 4.3.2-rasmda tasvirlangan.

ICHBTIT kontrollerlarining o'zagi, muammolarni yechgichlar to'plami bilan birgalikda ishlatiladigan bilimlar bazasi hisoblanadi.

Aks ettirish moduli U_{m-1}^l , S_{m-1}^l , Z_{m-1}^l haqidagi axborotlarni olish, ularga ishlov berish va aks ettirishga mo'ljallangan. Bu yerda: U_{m-1}^l - l -ishlab chiqarish elementining iyerarxiyasini $(m-1)$ -sathida agregatlangan holati; U_m^l - ushbu kontrollarning holati va u ICHBTIT ning m -sathidagi l -kontrollerga uzatiladi, $l = \overline{1, L}$; S_{m-1}^l - kontroller tomonidan qabul qilinadigan yechim va u yuqori sathga uzatiladi; S_m^l , S_m^l - texnologik jarayonlar sathida (m -sathda) ishlarning bajarilish holati; Z_{m-1}^l - yuqori sath (masalan, ishlab chiqarish, sex) kontrolleri holati bo'lib, u l -kontroller bilan bog'langan; Z_m^l , Z_m^l - berilgan kontrollarning holati va u m -sathning L - kontrolleriga uzatiladi.



4.3.2-rasm. Kontrollarning funksional strukturasi.

4.3.2-rasmdagi d_{m-1}^l yuqori sathning rejali va boshqa joriy topshiriqlarni bildiradi va ular ICHBTIT ning $(m-1)$ -sathini l -elementi kontrolleriga beriladi; d_m^l , d_m^l - rejaning (topshiriqning) quyida joylashgan elementlarga (masalan, ishni m -sathdagi J texnologik jarayonlar o'rtasida taqsimlanishi); r_{m-1} - shu sathdagi kontrollerlar uchun talab (so'rov); v_{m-1} - kontrollarning shu sathdagi kontrollerlar koordinatsiyalari uchun kooperatsiyalanadigan holati.

Kontroller, aks ettirish va tashxislash modullari bilan amalga oshiriladigan monitoring funksiyalarini bajaradi. Aks ettirish moduli (bunday modul sifatida kontroller aks ettiruvchi ekspertli tizimni o'ziga birlashtirishi mumkin) ICHBTIT ning yuqori va quyi sathlaridan

U'_{m-1} , S'_{m-1} , Z'_{m-1} haqidagi axborotlarni olgan holda, ularni harakatlarni rejalashtirish hamda axborotlarni siqish, filtrlash va aks ettirish amallari yordamida tashxislash uchun yuqori sath uchun mos ko'rinishga o'zgartiradi.

Tashxislash moduli ishlab chiqarish holatlarini reja ko'rsatkichlari bilan mosligini belgilab beradi, texnologik jihozlarning faoliyatini, mahsulotlar sifatini tekshiradi. Odatda, tashxislash moduli sifatida tashxislovchi ekspertli tizimlar olinadi.

Ko'pincha aks ettirish va tashxislash modullari yagona ekspertli tizim ko'rinishida amalga oshiriladi (masalan, mahsulotlarni tahlil qilishning ekspertli tizimi) [4].

Harakatlarni rejalashtirish moduli korrektlovchi harakatlarni belgilab beradi, rejali yechimlarni qayta hisoblashni amalga oshiradi, agar rejani amalga oshirish imkoni bo'lmasa (masalan, to'xtab qolish yoki texnologik jihozning yetarlicha yuklanmasligi sababli), d'_{m-1} topshiriqni taqsimlash uchun ishlatiladigan agoritmni tanlaydi, jihozlarni buzilishi kutilayotgan holatlarni bartaraf etish uchun ogohlantiruvchi harakatlarni amalga oshiradi, yuqori sath uchun d'_{m-1} buyruqlarni bajarilishi haqidagi S'_{m-1} natijaviy signallarni shakllantiradi. Intellektual tizimlarda bunday modul sifatida ko'pincha rejalashtiruvchi ekspertli tizimlar ishlatiladi.

Yuqoridan pastga rejalashtirish moduli, topshiriq d'_{m-1} ni bajarish uchun subtopshiriqlarni taqsimlashni belgilab olgan holda, masalalarni kichik masalalarga ajratishni amalga oshiradi. Odatda bu modul, foydalanuvchi interfeysini biriktiruvchi dasturiy mahsulot ko'rinishida amalga oshiriladi.

4.3.3-rasmda ICHBTIT ning asosiy moduli hisoblanuvchi koordinatorning strukturasi keltirilgan bo'lib, bir sathdagi. shuningdek quyi sathdagi kontrollerlar o'rtasida mos koordinatsiyalanishga erishish uchun kooperatsiyani ta'minlaydi.

ICHBTIT koordinatoring strukturasi ishlab chiqarish koordinatori misolida ko'rib chiqiladi (ICHBTIT ning ikkinchi sathi, 4.3.1-rasm).

ICHBTIT koordinatori kontrollarning koordinatori sifatida ikki karrali koordinatsiyalash funksiyasini bajaradi: funksional (gorizontal

integratsiyalash uchun) va ishlab chiqarish (vertikal integratsiyalash uchun).

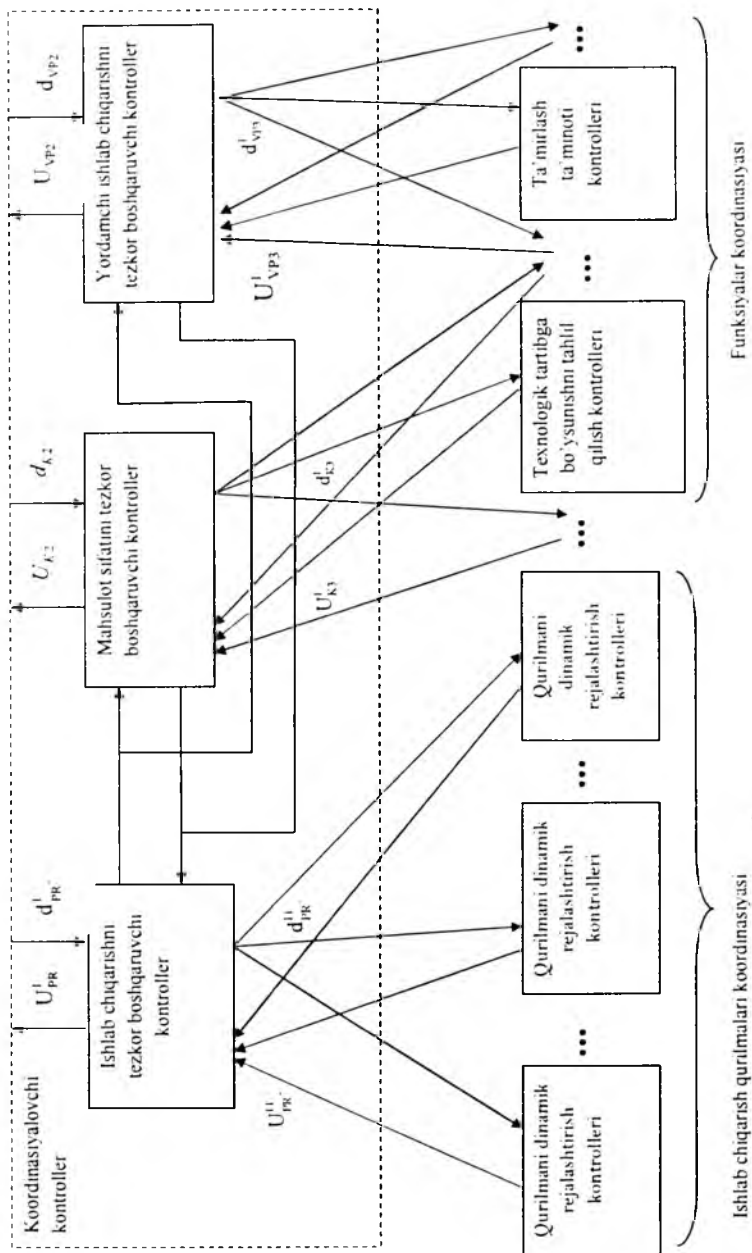
ICHBTIT koordinatori ishlab chiqarish 1 ni tezkor boshqarish, mahsulot sifatini tezkor boshqarish va yordamchi ishlab chiqarishni tezkor boshqarish (ICHBTIT ni ikkinchi sathi) kontrolleri sifatida ko'rib chiqiladi.

Topshiriqlar $d_{\text{Ich } 2}^I$, $d_{\text{Ich } 3}^{I'}$, $d_{\text{Ich } 3}^{II_{\text{Ich } 3}}$, d_{s2} , $d_{s3}^I, \dots, d_{s3}^{Ik}$, $d_{\text{YoICh}2}$, $d_{\text{YoICh}2}^I$, $d_{\text{YoICh}3}^{I'}$ ICHBTIT ning turli (ikkinchi va uchinchi) sathlari kontrollerlari o'rtasida vertikal iyerarxik aloqani o'rnatadi. Asosiy ishlab chiqarishni boshqarish masalalarini yechish uchun kooperatsiyada turib, qurilmalarning kontrollerlari koordinatsiyalovchi kontroller bilan o'zaro ta'sirlashgan holda, mahsulot sifatini tezkor boshqarish va yordamchi ishlab chiqarishni tezkor boshqarishga bo'lgan talab hisoblanuvchi r_2 xulqni. shuningdek ICHBTIT ikkinchi sathidagi kontrollerlarning kooperatsiyasini ta'minlagan holda, r_2 talablarni bajarilishini ta'minlaydi. Koordinatsiyalovchi kontroller kommunikatsiya va qaror qabul qilishni mustaqilligi o'rtasida kompromisni tanlashni boshqaradi.

ICHBTIT ning tashkiliy matritsasidagi rejalashtirgichlar rejalashtirish funksiyalari va mahsulot ishlab chiqarishni tezkor boshqarishni ta'minlaydi. Ular quyida joylashgan kontrollerlarning parametrlarini optimallashtiradi. Rejalashtirgichning rostlanuvchi parametri "rejalashtirish oynasi" (rejalashtirishning juda kichik tezkor davrlari) hisoblanadi. Rejalashtirgich ICHBTIT dagi global rejalashtirish va dinamik (tezkor) rejalashtirish sathlarini integratsiyalashuvini ta'minlaydi. Rejalashtirish davrlari yirik bo'lganda, sathlarning maqsadlari, rejalashtirish davrlari kichik bo'lgan sathlar masalalari bilan optimal muvofiqlashtiriladi.

ICHBTIT o'zida mos intellektual agentlarning koordinatorlari (koordinatsiyalovchi kontrollerlar), rejalashtirgichlar, avtonom intellektual kontrollerlari tarmog'ini aks ettiradi.

Rejalashtirish sathi (birinchi sath) dan boshlab, texnologik jarayonlarni bevosita boshqarish va avtomatlashtirish sathi (so'nggi sath) gacha agentlar, ularning harakatlanish sohasi kichik, vaqt gorizonti qisqa (real vaqtgacha), to'g'rilash chastotasi yuqori bo'lishi bilan tavsiflanadi.



4.3.3-rasm. Koordinatning funksional strukturasi.

Shunday qilib, korxona darajasida korxona bo'yicha dastur shakllantiriladi va ishlab chiqarish hamda rejali davr bo'yicha taqsimlanadi. Natijada ishlab chiqarishlar, sexlar uchun rejalar shakllantiriladi va ular quyidagilarni belgilab beradi: nima (mahsulotlar yoki yarim mahsulotlar turi), qancha (mahsulotlar va yarim mahsulotlar ishlab chiqarish hajmi), qachon (qaysi kvartalda) va qaysi ishlab chiqarishda (ishlab chiqarish, sex, qurilmalar turi) chiqarilishi kerak.

Mahsulot ishlab chiqarishning bashoratidan kelib chiqqan holda zaruriy tashqi va ichki manbalar aniqlanadi. Ishlab chiqarishlar (sexlar) sathida ishlab chiqarish rejaları yanada tezkorroq rejali davrlar (odatda oylar) va qurilmalar bo'ylab taqsimlanadi. Natijada, nimani, qancha, qachon, qanday qurilmada ishlab chiqarish kerakligini belgilab beruvchi, qurilmaga bo'lgan rejali topshiriq shakllantiriladi.

Asosiy ishlab chiqarishning yordamchi ishlab chiqarishlar va mahsulot sifatini boshqarish bo'limlari bilan ishlashini koordinatsiyalash ta'minlanadi.

Qurilmalar sathida nimani, qancha, qachon ishlab chiqarish kerakligini belgilab beruvchi texnologik jarayonlar, hududlarning tezkor ish rejaları shakllantiriladi. Texnologik jarayonlar, jihozlar, tovar-xom ashyo xo'jaligi va boshqa ta'minlovchi hududlar ishini tezkor koordinatsiyalash va dispatcherlashtirish ta'minlanadi.

Texnologik jarayonlar va jihozlar sathida yuqori sathdan tushirilgan tezkor topshiriqlar bajariladi va ishlab chiqarish holati, mahsulot sifati va shu kabilar haqidagi teskari aloqa sifatidagi zaruriy axborotlar shakllantiriladi.

4.4. Multiagentli taqsimlangan tizimlardagi bayonnomalar

ICHBTIT ning ko'rib chiqilayotgan strukturasini amalga oshirish quyidagilarni talab etadi:

- agentlar o'rtasida o'zaro aloqalarni (ya'ni bilimlarni aks ettirishning turli shakllari ega bo'lgan bazalar o'rtasida bilimlar almashinuvi jarayonlarini amalga oshirish) ta'minlash;

- agentlarning ish rejimlarini muvofiqlashtirish (ya'ni bilimlar oqimini boshqarish va aniq agentga murojaat qilish ustuvorligini o'rnatish);

- agentlar tarmog'idagi bilimlarning bir-birini inkor etishini bartaraf etish;

- agentlar tarmog'ining har bir komponentiga zaruriy hisoblash manbalarini etkazish.

Asosiy qiyinchilik turli agentlar o'rtasida o'zaro aloqalarni o'rnatishda yuzaga keladi. Masalani, agentlar o'rtasida tayyor yechimlarni yoki bilimlar bazasining qismlarini almashinish orqali hal etish mumkin.

Ko'rib chiqilayotgan masalani yechish uchun eng samarali usul, axborotlarni aks ettirishning yagona bo'g'inlararo tili asosidagi tayyor yechimlarni almashinish hisoblanadi. 4.4.1-rasmda so'rovlarga ishlov berish sxemasi keltirilgan. Agentlar o'rtasida aloqani qo'llab-quvvatlash uchun quyidagi bloklarni ishlab chiqish talab etiladi: shakllantirgich (SH), adapter (A), jarayonlarning lokal kutubxonasi (JLK) va obyektlar lug'ati.

Shakllantirgich axborotlarni ichki aks ettirish shakllaridan bo'g'inlararo tildagi shakllarga o'zgartirishga mo'ljallangan.

Adapter shakllantirgich oldiga qo'yilgan teskari funksiyalarni bajarishga mo'ljallangan.

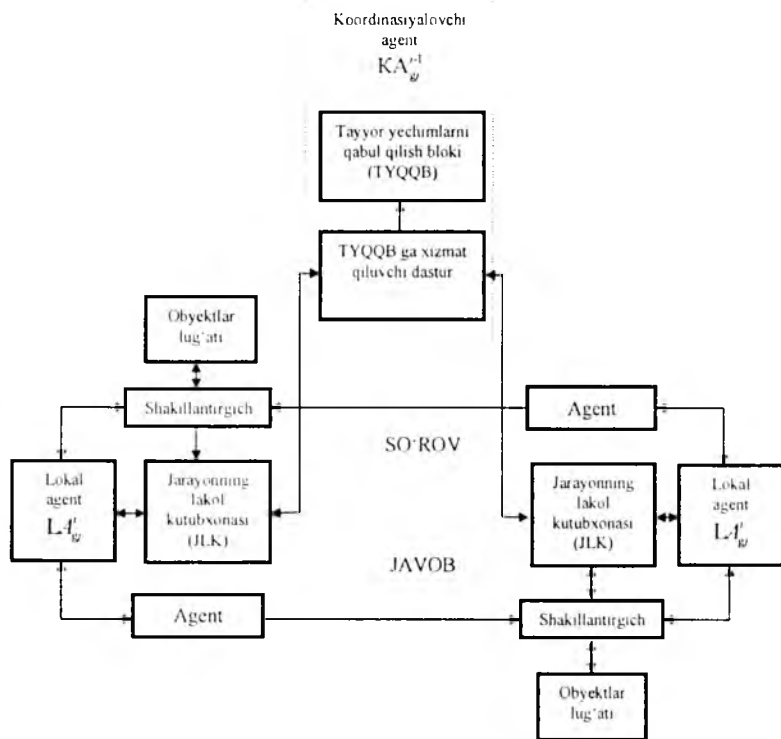
Jarayonlarning lokal kutubxonasi (JLK) ushbu sathdagi tarmoqning boshqa bo'g'inlari bilimlari haqidagi metabilimdan tashkil topadi.

Obyektlar lug'ati obyektlarning munosabatlari bo'g'iniga u aloqa bog'lab turgan tarmoq bo'g'inlarining bilimlar bazasini yetkazadi.

Kamchilikni aniqlagan lokal intellektual agent o'zidagi bilimga tayanib, tarmoqning boshqa agentiga bo'lgan so'rovni shakllantiradi. So'rov quyidagicha shakllantiriladi: agent o'zining JLK ga murojaat qiladi, bunda masalani yechish uchun zarur bo'lgan ro'yxat va bilim yordamidan foydalanadi.

Bundan so'ng agent boshqaruvni shakllantirgich blokiga beradi va obyektlar ro'yxati va boshqa agentning ma'lumotlar bazasiga murojaat maqsadini umumlashtirib, bo'g'inlararo til talablariga ko'ra so'rovni shakllantiradi va boshqarishni tarmoqli dasturiy ta'minot

(TDT) ga beradi. TDT yordamida shakllantirilgan va o'zgartirilgan so'rov ma'lumotlarni uzatish tarmog'i bo'yicha agent-qabul qiluvchiga uzatiladi.



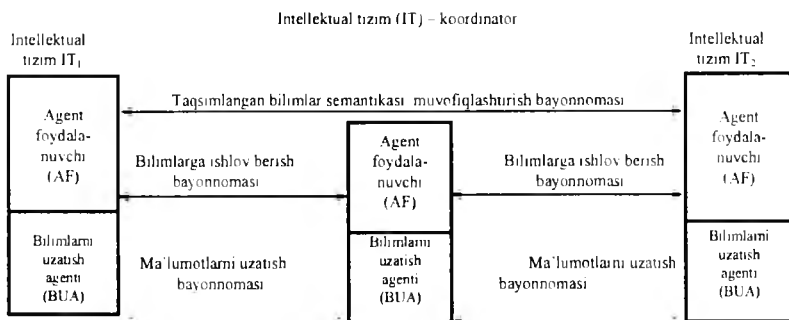
4.4.1-rasm. So'rovlarga ishlov berish sxemasi.

So'rov bo'g'in (agent-qabul qiluvchi) ga uzatilganidan so'ng, ushbu bo'g'inning adapteri yordamida olingan so'rovni teskari o'zgartirish amalga oshiriladi. So'rov "obyektlar ro'yxati, maqsad" ko'rinishida agentga beriladi. Mantiqiy xulosa chiqargan holda, agent-qabul qiluvchi yechimni o'zining shakllantirgich blokiga uzatadi va taklif etilayotgan yechimni mos ravishda bo'g'imaro til shakliga o'zgartiradi va uni o'zining mantiqiy xulosasini chiqaruvchi agent-jonativchi adapteriga yuboradi.

Boshqarishning taqsimlangan intellektual tizimining funksional strukturasi kiruvchi barcha bo'g'inlar yuqorida tavsiflangan mexanizm asosida o'zaro harakatlanadi.

Shu bilan birgalikda har bir agent o'zining funksional vazifasiga ega va axborot almashinuvining biror strategiyasini amalga oshiradi. Bunday strategiya uzatuvchi bo'g'inga qo'llanilganda bo'g'in axborotni boshqa bo'g'inlarga uzatadi va qanday turdagi axborotlar mos keluvchi qabul qilgichlarga uzatilishini belgilab beradi. Qabul qiluvchiga qo'llaniladigan strategiya esa axborot qabul qilish, qabul qilinayotgan axborot turi, mos bo'g'in-manbalar va qabul qilinayotgan axborotni lokal baholash usullariga shart qo'yadi.

O'zaro ishlovchi bo'g'inlarning bayonnomalari. 4.4.2-rasmda keltirilgan, taqsimlangan bilimlarni uzatish va ularga ishlov berish bayonnomasi ochiq tizimlarning tarmoqli o'zaro ta'sirlari sathini amalga oshiruvchi umumiy servisdan foydalanadi va bayonnomadan foydalanuvchilar o'rtasida bilimlarning shaffof uzatilishi va ularga ishlov berishni ta'minlaydi.



4.4.2-rasm. Bilimlarni uzatish va ularga ishlov berish bayonnomalari.

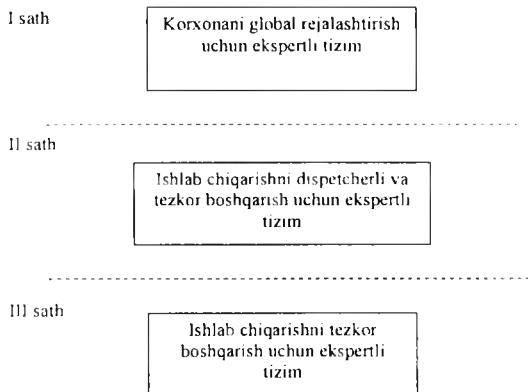
Bilimlarni uzatish va ularga ishlov berish bayonnomasi quyidagilardan tashkil topadi:

- uzatilayotgan bilimlar semantikasini aniqlash va muvofiqlashtirish bayonnomasi (bu bayonnomalar intellektual tizimlarga o'zaro ta'sir qoidalarini va tartibini aniqlash imkonini beradi);
- taqsimlangan bilimlarni uzatish bo'yicha bayonnomalar (bu bayonnomalar yordamida, bilimlarni uzatish va ularga ishlov berish

modeliga muvofiq, qabul qiluvchiga bilimlarni uzatish, qayta qabul qilish va jo'natish qoidalari va tartibi amalga oshiriladi; bu bayonnomaga asosan bilimlarni uzatish agentlari (BUA) ning o'zaro harakati amalga oshiriladi);

- taqsimlangan bilimlarga ishlov berish bo'yicha bayonnoma (ushbu bayonnoma turli vaziyatlarda agent-foydalanuvchilar (AF) ning o'zaro harakatlanish qoidalarini belgilab beradi).

4.4.3-rasmda gazlarni qazib chiqarish, to'plash va ularni uzatishga tayyorlash jarayonlari uchun uzluksiz ishlab chiqarishni boshqarishning taqsimlangan tizimlari texnik ta'minotini qurishning mumkin bo'lgan variantlaridan biri keltirilgan.



4.4.3-rasm. Taqsimlangan boshqarish tizimining texnik ta'minoti strukturasini.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, lokal hisoblash tarmog'i (LHT) ning strukturasini ko'rib chiqilayotgan varianti uch sathdan tashkil topgan intertarmoq hisoblanadi. Uning tarkibiga, qo'yilgan masalalarni yechishga mo'ljallangan texnik va dasturiy vositalarni bog'lovchi LHT kiradi. Ba'zi agentlar sifatida ekspertli tizimlar o'rta qatlamga chiqadi.

Birinchi sathda rejalashtirishning ekspertli tizimlari yordamida ishlab chiqarishni tezkor va kalendarli rejalashtirish masalalari yechiladi, shuningdek korxonani tezkor-dispetcherlik boshqaruvi amalga oshiriladi. Uning tarkibiga server fayli, ishchi stansiyasi, ishlab

chiqarishning texnologik obyektlari holatini aks ettiruvchi kommunikatsion jihozlar va mnemosxemalar kiradi.

Ikkinchi sath o'zida tezkor va kalendarli rejalashtirish, tezkor-dispatcherli boshqarish masalalarini yechishga mo'ljallangan ishchi stansiyalar, serverlar va mnemosxemalarni (texnologik obyektlarning holatini aks ettirish uchun) birlashtiradi va tezkor va dispatcherli boshqarishning ekspertli tizimlari yordamida korxona darajasidagi boshqa masalalarni hal etadi.

Uchinchi sath ekspertli boshqarish tizimlari yordamida sanoat ishlab chiqarishining texnologik jarayonlarini bevosita boshqarishni amalga oshiruvchi serverlar, ishchi stansiyalar, kontrollerlar va kommunikatsiya jihozlarini o'zida mujassamlashtiradi.

4-bob bo'yicha nazorat savollari

1. Boshqarishning taqsimlangan intellektual tizimlarini qurishning konseptual asoslarini bayon qiling.

2. Intellektual agentlarni qurishning asosiy tamoyillarini ifodalang.

3. Intellektual agentlarning qanday tasniflari mavjud?

4. Multiagentli tizimlar qanday qismlardan tashkil topgan?

5. Ishlab chiqarishni boshqarishning taqsimlangan intellektual tizimlari (ICHBTIT) ni qurishning asosiy tamoyillari qanday?

6. ICHBTIT ning arxitekturasini tasvirlang.

7. Intellektual agentlarning o'zaro harakatlari qanday amalga oshiriladi?

8. ICHBTIT ning texnik ta'minoti qanday?

9. Sun'iy taqsimlangan intellektning g'oyasi nimadan iborat?

10. Ma'lumotlar bazasi va bilimlar bazasidagi taqsimlangan tarmoqlarda dasturiy-axborot interfeysi qanday tashkil etiladi?

11. Axborot va hisoblash manbalari hamda fikrlash mexanizmlarining global va lokal bilimlaridan ratsional foydalanish qanday amalga oshiriladi?

12. ICHBTITning global maqsadlariga erishishda muvofiq koordinatsiya qanday amalga oshiriladi?

13. Murakkab texnik tizimlarning funksional va iyerarxik dekompozitsiyasi qanday amalga oshiriladi?

14. Koordinatorlar, rejalashtirigichlar va kontrollerlar yordamida qaror qabul qilishning eng samarali jarayonlarini bayon qiling.

4-bobga doir adabiyotlar

1. <http://parallels.nsu/nefomenko/db/111.pdf>
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/D1%82>.
3. Aminzadeh P., Jamshidi M.(Eds.) Soft Computing: Fuzzy logic, Neural Networks and Distributed Artificial Intelligence. Simon & Education Grou, USA. 1994. - p.301.
4. Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Теория интеллектуальных систем и ее применение. – Баку: Чашыюглы, 2001. - 720 с.
5. Aliev R.A., Fazlollahi B., Vahidov R.M. Multi-agent distributed intelligent systems based on fuzzy decision-making. International Journal of Intelligent Systems. 2000. vol.15. –p. 849-858.
6. Aliev R.A. Aliev R.R. Soft Computing and Its Application. (World Scientific, New Jersey, London, Singapore, Hong Kong), 2001.
7. Aliev R.A., Aliev R.R Fuzzy Distributed Intelligence System for Continuous Production. Application of Fuzzy Logic. Towards High Machine Intelligent Quotients Systems. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey 07451, USA.
8. Aliev R.A., Bonfig H., Aliev F.T., Aliev R.R. The distributed intelligent manufacturing systems. First European Congress on Fuzzy and Intelligent Technologies, EUFIT, Aachen. Part II. -Germany, 1993. - p.229-235.
9. Kamel M., Ghenniwa H. Coordination of disqibutect intelligent systems. University of Waterloo. -Waterloo, Canada. In Soft Computing, F.Aminzadeh and M.Jamshidi (Ed.), PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs. -New Jersey, 1994.
10. Cromarty A.S. Control of processes by communication over ports as a paradigm for distributed knowledge - based system design. In Expert Database System. L.Kershberg (Ed.), Menlo Park. CA: Benjamin - Commings, 1987. pp.91-103.
11. Kusiak A.(Ed.) Artificial intelligence Implication for CIM. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris- Tokio, 1988. - p.527.
12. Zadeh L.A. Fuzzy Logic. IEEE Computer. April 1988. - pp.83-93.
13. Alan H. Bond, Les Gasser. A subject-indexed bibliography of distributed artificial intelligence (DAI). IEEE Transactions on Systems. Man and Cybernetics. vol.22. No.6. November/December, 1992. - pp.1260-1281.

14. Nakamiti G., Freitas R., Predo J., Gomide F. Fuzzy Distributed Artificial Intelligence Systems. IEEE, 1994, - pp.462-467.
15. Durfee E.H. Coordination of Distributed Problem Solvers. University of Massachusetts. –Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988.
16. Kusiak A. Artificial Intelligence in Industry: Artificial Intelligence: Implications for CIM. Springer – Verlag. 1988. - p. 544.
17. Aliev RA., Aliev R.R., Babuska R.T. All Applications of Fuzzy Logic. M.Jamshidi, L.Zadeh (Eds.), Prentice-Hall, Inc. –USA(New Jersey), 1997.
18. Molesini A., Omicini A., Viroli M. Environment in agent-oriented software engineering methodologies / Multiagent and Grid Systems. – 2009. Vol. 5. N.1. – p. 37-57.
19. N. Kasabov, Introduction: Hybrid intelligent adaptive systems. International Journal of Intelligent Systems. Vol.6. (1998). – pp. 453–454.
20. Haag Stephen. Management Information Systems for the Information Age. 2006. -pp.224–228.
21. Y.Shoham, K. Leyton-Brown. Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. – London: Cambridge University Press, 2009.
22. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 432 с.
23. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. -Вильямс, 2007. – 1408 с.
24. Венда В.Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации. - М.: Машиностроение, 1982. - 400 с.
25. Букатова И.Л., Макрусов В.В. Когнитивные процессы эволюционирующих систем. -М.: ИПЭ РАН, 1994. Препринт №10 (598). – 31 - с.
26. Швецов А.Н. Метатехнология агентно-ориентированного проектирования информационных систем / Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования // Материалы IV международной научно-техн. конф. Т.1. –Вологда: ВоГТУ, 2008. – С. 7-9.
27. Фаулер М. Архитектура корпоративных программных приложений. – М.: Диалектика, 2004. -544 с.
28. Агентская платформа для повсеместных вычислений / Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В. [и др.] // Информационные технологии и вычислительные системы. 2008. № 4. -С. 51-69.
29. Городецкий В.И., Серебряков С.В., Троцкий Д.В. Средства спецификации и инструментальной поддержки командного поведения автономных агентов // Изв. ЮФУ, 2011. -№ 3. - С. 23-41.

30. Детмер У. Теория ограничений Голдратта. Системный подход к непрерывному совершенствованию. [пер. У. Саламатовой]. -М.: Альбина Паблишер, 2010. - 448 с.
31. Шрангенхайм Э. Управленческие дилеммы. Теория ограничений в действии [пер. У. Саламатовой]. -М.: Альбина Паблишер, 2007. - 296 с.
32. Иващенко А.В. Управление согласованным взаимодействием пользователей интегрированной информационной среды предприятия. -Самара: СНЦРАН, 2011. - 100 с.

NOANIQ AXBOROTLAR SHAROITIDA QARORLAR QABUL QILISH**5.1. Qaror qabul qilish masalalarining umumiy qo'yilishi**

Qaror qabul qilish jarayonlari insonning maqsadli yo'naltirilgan ixtiyoriy faoliyati asosida yotadi. Iqtisodiyotda ular ishlab chiqarish va xo'jalik tashkilotlarini yaratishga asos bo'ladi va ularning optimal faoliyat yuritish va o'zaro ta'sirlashuvini ta'minlaydi. Ilmiy tadqiqotlarda ular muhim muammolarni ajratish, ularni o'rganish usullarini topish imkonini beradi, tajribaviy asos va nazariy apparat rivojini belgilab beradi. Qaror qabul qilish jarayonlarining yangi texnikasini yaratishda mashinalar, qurilmalar, majmualar, binolarni loyihalashda, ularni ishlab chiqarish va ishlatish texnologiyalarini ishlab chiqishda muhim bosqich hisoblanadi; ijtimoiy sohada – ijtimoiy jarayonlar faoliyati va rivojini tashkil etish uchun, ularning xo'jalik va iqtisodiy hodisalar bilan koordinatsiyalashuvini tashkil etishda ishlatiladi. Optimal qarorlarni qabul qilish minimal mehnat xarajatlari, moddiy va xom ashyo manbalari sarfi bilan maqsadlarga erishish imkonini beradi.

Matematikada optimal yechimlarni qidirish usullari klassik matematikaning funksiyalarning ekstremumlarini o'rganish bilan bog'liq bo'lgan matematik dasturlash bo'limlarida ko'rib chiqiladi.

Matematik dasturlash – amaliy tashkiliy masalalarni yechish uchun qo'llaniladigan amaliy yo'nalish. Matematik dasturlash masalalari inson faoliyatining harakatlarining mavjud dasturlaridan birini tanlash zarur bo'lgan turli sohalarida qo'llaniladi.

Jamiyatda yuzaga keladigan masalalarning ko'pchiligi boshqarish hodisasi bilan bog'liq [1,2].

Qaror qabul qilish deganda quyidagi bosqichlarga ajratish mumkin bo'lgan jarayon tushuniladi:

Birinchi bosqich. Ko'rilayotgan muammolarning sifatli modellarini qurish, ya'ni eng muhim bo'lgan omillarni ajratish va ular bo'ysunadigan qonuniyatlarni o'rnatish.

Ikkinchi bosqich. Ko'rilayotgan muammolarning matematik modellarini qurish. Matematik model hodisa va boshqarish parametrlari – o'zgaruvchilar to'plamlari o'rtasidagi nisbatlarni

oʻrnatadi. Bu bosqich shuningdek maqsad funksiyalari – sonli tavsiflarni qurishni ham oʻz ichiga oladi. Sonli tavsiflarning qiymati, qabul qiluvchi nuqtai-nazaridan qaralganda, eng yaxshi vaziyatga toʻgʻri keladi.

Uchinchi bosqich. Oʻzgaruvchilarning maqsad funksiyasi qiymatlariga taʼsirini tadqiq qilish.

Boshqarish masalalarining keng sinfi ekstremal masalalardan iborat boʻlib, ulardagi matematik modellarda oʻzgaruvchilarga boʻlgan shartlar tenglik va tengsizliklar bilan beriladi. Bu masalalarni yechish nazariyasi va usullari ham matematik dasturlashni oʻz ichiga oladi.

Toʻrtinchi bosqich. Hisoblash natijalarini modellashtirilayotgan obyekt bilan solishtirish, yaʼni boshlangʻich axborotlar aniqligi chegarasida modellar va modellashtirilayotgan obyektlarning monandligi darajasi oʻrnatiladi. Bunda quyidagi holatlar boʻlishi mumkin:

– agar solishtirish natijalari qanoatlantirilmasa, unda ikkinchi siklga oʻtiladi: obyekt haqidagi kirish axboroti aniqlashtiriladi va (zarur boʻlganda) masalaning qoʻyilishi aniqlashtiriladi (birinchi bosqich), matematik model yangidan aniqlashtiriladi yoki tuziladi (ikkinchi bosqich), mos matematik masala yechiladi (uchinchi bosqich) va nihoyat yana solishtirish oʻtkaziladi (toʻrtinchi bosqich);

– agar solishtirish natijalari qoniqarli boʻlsa, unda model qabul qilinadi.

Matematik dasturlashning ikki yoʻnalishini farqlash mumkin:

– *xususiy matematik dasturlash*, bunga boshlangʻich axborotlar toʻla aniq deb taxmin qilinadigan determinantlangan masalalar kiradi;

– *stoxastik dasturlash*, boshlangʻich axborotlar noaniqlik elementlariga ega boʻlgan yoki masalaning baʼzi parametrlari maʼlum ehtimollik tavsiflariga ega boʻlgan tasodifiy xarakterli masalalar kiradi.

Matematik dasturlashni quyidagi asosiy boʻlimlarga ajratish mumkin.

Chiziqli dasturlash – bunda maqsad funksiyasi maʼlum, maqsad funksiyasining ekstremumi qidirilayotgan toʻplam esa chiziqli tenglik va tengsizliklar bilan beriladi. Oʻz navbatida, chiziqli dasturlashda maʼlum masalalar sinflari mavjud boʻlib, ularning strukturalari umumiy xarakterdagi masalalarni yechish usullaridan farq qiluvchi, yechishning maxsus usullarini yaratish imkonini beradi (masalan, chiziqli dasturlashda transportli masalalar boʻlimi mavjud)

Nochiziqli dasturlash – maqsad funksiyasi va chegaralanishlar nochiziqli. Nochiziqli dasturlashni quyidagicha bo'lish qabul qilingan. *Qavariq dasturlash* – maqsad funksiyasi qavariq (agar uni minimallashtirish masalasi ko'rilayotgan bo'lsa) va ekstremal masala yechilayotgan to'plam qavariq. *Kvadrati dasturlash* – maqsad funksiyasi kvadrati, chegaralanishlar esa chiziqli tenglik va tengsizlik hisoblanadi. *Ko'p ekstremalli masalalar*. Ko'pincha ilovalarda uchraydigan masalalarning ixtisoslashgan sinflari ko'rib chiqiladi (masalan, botiq funksiyalarni qavariq to'plamlarda minimallashtirish haqidagi masalalar).

Matematik dasturlashning muhim bo'limi, o'zgaruvchilarga butun sonli bo'lish sharti qo'yiladigan *butun sonli dasturlash* hisoblanadi.

Matematik dasturlashning maqsadi masalalarni yechishning analitik usullarini yaratish (mumkin bo'lsa), bundaylari bo'lmaganda esa taqribiy yechimlarni olishning samarali hisoblash usullarini yaratish hisoblanadi.

5.2. Qaror qabul qilish usullari

5.2.1. Qaror qabul qilishning klassik usullari talqini

To'g'ri qaror qabul qilish uchun aniqlanmaganlik sharoitida turli omillarning ta'sirlarini e'tiborga olish lozim. Qaror qabul qilish fikrlashning qat'iy tili sifatida matematik modellarga tayanishi kerak. Bu qaror qabul qilish masalasining tarkibiy ifodalanishini talab etadi. Mavjud axborotlardan kelib chiqqan holda qaror qabul qilishning turli tipik masalalaridan foydalaniladi. Bu sinfdagi barcha masalalar asosiy elementlari bilan aks etirilgan umumiy kelib chiqishga ega [3,4].

Birinchi element, ichidan eng yaxshisi tanlanishi lozim bo'lgan muqobilar to'plami A hisoblanadi:

$$A = \{f_1, \dots, f_n\}, n \geq 2,$$

bu yerda $n \geq 2$ – agar minimum ikkita muqobil mavjud bo'lsa, qabul qilingan yechim (qaror) o'z mohiyatiga ega ekanligini bildiradi.

Masalaning keyingi elementi *tizimning holatlar to'plami*: $S = \{s_1, \dots, s_m\}$ deb ataladi va muqobil harakatlarning natijalari bog'liq bo'lgan obyektiv modellashtirishda ishlatiladi. Tizim tabiatining holati s_i – bu mumkin bo'lgan obyektiv shartlardan biri. L.Sevij tomonidan

taklif etilgan ifodaga ko'ra, S deganda "birgalikda bo'lmagan holatlarning to'la fazosi" tushuniladi [5]. Bu, S o'zida mumkin bo'lgan barcha obyektiv shartlarni namoyon etadi va ulardan faqatgina bir $s_i, i=1, \dots, m$ o'rinli bo'lishini bildiradi. Bundan, shart s_i bir-birini inkor etuvchi ekanligi kelib chiqadi. Muammo shundaki, shartlarning qaysi biri o'rinli ekanligi noma'lum. Masalan, biznesni rivojlantirish masalasida obyektlarning holatlar to'plamini $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$ kabi aks ettirish mumkin, bu yerda s_1 "yuqori talab va kuchsiz raqobat"ni, s_2 - "yuqori talab va o'rtacha raqobat"ni, s_3 - "o'rtacha talab va kuchsiz raqobat"ni, s_4 - "o'rtacha talab va yuqori raqobat"ni bildiradi.

To'plam S shuningdek, cheksiz ham bo'lishi mumkin.

Uchinchi element – bu tizimning turli holatlardagi harakatlari natijalari bo'lib, *natija yoki oqibat* deb ataladi. Ixtiyoriy harakat biror bir natijaga olib boradi. Muqobillarning natijalari ixtiyoriy turda – miqdoriy yoki sifatli bo'lishi mumkin. Natijalar to'plami odatda X orqali belgilanadi. $x \in X$ bo'lganligi sababli, bu natija tizim s ning holatida biror f harakatga olib kelsa, unda $u x = f(s)$ kabi belgilanadi. Boshqacha aytganda, harakat f xuddi funksiya kabi belgilanadi $f: S \rightarrow X$, bunda uning aniqlanish sohasi holatlar to'plami S , qiymatlar sohasi esa natijalar to'plami X hisoblanadi.

$f \in A$ harakatlarni miqdoriy solishtirish uchun ularning natijalari $x \in X$ ni ham miqdoriy o'lchash zarur (ayniqsa, keyingisi sifat tavsifiga ega bo'lsa). Buning uchun, qaror qabul qiluvchi shaxs (QQQSh) tomonidan uning foydalilik nuqtai nazaridan natijalar $x \in X$ ni miqdoriy o'lchashda qo'llaniladigan haqiqiy funksiya $u: X \rightarrow R$ ishlatiladi.

Nihoyat, qaror qabul qilishning to'rtinchi elementi – bu QQQSh ning u yoki bu holatni tanlashi. Muqobillar to'plami A mavjud bo'lganda, QQQSh muqobil $f \in A$ ni muqobil $g \in A$ dan afzal ko'radi va bu $f \succ g$ kabi belgilanadi. QQQSh uchun f va g ning bir xil ahamiyatligi $f \approx g$ kabi belgilanadi. Agar f minimum g dan yomon bo'lmasa, $f \diamond g$ kabi belgilanadi. Shunday qilib, u yoki bu holatni tanlash binar (ikkilik) munosabat bilan tavsiflanadi.

Masalani umumiy qo'yilishida qaror qabul qilish, uning yuqorida ko'rib o'tilgan to'rt elementi orqali quyidagicha ifodalanadi.

Muqobillar to'plami A , tizim tabiati holatlari to'plami S , natijalar to'plami X mavjud bo'lgan sharoitda barcha $f \in A$ uchun $f \cdot f$ ni

qanoatlantiruvchi harakat $f' \in A$ ni aniqlash lozim.

Ba'zi hollarda qaror qabul qilish masalasi tabiat holatlari to'plamlarisiz ifodalanadi. Bunday berilishlarda muqobillar, uning mos ehtimolliklari bilan berilgan natijalar to'plami kabi tavsiflanadi va *lotereya* deb ataladi: $f = (x_1, p_1; \dots; x_n, p_n)$.

Asosiy e'tiborni QQQSh ning nimani afzal bilish xossalari haqidagi asoslangan taxminlariga qaratish lozim, bu qaror qabul qilishga to'g'ridan-to'g'ri bog'langan va *relevant axborot* deb nomlanuvchi ma'lumotlar turiga bog'liq. Quyida tipik holatlarni ko'rib chiqamiz.

Tizimning kelgusi holatlari ma'lum bo'lgan ideal holatda *aniqlangan sharoitda qaror qabul qilish* o'rindir. Tizimning har bir holatini yuz berishini haqiqiy ehtimoli aniq bo'lgan holda *xavf sharoitida qaror qabul qilish* bilan ish ko'riladi. Tizim holatlarining obyektiv ehtimollarini baholashda qiyinchiliklar bo'lgan holda esa *axborot to'liq bo'lmagan sharoitda qaror qabul qilish* o'rindir. Obyektning ehtimoliy holatlari haqida hech qanday axborot bo'lmaganda, *to'la noaniqlik sharoitlarida qaror qabul qilish* bilan ish ko'riladi. Ko'rib o'tilgan tipik holatlar real hayotda qaror qabul qilish bilan qat'iy tavsifga ega ekanligini eslatib o'tish joiz.

Biroq qaror qabul qilish bilan bog'liq real vaziyat juda murakkab, xilma-xil va bir qiymatli bo'lmagan jarayondir. Reallikda qaror (yechim), qaror qabul qilish masalasining barcha elementlari haqidagi nomukammal axborotlarga tayanib qabul qilinadi. Professor L.Zoda tasdiqlaganidek, nomukammal axborot – bu bir yoki bir necha jihatdan noaniq, aniqlanmagan, ishonchsiz, mujmal yoki qisman ishonchli axborot. Sodaroq bo'lishi uchun nomukammal axborot yuqorida ko'rib o'tilgan to'rt tipik holatdan birida yuzaga kelishi mumkin deb qarash mumkin.

Boshqa tomondan esa, qaror qabul qiluvchi shaxsning nimani afzal bilishi psixologik, kognitiv va boshqa omillar bilan belgilanadi.

Qaror qabul qilish masalasining yechimi relativ axborotga ham nimani afzal bilishning strukturasiga ham bog'liq. U QQQSh ning nuqtai-nazaridan qaralganda, eng yaxshi harakatni aniqlashdan iborat. Biroq, binar munosabatli afzal ko'rish bilan bevosita tahlil qilib, eng yaxshi harakatni aniqlash qiyin. Shuning uchun ham afzal bilishni kvantifikatsiyalash (miqdoriy tahlil) ishlatiladi.

Miqdoriy ifodalashga bo'lgan yondashuvlardan biri *foydalilik funksiyasidan* foydalanish hisoblanadi. Foydalilik funksiyasi – bu agar faqat va faqat $f \succeq g$ bo'lsagina, barcha $f, g \in A$ lar uchun $U(f) \geq U(g)$ shartni qanoatlantiruvchi funksiya $U: A \rightarrow R$. Umuman, ixtiyoriy foydalilik funksiyasi – bu $U(f) = \int u(f(s))ds$ integrallashning natijasi.

Foydalilik modellari $\int_{\mathcal{X}}$ integrallanish turiga ko'ra farqlanadi.

Qaror qabul qilishning asosiy kategoriyalariga murojaat qilamiz. Ularning ba'zilari juda sodda, chunki ular mos axborotlar va afzalliklar haqidagi ideal farazlarga asoslangan. Ko'proq reallikka asoslangan modellar murakkabligi bilan ajralib turadi. Foydalilik funksiyasi – bu muqobillar to'plamidan aniqlangan, individ afzalligi [6-11]. Rasman foydalilik funksiyasi $U(\cdot)$ – bu shunday haqiqiy funksiya-ki, agar va faqat agar f afzal yoki g ga nisbatan ekvivalent bo'lsa, ixtiyoriy ikkita muqobil f va g uchun $U(f) \geq U(g)$ tengsizlik bajariladi.

Xavf sharoitida qaror qabul qilish uchun foydalilik paradigmasining birinchi aksiomatik asosi fon Neyman va Morgenshternning kutilgan foydalilik (KF) nazariyasi hisoblanadi [10]. Bu modellarda aniq foydali va natijasi ehtimolli sharoitlarda chekli sondagi natijalar (muqobil) ga ega lotereyalar solishtiriladi.

Faraz qilamiz, X – bu ba'zi natijalar to'plami. Kutilgan foydalilik nazariyasida lotereyalar to'plami – bu X bo'yicha ehtimolliklarni taqsimlanish to'plami [12]:

$$L = \left\{ P: X \rightarrow [0,1] \mid \sum_{x \in X} P(x) = 1 \right\}.$$

Ehtimollikning har bir taqsimlanishi o'zida mumkin bo'lgan natijalarning obyektiv ehtimoligini namoyon etadi. KF modeli o'zining birinchi qo'yilishida, tabiatning holatlar to'plamini o'z ichiga oluvchi qaror qabul qilish masalalarining umumiy strukturasi ga asoslanmadi. Biroq, agar harakat f ni xuddi quyidagi lotereya kabi qaralsa, u berilgan strukturada osongina qo'llanilishi mumkin:

$$f = \left\{ P: f(S) \rightarrow [0,1] \mid \sum_{s \in S} P(f(s)) = 1 \right\},$$

chunki $f(S) \subset X$.

Har bir lotereyadagi natijaning o'zi ham L lotereyadan biri hisoblanganda, yanada murakkabroq holatlarni ko'rib chiqish talab etiladi. Bu hol *tarkibiy lotereya* deb ataladi, ya'ni lotereya bir nechta

lotereyalardan tashkil topadi. Bunday lotereyalarni L doirasida modellashtirishda qavariq kombinatsiya aniqlanadi, u tarkibiy lotereyani L da lotereyagacha qisqartiradi: ixtiyoriy $P, Q \in L$ va $\alpha \in [0,1]$ uchun

$$\alpha P + (1-\alpha)Q = R \in L,$$

bunda $R(x) = \alpha P(x) + (1-\alpha)Q(x)$.

Asosida kutilgan foydalilik modeli yotuvchi, afzallik haqidagi farazlarni aks ettiruvchi aksiomalar quyida keltirilgan:

(i) **Kuchsiz tartib:** (a) *To'liqlik.* Ixtiyoriy ikki muqobil $\succeq$ munosabat bo'yicha solishtiriladi: A berilganda barcha f va g lar uchun: $f \succeq g$ yoki $g \succeq f$. Bu, barcha f va g uchun $f \succeq g$ yoki $g \succeq f$ o'rinli ekanligini bildiradi; (b) *Tranzitivlik.* Barcha f, g va h lar A da: agar $f \succeq g$ va $g \succeq h$ bo'lsa, unda $f \succeq h$ bo'ladi.

(ii) **Uzluksizlik:** barcha f, g va h uchun A da: agar $f \succ g$ va $g \succ h$ bo'lsa, unda $(0,1)$ da α va β ga ega bo'linadi:

$$\alpha f + (1-\alpha)h \succ g \succ \beta f + (1-\beta)h.$$

(iii) **Mustaqillik:** barcha f, g va h uchun A da: agar $f \succeq g$ bo'lsa, unda barcha $\alpha \in (0,1)$ uchun $\alpha f + (1-\alpha)h \succeq \alpha g + (1-\alpha)h$ bo'ladi.

To'liqlilik xossasiga ko'ra, har bir muqobil f yoki g bir-biriga nisbatan o'z afzalliklari va kamchiliklariga ega bo'lishiga qaramay, QQQSh doimo ikki muqobilni afzallik nuqtai nazaridan solishtirishi mumkin.

f va g mutlaqo solishtirilmaydigan bo'lganda, muammoni muqobillar to'plami to'la aniqlangunga qadar yechilishi kerak. Bu masalani f va g ga nisbatan "aniqlanmaganlik" ni bartaraf etish maqsadida qo'shimcha axborot olish orqali yechish mumkin. Aks holda muqobillardan biri hisobga olinmasligi zarur.

Foydalilik funksiyasi yordamida KF ning (i)-(iii) aksiomalari KF nazariyasida quyidagicha ifodalanadi:

1-teorema [10]. Agar quyidagi shart bajarilganda L dagi ixtiyoriy P va Q lar uchun $P \succeq Q$ o'rinli bo'lsa va agar faqat va agar $u: X \rightarrow R$ mavjud bo'lsa, unda $\succeq \subset L \times L$ shart (i)-(iii) ni qanoatlantiradi:

$$\sum_{x \in X} P(x)u(x) \geq \sum_{x \in X} Q(x)u(x).$$

Bundan tashqari, bu holda u chiziqli musbat o'zgartirish aniqligigacha yagonadir. Shunday qilib, $P = (x_1, p(x_1); \dots; x_n, p(x_n))$

lotereyaning $U(P)$ foydalilik qiymati $U(P) = \sum_{i=1}^n u(x_i) p(x_i)$ kabi aniqlanadi. Qaror qabul qilish masalasi $U(P^*) = \max_{P \in A} U(P)$ bo'ladigan P^* ni topishdan iborat.

Shunga o'xshash holatlar uchun L. Sevij. QQQSh ning farazi yoki tajribasiga asosan muqobil harakatlarni solishtirish mumkin bo'lgan nazariyani taklif etdi [5,13]. Sevij nazariyasi Ramzi [14] va de Finetti [15] taklif etgan subyektiv ehtimolliklarga tayanadi.

Subyektiv ehtimollik – bu QQQSh ning u yoki bu hodisaning yuz berishiga nisbatan ehtimoliy ishonchi. Bu inson tomonidan ehtimoliy natijalar haqidagi subyektiv axborotlar bo'lmaganda ishlatiladi.

Sevij nazariyasi, kutilgan foydalilik paradigmasida obyektiv ehtimolliklar o'rnida subyektiv ehtimolliklardan foydalanilganligi sababli, *subyektiv kutilgan foydalilik* (SKF) deb ataladi. SKF aniqlanmaganlik sharoitlarida qaror qabul qilishning deyarli barcha foydalilik modellarida tayanch nuqta bo'lib qoldi. SKF modellaridagi afzallik S funksiyadan X ga harakatlanish kabi aniqlanadi.

Sevijning foydalilik farazlari yuqoridagi aksiomalarni qanoatlantirishini e'tiborga olgan holda, agar va faqat agar $\int_X u(f(s))d\mu \geq \int_X u(g(s))d\mu$ bo'lsa, $f \geq g$ uchun yagona ehtimoliy o'lcham μ va funksiya $u: X \rightarrow R$ mavjud deb hisoblashimiz mumkin.

Qaror qabul qilish masalasi $f^* \in A$ harakatni aniqlashdan iborat:

$$U(f^*) = \max_{f \in A} \int_X u(f(s))d\mu.$$

Miqdoriy jihatdan SKF modeli KF modeliga mos keladi, chunki unda ham ehtimollik o'lchamlari asosidagi kutilgan qiymat ishlatiladi. Biroq sifat jihatidan bu nazariyalar bir-biridan farq qiladi. KF modellarida natijaning haqiqiy ehtimolligi ma'lum deb faraz qilinadi. SKF modellarining asosiy murakkabliklari quyidagilar hisoblanadi:

- QQQSh ishonchining ehtimoliy xarakteri;
- muqobillarning foydaliligini subyektiv ehtimollikka chiziqli bog'liqligi.

Neymana-Morgenshtern va Sevij nazariyalarida individ kutilayotgan foydalilikni maksimallashtirishga moyil deb taxmin qilinadi [16], ya'ni u qarorni ratsional yo'l bilan qabul qiladi. Tajribalar shuni ko'rsatdiki, insonlar sistematik tarzda fon Neyman-Morgenshtern-Sevij afzalliklari aksiomalarini buzishadi. Umuman

olganda, bu modellar, insonlar xuddi “hisoblash mashinalari” kabi oldindan berilgan algoritim asosida ishlaydi degan taxminlarga asoslangan. Albatta, bu insonning haqiqiy hisoblash imkoniyatlariga mos kelmaydi. Boshqa tomondan esa, bu modellar to‘la axborot strukturalari uchun ishlab chiqiladi, masalan, insonlar yo haqiqiy ehtimollikni bilishadi yo har bir natijaga bo‘lgan subyektiv ehtimollikni berishi mumkin.

Inson tomonidan qaror qabul qilinishi psixologik, aqliy, ijtimoiy va boshqa jihatlar bilan belgilanadi. Buni bilish, insonlar qaror qabul qilishda o‘zini qanday tutishini o‘rganuvchi yangi yo‘nalishga olib keldi. Bu yo‘nalish xulqiy iqtisodiyot deb ataladi va o‘ziga D.Kanemana va A.Tverskining Istiqbollar nazariyasini oladi [17]. Istiqbollar nazariyasi [17,18] – foydalilik konsepsiyasiga yangi ko‘z bilan qaraydigan nazariyalardan biri. Unda inson xulqini ifodalovchi psixologik jihatlar ham e‘tiborga olinadi. Kaneman va Tverskilar insonni qaror qabul qilishdagi qator xulqlari xossalarini ochishdi va ulardan o‘zlarining foydalilik modellarini qurishda foydalanishdi.

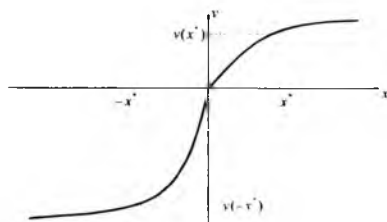
Birinchi xossa shundan iboratki, insonlar o‘zlarining boshlang‘ich holatiga nisbatan og‘ishlarini foyda yoki yo‘qotishlar kabi belgilab, qaror qabul qilishadi. Ularning modelida muqobil bu lotereya bo‘lib, natija *boshlang‘ich nuqta* deb ataladigan QQQSh ning joriy holatini o‘zgarishi kabi qaraladi, so‘nggi natijasi kabi emas. Bunday lotereya *istiqbolli* deb nomlanadi.

Bundan tashqari, yo‘qotishlar va yutuqlarning assimetriyasi deb nomlanadigan, insonning yutuqqa bo‘lgan ta‘siridan ko‘ra yo‘qotishga bo‘lgan ta‘siri kuchliligi kuzatiladi. Insonning xavfga qo‘l urishi uning yo‘qotishlar yoki yutuqlar bilan ish ko‘rayotganligiga bog‘liq.

Yo‘qotish va yutuqlarni qabul qilish xossalarini aks ettirish uchun Kaneman va Tverski qiymatlilik funksiyasi $v(\cdot)$ dan foydalanishgan. Bunda QQQShning pulli natija x ga moyilligi modellashtiriladi. Yo‘qotish va yutuqlarga bo‘lgan munosabatni tajribaviy isbotlashga asoslanuvchi qiymatlilik funksiyasi quyidagi xossalarga ega:

- u yutuqlar sohasida kuchli, yo‘qotishlar sohasida kuchsiz;
- u yutuqlar sohasida botiq, yo‘qotishlar sohasida qavariq;
- eng yaxshi ko‘tarilishi boshlang‘ich nuqtaga to‘g‘ri keladi.

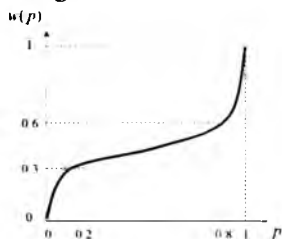
Qiymatlilik funksiyasining sxematik ko'rinishi 5.2.1-rasmda keltirilgan.



5.2.1-rasm. Qiymatlilik funksiyasi.

Ikkinchi muhim holat – bu ehtimolliklarning buzilgan qabul qilinishi. Qaror qabul vaqtida insonlar ehtimollikni qanday bo'lsa shunday qabul qila olmaydi, yo uni yuqori baholaydi yo yetarli baholay olmaydi. Masalan, ehtimollikning 0 dan 0.1 gacha yoki 0.9 dan 1.0 gacha o'zgarishini, 0.3 dan 0.4 gacha o'zgarishdan afzal hisoblashadi. Buning sababi quyidagicha tushuntiriladi, sifat jihatidan birinchi holda yo'q imkoniyatdan ma'lum bir natijaga erishilgan, keyingisida esa ehtimolli natijadan to'la natijaga erishilgan deb hisoblanadi. Boshqacha so'z bilan aytganda, imkoniyatning yuzaga kelishi ehtimollik qiymatlarini o'zgarishidan ko'ra yaxshiroq qabul qilinadi. Natijada kichik ehtimollik yuqori va yuqori ehtimollik past baholanadi.

Bu hodisani modellashtirish uchun Kaneman va Tverski ehtimollik p ni vazn $w(p)$ bilan almashtirishdi va uni vazn funksiyasi deb atashdi $w: [0,1] \rightarrow [0,1]$. Vazn funksiyasi $w(\cdot)$ ning sxematik ko'rinishi 5.2.2-rasmda keltirilgan.



5.2.2-rasm. Vazn funksiyasi.

Istiqbollar nazariyasida, uning mualliflari $s(x_1, p(x_1); \dots; x_n, p(x_n))$ istiqbollar orasidan tanlashning yangi modelini taklif etishdi. Bu modellarda qiymatlilik funksiyasi $v(\cdot)$ foydalilik funksiyasi $u(\cdot)$ ning o'rnida, vazn funksiyasi $w(\cdot)$ esa ehtimollik o'lchami o'rnida ishlatiladi. Bu model Kaneman va Tverski [17] tomonidan ikkidan ko'p bo'lmagan, nol bo'lmagan natijalar uchun ishlab chiqilganini eslatib o'tamiz. Model quyidagi shaklga ega:

$$U((x_1, p(x_1); \dots; x_n, p(x_n))) = \sum_{i=1}^n v(x_i) w(p(x_i)).$$

Qiymatlilik funksiyasi $v(\cdot)$ va vazn funksiyasi $w(\cdot)$ ning turli mualliflar tomonidan taklif etilgan turlari mavjud. Ularning ko'pchiligi [18] da sanab o'tilgan. Ixtiyoriy vazn funksiyasi quyidagi shartni qanoatlantirishi kerak:

– $w(\cdot)$ kamaymaydigan funksiya va $w(0)=0, w(1)=1$ ni qanoatlantiradi;

– $w(\cdot)$ noadditiv: $w(p+q) \neq w(p)+w(q), p+q \leq 1$.

Istiqbollar nazariyasi – bu xavf sharoitida qaror qabul qilishning eng muvaffaqiyatli nazariyasi bo'lib, u deskriptiv nazariyalardan biri bo'ldi. Uning yordamida Alle paradoksi, aniqlanganlik samarasi va freymlar samarasi kabi hodisalar tushuntiriladi [17].

Shmaydler tomonidan Shokning kutilgan foydalilik (ShKF) modeli [9] taklif etilgan bo'lib, u QQQSh ning ishonchi va SKF modelining qarshi vaznini afzalligini aks ettirishga yangi qarash hisoblanadi. SKF modellarida umumiy foydalilik quyidagicha tavsiflanadi:

$$U(f) = \int_{\mathcal{C}} u(f(s)) d\mu,$$

bu yerda μ – ehtimolli o'lcham.

SHKF da QQQSh ning ishonchi, quyidagi shartlarni [9] qanoatlantiruvchi noadditiv o'lcham v – sig'im [19] bilan tavsiflanadi:

1). $v(\emptyset) = 0$.

2). $\forall A, B \subset S, A \subset B$ faraz qiladi $v(A) \leq v(B)$.

3). $v(S) = 1$.

Sig'im – tizim tabiati holatlarini. Ularni yuzaga kelish ehtimolliklaridan foydalanib, bir qiymatli “farqlash” mumkin bo'lmagan hollarda, ya'ni bu ehtimolliklarni baholab bo'lmaganda

ishlatiladigan ishonchlilik modeli. [9] da ν uchun *noadditiv ehtimollik* atamasi ishlatilgan.

Sig'imdan foydalanish – bu ShKF ning yagona afzalligi emas. Riman bo'yicha integrallashtirishda aditiv o'lcham o'rnida sig'imni qo'llash noto'g'ri. Sig'imdan foydalanib, Riman bo'yicha integrallashtirish qator qochib bo'lmaydigan muammolarni keltirib chiqaradi. Xususan, Riman bo'yicha integrallashtirish harakat tavsiflanayotgan usulga bog'liq. Masalan, ikkita $(\$1, s_1; \$1, s_2; \$0, s_3)$ va $(\$1, \{s_1, s_2\}; \$0, s_3)$ muqobil shakllarda ifodalangan harakat f ni ko'rib chiqamiz. Riman bo'yicha integrallashtirish butunlay farqli natijalarni beradi: $\nu(\{s_1, s_2\}) \neq w(q), p+q \leq 1$.

Uzluksizlik va monotonlikning buzilishi kabi boshqa muammolar [12] ishda yaxshi bayon etilgan. ShKF da Lebeg integralining umumlashgan ko'rinishi bo'lgan Shok integralidan foydalaniladi. Lebeg integralidan foydalanish, Riman integrali bilan bog'liq muammolarni bartaraf etadi.

ShKF dagi afzalik va kutilgan foydalilik modellaridagi asosiy farq mustaqillik aksiomalarining relaksatsiyasi hisoblanadi. Bu modellardagi mustaqillik xossalari faqatgina komonoton harakatlar uchun taxmin qilinadi. A dagi ikkita harakat f va g lar, agar S dagi s va t larsiz yuz bersa, ya'ni $f(s) \succ f(t)$ va $g(t) \succ g(s)$ bo'lsa, ular *komonoton* deb ataladi. O'z-o'zidan, funksiyalar f va g ham o'zini shunday tutadi.

Komonoton mustaqillik. A dagi barcha juft komonoton harakatlar f, g va h uchun agar $f \succeq g$ bo'lsa, unda barcha $\alpha \in (0, 1)$ uchun $\alpha f + (1-\alpha)h \succeq \alpha g + (1-\alpha)h$ bo'ladi.

ShKF ning qolgan barcha aksiomalari ravshan. Bu modellarda foydalilik $U(f) = \int_{\mathcal{S}} u(f(s)) d\nu$, bu yerda ν – noadditiv ehtimollik (sig'im), u - nodoimiy va musbat chiziqli o'zgartirishgacha yagonadir. Chekli S uchun, ya'ni $S = \{s_1, \dots, s_n\}$ uchun ShKF quyidagicha bo'ladi:

$$U(f) = \sum_{i=1}^n (u(f(s_{(i)})) - u(f(s_{(i+1)}))) \nu(\{s_{(1)}, \dots, s_{(i)}\}),$$

bu yerda (i) – s holatlardagi indeks bo'lib, ularni $u(f(s_{(i)})) \geq u(f(s_{(i+1)}))$ va $u(f(s_{(n+1)})) = 0$ kabi aks ettirilishini bildiradi.

Ba'zida ShKF ni ifodalash uchun quyidagi ekvivalent ifoda ishlatiladi:

$$U(f) = \sum_{i=1}^n u(f(s_{(i)}))(v(\{s_{(1)}, \dots, s_{(i)}\}) - v(\{s_{(1)}, \dots, s_{(i-1)}\}))$$

$i=1$ uchun $\{s_{(1)}, \dots, s_{(i-1)}\} = \emptyset$.

SKF modeli additiv v da ShKF ning xususiy holi ekanligi ko'rinib turibdi. SKF ning kamchiligi v ni aks ettirishning qiyinligidan iborat.

Istiqbollarning umumiy nazariyasi (IUN) [18] Kaneman va Tverski tomonidan IN ni rivoji sifatida taklif etilgan edi. Kviggin [20] va Yaari [21] natija $x=a$ ni noehtimollik $p(x)$ ga nochiziqli o'zgartirishni taklif etishdi. Umumiy ehtimollikda $p(x \geq a)$ bo'lib, natija x odindan berilgan qiymat a dan kam emasligini bildiradi. $x_1 \geq \dots \geq x_n$ nomanfiy natijali istiqbol $f = (x_1, p(x_1); \dots; x_n, p(x_n))$ ga e'tibor qaratamiz. Bu istiqbolning kutilgan foydaliligi (KF) quyidagiga teng bo'ladi:

$$U(f) = \sum_{i=1}^n p(x_i) u(x_i),$$

uni quyidagicha yozish mumkin:

$$U(f) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^i p(x_j) \right) (u(x_i) - u(x_{i+1})),$$

bu yerda $x_{i+1} = 0$. $\sum_{j=1}^i p(x_j)$ – bu natija f ning x_i dan kam emasligining umumiy ehtimolligi.

Nochiziqli o'zgartirish w ni $\sum_{j=1}^i p(x_j)$ ga qo'llab, quyidagini olamiz:

$$U(f) = \sum_{i=1}^n w \left(\sum_{j=1}^i p(x_j) \right) (u(x_i) - u(x_{i+1})),$$

uni quyidagicha yozish mumkin:

$$U(f) = \sum_{i=1}^n \left(w \left(\sum_{j=1}^i p(x_j) \right) - w \left(\sum_{j=1}^{i-1} p(x_j) \right) \right) u(x_i).$$

Chunki

$$\left(w \left(\sum_{j=1}^i p(x_j) \right) - w \left(\sum_{j=1}^{i-1} p(x_j) \right) \right) \in [0, 1]$$

va

$$\sum_{i=1}^n \left(w \left(\sum_{j=1}^i p(x_j) \right) - w \left(\sum_{j=1}^{i-1} p(x_j) \right) \right) = w \left(\sum_{j=1}^n p(x_j) \right) = w(1) = 1,$$

unda ehtimollikni $q_i = \left(w \left(\sum_{j=1}^i p(x_j) \right) - w \left(\sum_{j=1}^{i-1} p(x_j) \right) \right)$ kabi qarash mumkin.

Biroq, q_i turli istiqbollar uchun tartiblangan natijalar x_i ga bog'liq va turli qiymatlarga ega. Shuning uchun bunday aks ettirish *rangga bog'liq kutilgan foydalilik* (RBKF) deb ataladi. Natijalar ko'p bo'lgan holda istiqbollar nazariyasi quyidagi foydalilik funksiyali RBKF modelidan foydalanishga asoslangan:

$$U(f) = \sum_{i=1}^n w \left(\sum_{j=1}^i p(x_j) \right) (v(x_i) - v(x_{i-1})).$$

Rangga bog'liq kutilgan foydalilik – bu ShKF ning xususiy holi. $w \left(\sum_{j=1}^i p(x_j) \right)$ ni xuddi noadditiv o'lchov kabi qarab, ShKF ni olish mumkin [12].

IN mualliflari Kaneman va Tverski. Yuqorida ko'rib o'tilgan IN kamchiliklariga ega bo'lmagan foydalilikning umumiy nazariyasi (FUN) ni taklif etishdi. IN dan farqli ravishda, bunazariya xavf sharoitidagi yechimlarga ham aniqlanmaganlik sharoitidagi yechimlarga ham qo'llanilish mumkin. FUN da yo'qotishlar va yutuqlar, turli sig'imli Shok integrali yordamida alohida guruhlariga ajratiladi va bunday guruhlarining natijalari umumlashtiriladi (qo'shiladi). FUN quyidagicha aks ettiriladi:

$$U(f) = \int_{\mathbb{R}} v(f^+(s)) d\eta^+ + \int_{\mathbb{R}} v(f^-(s)) d\eta^-.$$

bu yerda $f^+(s) = \max(f(s), 0)$ va $f^-(s) = \min(f(s), 0)$, $\int_{\mathbb{R}}$ - Shoke integrali, v – qiymatlilik funksiyasi (IN dagi kabi), η^+, η^- - sig'imlar.

Tabiat holatlarining ma'lum ehtimolliklarida ikki vazn funksiyasi ishlatiladi. Umumiylikka qaramasdan, $f = (f(s_1), p(s_1); \dots; f(s_n), p(s_n))$ istiqbollarni ko'rib chiqamiz, bunda $f(s_1) \geq \dots \geq f(s_i) \geq 0 > f(s_{i+1}) \geq \dots \geq f(s_n)$. f uchun FUN quyidagicha bo'ladi:

$$U(f) = \sum_{i=1}^k \left(w \left(\sum_{j=1}^i p(s_j) \right) - w \left(\sum_{j=1}^{i-1} p(s_j) \right) \right) v(f(s_i)) + \\ + \sum_{j=k+1}^n \left(w \left(\sum_{i=1}^n p(s_i) \right) - w \left(\sum_{i=1}^{n-1} p(s_i) \right) \right) v(f(s_j))$$

Yo'qotishlar va yutuqlar ehtimolliklari uchun turli w^+ va w^- vaznlarning ishlatilishi, insonlarning yo'qotish yoki yutuqqa ko'ra bir xil ehtimollik p ni turlicha o'lchovchi kuzatishlariga bog'liq. Biroq tajribalar shuni ham ko'rsatdi-ki, w^+ va w^- S-simon [18] va Kaneman va Tverski tomonidan olingan w^+ va w^- bir xil tavsifga, lekin turli egri chiziqlarga ega:

$$w^+(p) = \frac{p^\gamma}{(p^\gamma + (1-p)^\gamma)^{1/\gamma}}, \quad w^-(p) = \frac{p^\delta}{(p^\delta + (1-p)^\delta)^{1/\delta}},$$

$$\gamma = 0.61, \delta = 0.69.$$

Natijada, w^+ ko'proq egri chiziqqa ega.

Ishonchlilikning natija ishorasiga bog'liqligi ishoraga bog'liqlik kabidir. Aniqlanmaganlik sharoitidagi qarorlarning ishoralariga ko'ra turli sig'imler η^+, η^- ishlatiladi. $w^+(p) = 1 - w^-(1-p)$ yoki $\eta^+(A) = 1 - \eta^-(S \setminus A)$, $A \subset S$ bo'lganda ishoraga og'liqlik yo'qoladi va SKF mos ravishda RBKF va ShKF ga keltiriladi.

Foydalilikning umumiy nazariyasi – muvaffaqiyatli nazariyalardan biri bo'lib, u IN va KFN ning afzalliklarini o'zida umumlashtirib, yo'qotishlar va yutuqlarning assimetriyasini tavsiflaydi va aniqlanmaganlik sharoitida noadditiv ishonchlilikni modellashtiradi.

Biroq, FUN ham qator kamchiliklarga ega, masalan yo'qotishlar va yutuqlar alohida guruhlanganligi sababli, model ham additiv bo'ladi. Kamchiliklar va additivlikning bunday buzilishlari empirik va tajribaviy tarzda [22÷25] da ko'rsatilgan. FUN ning boshqa muhim kamchiligi [26] da ko'rsatilganidek, laboratoriya sharoitlarida o'zini yaxshi tutadi, ammo real hayot uchun yaroqsizdir. Masalan, parametrlashtirilgan bunday masalalar [27] da tavsiflangan tajribalar sababli, FUN o'rta va teng ehtimolli qo'shma o'yinlar o'rtasidagi tanlovni tavsiflay olmaydi.

Noehtimoliy ishonchlilikni tavsiflashning boshqa usuli uni ehtimollikning taqsimlanishi bilan emas, balki ehtimolliklarning taqsimlanish to'plamlari bilan modellashtirishdan iborat. Bu

foydalilikning, *ko'plik taqsimlangan modellar* deb nomlanuvchi turli modellari sinfini keng rivojlanishiga olib keldi. Ko'plik taqsimlanishdan foydalanganda QQQSh aniq bo'lmagan axborotlar yoki aniqlanmagan bilimga ega bo'lishi mumkin, lekin u ehtimolliklarning qiymatlilik diapazonlarini ko'rib chiqqan holda, noaniq ishonchga ega bo'ladi.

Birinchi bo'lib, inson tanlovi bilan yagona ehtimollikni nomuvofiqligini aks ettiruvchi ikki misolni 1961-yilda Daniel Elsberg taklif etgan edi [28]. Bir misol Elsbergning ikki urna Paradoksi deb nomlanadi. Bu tajribada QQQShga har birida 100 tadan shar bo'lgan ikki urna taklif etiladi. QQQSh birinchi urnada 50 ta oq va 50 ta qora shar borligini ko'rdi va u ikkinchi urnadagi sharlarning ranglari nisbatini bilmaydi. QQQSh ga tasmollab tortilgan sharining rangiga stavka qo'yish taklifi beriladi. Har bir stavka uchun mukofot 100\$. Stavkani tanlagan QQQSh o'yin uchun urnalardan birini tanlashi zarur. Ko'pchilik odamlarda qaysi rangga: qoragami yo oqqami stavka qo'yishning farqi yo'q. Ammo (tanlangan stavkadan qat'iy nazar) ko'pchilik birinchi urnada o'ynashni ma'qul ko'rishadi, chunki undagi natija 0.5 ehtimollikka ega, ikkinchisida esa {0, 1} oraliqda yotadi. Bu tanlov ikkinchi urnadan tasmollab tortilgan sharining rangiga nisbatan ishonchning biror ehtimolligiga nomuvofiqdir.

Haqiqatan, oq rangga stavka qo'yib, birinchi urnadan shar tanlash, QQQSh ikkinchi urnada oq rangli sharlar kamligiga ishonchi komil ekanligi, qora rangni tanlash esa ikkinchi urnada oq rangli sharlar kamligiga ishonchi komil ekanligini bildiradi. Ikkinchi urnadagi sharlar rangiga bo'lgan yagona ehtimoliy ishonchning yo'qligi, ikkinchi urnadan tasodifan tortilgan oq yoki qora sharlarning ehtimolligi bir paytda 0.5 dan kam bo'lmasligini bildiradi.

Ikkinchi mashhur misol Elsbergning bitta urnali tajribasi deb nomlanadi. Bu misolda QQQSh ga urnadagi sharlarning rangiga stavka qo'yish taklif etiladi. Urnadagi sharlar miqdori 90 ta, ulardan 30 tasi qizil, qolgan 60 tasi esa ko'k va sariq bo'lib noma'lum mutanosiblikda. Urnadan tasmollab tortilgan shar rangiga quyidagi stavkalar taklif etiladi (5.2.1-jadval).

Masalan, agar tortilgan shar qizil bo'lsa, f \$100 yutuq beradi, agar qizil bo'lmasa 0; unda agar tortilgan shar qizil yoki sariq bo'lsa, f' \$100 yutuq beradi, aks holda 0.

Elsbergning bir urnali masalasi

	Qizil	Ko'k	Sariq
f	\$100	0	0
g	0	\$100	0
f'	\$100	0	\$100
g'	0	\$100	\$100

Ko'pchilik f ni g stavkadan afzal ko'radi (ya'ni ular ehtimolligi $1/3$ bo'lgan ma'lum natijani ehtimolligi 0 dan $2/3$ gacha bo'lgan noma'lum natijadan afzal sanashadi). Shuningdek ko'pchilik, g' stavkani f' dan afzal ko'radi (ya'ni ular ehtimolligi $2/3$ bo'lgan ma'lum natijani ehtimolligi $1/3$ dan 1 gacha bo'lgan noma'lum natijadan afzal ko'rishadi). Bu ikki tanlovni yagona taqsimlangan ehtimollik bilan tavsiflangan ishonchlilik orqali tushuntirib bo'lmaydi. Aslida, agar ishonchlilik ehtimolli xarakterga ega deb faraz qilinsa, unda birinchi tanlov qizil sharni tanlash ehtimoli ko'k sharni tanlashga qaraganda katta ekanligini bildiradi: $p(qizil) > p(ko'k)$. Ikkinchi tanlov esa ko'k yoki sariq sharni tortish ehtimolligi qizil yoki sariq sharni tortish ehtimolligidan katta ekanligini bildiradi: $p(ko'k) + p(sariq) > p(qizil) + p(sariq)$. Bu $p(ko'k) > p(qizil)$ ekanligini bildiradi va birinchi tanlov asosidagi ishonchga qarshidir. Haqiqatan, "ko'k yoki sariq" hodisaning yuzaga kelishi haqidagi axborot, sharlarning "ko'k" yoki "sariq" ehtimolliklarga bo'linishiga bir xil mos tushmasligi kerak.

Elsberg tajribalaridagi insonlarning real tanlovi asosidagi intuitsiya, ularning ehtimollikni noma'lum natijadan afzal hisoblashlaridan borat. Bu hodisa *aniqlanmaganlikni qabul qilmaslik* deb nomlanadi [28]. Aniqlanmaganlik deganda ehtimollik qiymatidagi noma'lumlik tushuniladi [29].

Aniqlanmaganlikni qabul qilmaslik tamoyili Gilboa va Shmaylarning aksiomalari shaklida ifodalangan [30]. Aniqlanmaganlikni qabul qilmaslikning rasmiy tavsifini tushunish uchun Elsbergning ikki urnali misoliga murojaat qilamiz. Noma'lum

urnadan tortilgan oq shar uchun \$100 yutuq beruvchi harakat f va noma'lum urnadan tortilgan qora shar uchun \$100 yutuq beruvchi harakat g faraz qilamiz. Bu harakatlarni ekvivalent deb qarash maqsadga muvofiq: $f \sim g$. Endi qaysi shar tortilishidan qat'iy nazar, $\frac{1}{2}$ ehtimollik bilan \$100 va $\frac{1}{2}$ ehtimollik bilan \$0 yutuq beruvchi lotereyani namoyon etuvchi harakat $\frac{1}{2}f + \frac{1}{2}g$ ni ko'rib chiqamiz.

Shunday qilib, aniqlanmaganlik sharoitida ikki stavkani "aralashtirib", *xedjirlash samarasi* deb nomlanuvchi xavf sharoitidagi stavkani hosil qilamiz. Olingan harakat, ma'lum urna uchun biror rangga, oq deb aytaylik, ekvivalent bo'ladi. Bu stavka f va g stavkalarini afzal hisoblaganligi sababli, uni $\frac{1}{2}f + \frac{1}{2}g \succeq f$ kabi yozish mumkin. Bu aniqlanmaganlikni qabul qilmaslik aksiomasida umumlashadi [28], ekvivalent harakatlar f va g uchun ularning kombinatsiya har biri uchun kuchsiz afzaldir: $\alpha f + (1-\alpha)g \succeq f$. Bu aksioma – foydalilik modelining *Maksimin kutilgan foydalilik* (MKF) [30] deb ataluvchi mashhur modeli asosida yotadi.

Bu modellarning aksiomatik asosida P ehtimollikning C taqsimlanishli yagona berk va qavariq to'plami mavjud:

$$f \succeq g \Leftrightarrow \min_{P \in C} \int u(f(s))dP \geq \min_{P \in C} \int u(g(s))dP,$$

bu yerda u musbat chiziqli o'zgartirishgacha bo'lgan aniqlikdagi birlik.

Girardato, Macheroni va Marinachchi MKF ni umumlashtirishni taklif etishdi [31]. Bunda aniqlanmaganliklarni qabul qilmaslik aksiomasidan tashqari, barcha asosiy aksiomalardan foydalaniladi. Olingan model α -MKF kabi belgilanadi va agar quyidagi shart bajarilsa, $f \cdot g$ bo'lishini tasdiqlaydi:

$$\begin{aligned} & \alpha \min_{P \in C} \int u(f(s))dP + (1-\alpha) \max_{P \in C} \int u(f(s))dP \geq \\ & \geq \alpha \min_{P \in C} \int u(g(s))dP + (1-\alpha) \max_{P \in C} \int u(g(s))dP \end{aligned}$$

Bu yerda $\alpha \in [0,1]$ aniqlanmaganlikni qabul qilmaslik darajasi kabi qaraladi. Qanchalik α katta bo'lsa, shunchalik QQQSh aniqlanmaganlikni qabul qilmasligi katta bo'ladi va $\alpha=1$ bo'lganda MKF ni olamiz. Agar $\alpha=0$ bo'lsa, model *aniqlanmaganlikka intilishni* tavsiflaydi, ya'ni QQQSh aniqlanmaganlik sharoitida ehtimollikni

taqsimlanishini amalga oshirishini eng yaxshi imkoniyatiga ega bo'lishga "umid qiladi". Qiymat $\alpha \in (0,1)$ aniqlanmaganlikni qabul qilmaslik bilan aniqlanmaganlikni qidirish o'rtasidagi balansni tavsiflaydi.

Eng muhim moment MKF va ShKF o'rtasidagi aloqa hisoblanadi. Elsbergning bir urnali paradoksi quyidagi shartni qanoatlantiruvchi sig'im ν da ShKF yordamida tushuntirilishini aniqlash mumkin:

$$\nu(\{s_r\}) = \nu(\{s_r, s_b\}) = \nu(\{s_r, s_y\}) = \frac{1}{3},$$

$$\nu(\{s_b\}) = \nu(\{s_y\}) = 0,$$

$$\nu(\{s_b, s_y\}) = \frac{2}{3}.$$

bu yerda s_r, s_b, s_y – mos ravishda qizil, ko'k, sariq rangli sharlarni tortilishini ifodalovchi tabiiy holatlar.

Shmaydler agar faqat va agar sig'im $\nu(A \cup B) + \nu(A \cap B) \geq \nu(A) + \nu(B)$ shartni qanoatlantirsa, aniqlanmaganlikni qabul qilmaslik ShKF da modellastirilishini ko'rsatib o'tgan. Bunday o'zgaruvchi ν qavariq sig'im nomi bilan yuritiladi. Shmaydler ShKF MKF ning xususiy holi ekanligini isbotladi:

$$(Ch) \int_S u(f(s)) d\nu = \min_{P \in C} \int_S u(f(s)) dP,$$

bu yerda $(Ch) \int_S$ – Shoke integrali, ν - qavariq sig'im, C - ehtimoliy o'lichamlar to'plami va $u: C = \{P | P(A) \geq \nu(A), \forall A \subset S\}$ kabi aniqlanadi.

Bunday C qavariq sig'im ν ning yadrosi deyiladi. Elsberg paradoksinidagi tanlovni tavsiflash uchun ishlatilgan, yuqoridagi sig'im – bu qiymati barcha mumkin bo'lgan ehtimolliklar o'rtasida minimumga ega bo'lgan sig'im bo'lib, $\nu(A) \leq P(A), \forall A \subset S$ ni qanoatlantiradi. Agar taqsimlanishlar to'plami C berilgan bo'lsa, unda $\nu(A) = \min_{P \in C} P(A)$ ni qanoatlantiruvchi sig'im ν to'plam uchun *quyi eguvchi* deb ataladi.

Biroq, MKF har doim ham ShKF ning umumlashgan ko'rinishi emas. Agar ν qavariq bo'lmasa, unda MKF va ShKF lar mos tushadigan C mavjud emas. Haqiqatan, ShKF oldindan aniqlanmaganlikni qabul qilmaslikni taxmin qilmaydi. Agar botiq ν

ishlatilsa, unda ShKF aniqlanmaganlikka intilishni modellashtiradi [12]. Shuningdek, sig'im ham yadroga ega bo'lmaydi.

MKF ning asosiy kamchiliklari:

– real masalalarda taqsimlanishlar to'plamini qat'iy chegaralash qiyin, shuningdek turli taqsimlanishlar yechiladigan masalalarga nisbatan teng ko'rilishi kerak emas;

– har bir harakat faqat bir taqsimlanishga asoslanib baholanadi.

Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish maqsadida Klibanof va boshqalar tomonidan *aniqlanmaganlikning silliq modeli* deb nomlanuvchi qaror qabul qilishni ifodalash usuli taklif etilgan [32]. Unda QQQSh ning ishonchini subyektiv ehtimolligi ishlatiladi. Ushbu modellarda mualliflar foydalilikni quyidagicha aks ettirilishidan foydalanishgan:

$$U(f) = \int \phi \left(\int_{\mathcal{C}} u(f) dP \right) d\nu.$$

Bu yerda: $P \in C$ – to'plam C dagi mumkin bo'lgan taqsimlanishlar; ν – to'plam C dagi subyektiv ehtimolliklarning taqsimlanishi; $\emptyset$ – aniqlanmaganlik darajasini aks ettiruvchi nochiziqli funksiya.

Funksiya $\emptyset$ ko'rib chiqilayotgan modellarning buzilishlarini subyektiv kutilgan foydalilik modellarigacha bartaraf etadi. Taqsimlanish to'plamlariga subyektiv ehtimollik o'lchami ν ni kiritish Chyu [33] va hammualliflar Segal [13], Seo [34] va boshqalar tomonidan ham taklif etilgan edi.

[35] ishda harakat uchun umumiy foydalilik quyidagicha tavsiflanadigan model taklif etilgan:

$$U(f) = \min_{\rho \in L_\beta} \frac{1}{\varphi(\rho)} \int_{\mathcal{S}} u(f) d\rho.$$

Bu yerda: φ – ishonch funksiyasi, qiymati $\varphi(\rho) \in [0,1]$ – ρ taqsimlanishning “rostligi” (ya'ni uning qaror qabul qilish masalasiga mos kelishi); $L_\beta = \{\rho : \varphi(\rho) \geq \beta\}$, $\beta \in [0,1]$ – taqsimlanish to'plami bo'lib, ishonchi QQQSh tomonidan tanlangan $\beta \in [0,1]$ dan kam emas.

Ko'plik taqsimlanishlarning keng sinfdagi modellari mavjud bo'lib, ular *variatsion afzalliklar modeli* nomi ostida birlashadi [36÷38]. Bu modellarning umumlashgan ko'rinishi quyidagicha:

$$U(f) = \min_{\rho \in \Delta(S)} \left[\int_{\mathcal{S}} u(f) d\rho + c(\rho) \right],$$

bu yerda c – “qiymatli funksiya”, qiymati $c(\rho)$ kam ahamiyatli taqsimlanish ρ uchun yuqori; $\Delta(S)$ – S dagi barcha taqsimlanishlar to‘plami.

5.2.2. Qaror qabul qilish nazariyasining asosiy yo‘nalishlari

Muqobillar, tizim tabiati holatlari, ehtimollar va natijalar, shuningdek afzal bilish turlari haqidagi axborotlarga asoslanib, qaror qabul qilish nazariyasining yuqorida ko‘rib o‘tilgan usullarini tahlil qilgan holda, ular laboratoriya sharoitlaridagi tajribalar uchun ishlab chiqilgan ekan va ular uchun qaror qabul qilish muhitining ideal modullari xarakterli degan xulosa chiqarish mumkin bo‘lib, ular qaror qabul qilishning quyidagi soddalashtirilgan yo‘nalishlari bilan belgilanadi:

- aniqlanmaganlik sharoitlarida qaror qabul qilish;
- xavf sharoitida qaror qabul qilish;
- axborotlar to‘liq bo‘lmagan sharoitlarda qaror qabul qilish.

Aniqlanmaganlik sharoitlari uchun ishlab chiqilgan qaror qabul qilish usullarining asosiy kamchiligi, ularning ko‘pchiligi tizim tabiati holatlari ehtimolliklari haqidagi axborotlarni o‘rganishga mo‘ljallanmagan bo‘lib, real hayotda qaror qabul qilish vaqtida QQQSh da doimo bunday aprior axborotlarning ma’lum hajmi mavjud bo‘ladi [3,39,40].

Xavf sharoitlarida qaror qabul qilishning asosiy usullari: fon Neyman va Morgenshternning kutilgan foydaliligi (KF); Sevijning subyektiv kutilgan foydaliligi; Xodjes-Lemann mezoni [41]; istiqbollar nazariyasi va boshqalar. KF nazariyasi qat’iy aksiomatik asosga ega bo‘lib, soddalilik modellaridan farq qiladi. Bu modellarda, QQQSh to‘liq ratsional hisoblanadi. Tizim tabiati haqidagi axborotlar ishonchlilikning obyektiv yoki subyektiv ehtimolliklari bilan tavsiflanadi. Biroq, real hayotda birinchisi odatda noma’lum bo‘ladi. Subyektiv ehtimollik bir qadar realroq, lekin hatto laboratoriya sharoitlarida ham aniqlanmaganlik sharoitidagi tanlovlarni tavsiflay olmaydi.

KF asosida yotuvchi afzalliklarning strukturalarini qayta ko‘rib chiqish, afzalliklarning turli takomillashgan strukturalarini ishlab chiqish va ularni umumlashtirishga olib keldi. Umumlashtirish rangga

bog'liq va ishoraga bog'liq bo'lishi mumkin [42]. Bu afzalliklar strukturalari turli to'g'rilashlarni o'ziga biriktiradi va mustaqillik aksiomalarini kuchsizlantiradi [9,30, 33,44]. individning xavfga munosabatlarini va aniqlanmaganliklarni (rangga bog'liq umumlashish), yutuq va yo'qotishlarga bog'liqliklar (ishorali umumlashish) [17, 18] ni hisobga oladi.

Aniqlanmaganlik sharoitlarida qaror qabul qilishga ko'p sondagi ishlar bag'ishlangan [12, 29, 31, 42, 45÷53]. Aniqlanmaganlik, umumiy holda ehtimollik noma'lum bo'lgan, ammo ma'lum chegaralarda o'zgaruvchi hollarga tegishli. Ba'zi hollarda hech qanday ehtimollik haqida axborotlar bo'lmagan hol ham tushuniladi. Aniqlanmaganlik sharoitlarida qaror qabul qilishni tadqiq qilish ikki yo'nalishda olib boriladi:

- ko'plik ehtimoliy taqsimlanishlarga asoslanib, ko'plikli taqsimlanishlar modellari deb ataladigan modellarni ishlab chiqish [27,28];

- SHKF kabi noadditiv o'lchamlarga asoslangan yondashuvlarni shakllantirish [54÷57].

Asosiysi, bu modellar aniqlanmaganliklarni qabul qilmaslik deb nomlanuvchi inson xulqining sifati kabilarni tavsiflaydi.

Umumiy kutilgan foydalilik (UKF) o'zida IN va ShKF asoslarini birlashtiradi va natijada ham rangga bog'liq ham ishoraga bog'liq hisoblanib, KF ning umumlashgan ko'rinishi hosil bo'ladi. Bugungi kunda UKF yo'qotish va yutuqlar asimmetriyasini hamda aniqlanmaganlikka bo'lgan munosabatlarni e'tiborga olish imkonini beruvchi muvaffaqiyatli nazariya hisoblanadi. Boshqa tomondan, UKF QQQSh ning ideal tavsiflangan axborotlari va yaqqol aniqlangan nimani afzal bilishlari uchun ishlab chiqilgan.

Real masalalarda ehtimollik qiymatlari aniq emas, lekin Elsberg paradoksidagi kabi aniq chegaralanmagan bo'lishi mumkin. Bu masalalarni yechish uchun ikkinchi tartibli ehtimollikli modellar taklif etilgan edi [13, 33, 45, 52]. Masalan, Klivanov va boshqalar tomonidan aniqlanmaganlikning silliq modellarida [32] subyektiv ehtimollik o'lchamlarini qo'llash taklif etilgan bo'lib, bu QQQSh ning ko'rib chiqilayotgan taqsimlanishlar to'plamining ostto'plamlarida "haqiqiy" taqsimlanish borligi haqidagi ishonchini aks ettiradi. Ikkinchi tartibli ehtimollikdan foydalanish, minimal yoki maksimal

kutilgan foydalilik asosida harakatlarning kritik baholaridan qochish imkonini beradi.

Ikkinchi tartibli ehtimollikning aniq modeli – individ ishonchining noreal tavsifidir. Ishonchlilikning [32] da aks ettirilgan boshqa kamchiligi ehtimollik haqidagi sub'yektiv axborotlarning matematik tadqiqotlarga muvofiqligi masalasi muhokama etilmaydi va oldindan muvofiq taqsimlanishga ega deb hisoblanadi. Biroq, ishonchlilikni qiyoslash masalasi juda muhim masala bo'lib qolmoqda. Bu masala jihatlarining keng ko'rib chiqilishi [55] da keltirilgan.

«Elegant» modellarni qurish paradigmasi, qaror qabul qilishning nomukammal xarakteri va QQQSh qabul qilishi uchun relevant axborotlarga mos kelmaydi. Haqiqatan, hatto eng ilg'or foydalilik modellari ham xulqiy hodisalarga asoslangan bo'lib, sodda sharoitlardagi fikrlash tajribalari vaqtida kuzatilmaydi. Biroq, David Shmaydler shuni tasdiqlaydi: *“Real hayot – bu sharlar va urnalar emas»*.

Iqtisodiyot – bu inson-sentrik bo'lgan tizim. Bu qaror qabul qilishning yangi modellari binar mantiq va ehtimollar nazariyasiga emas, balki inson-sentrik hisoblash yondashuvga asoslanishi kerakligini bildiradi. Bizning fikrimizcha bunday masalalarni yechishda ishlatiladigan til tabiiy til [58], shuningdek vizual geometrik til [59] yoki geometrik tavsiflash tili hisoblanadi. Yangi nazariya QQQSh xulqi va qaror qabul qilish muhiti haqidagi axborotlarni qabul qilishga asoslangan umumiy va monand qarashlarni birlashtirishga tayanadi.

Biz QQQSh ning xulqiga asoslanib, qarorlarni xulqiy qabul qilish nazariyasini ko'rib chiqamiz. Biz har biri QQQSh ning biror prinsipial xulqini aks ettiruvchi holatlar to'plami yordamida uning xulqini modellashtiramiz.

Real dunyoda relevant axborot tashuvchisi. Birinchi navbatda, QQQShning qabul qilish qobiliyati hisoblansa, axborotning o'zi esa tabiiy til orqali yoki vizual belgilar yordamida ifodalanadi. Bu yerda qaror qabul qilish muhiti va QQQSh xulqi haqidagi axborotlar mukammal bo'lmagan sharoitlarda qaror qabul qilishga bo'lgan yangi yondashuvlarni taklif etmoqdamiz. Taklif etilgan yondashuvlar, noaniq to'plamlar nazariyasini [58,66] sintezlashdan, axborotlarni qabul qilish va ehtimolliklar nazariyasiga asoslangan ishlov berish va tavsiflash uchun matematik asbob sifatida foydalanadi.

5.3. Aniqlanmaganlikning turli ko‘rinishlarini tavsiflash uchun noaniq to‘plamlar nazariyasi va intervalli tahlilning qo‘llanilish imkoniyatlari

Real murakkab tizimlar uchun bir vaqtda turli jinsli axborotlarning bo‘lishi xarakterlidir:

- nuqtali o‘lchashlar va parametrlarning qiymatlari;
- ularning o‘zgarishini ruxsat etilgan intervallari;
- alohida kattaliklar uchun taqsimlanishning statistik qonunlari;
- mutaxassis-ekspertlardan olingan lingvistik mezonlar va cheklanishlar va shu kabilar.

Boshqarishning murakkab ko‘p sathli iyerarxik tizimida bir vaqtning o‘zida turli xil noaniqliklarning mavjudligi, qaror qabul qilish uchun noaniq to‘plamlar nazariyasini qo‘llash zaruratini keltirib chiqaradi. Noaniq to‘plamlar nazariyasi qo‘llanilganda barcha noaniqliklarning turlarini e‘tiborga olish imkoni tug‘iladi.

Mos ravishda osttizimlarning faoliyati, ochiqlik va samaradorlik sohalari, maqsad funksiyalari, bir ish rejimining boshqalari oldidagi afzalliklari, osttizim uchun rejimlarning har biri uchun ishlash xavfi va shu kabilar haqidagi barcha axborotlar yagona shaklga o‘zgartirilgan bo‘lishi va tegishlilik funksiyalari ko‘rinishida aks ettirilishi lozim. Bunday yondashuv, determinantlangan, statistik, lingvistik va intervalli kabi barcha turdagi axborotlarni yagona ko‘rinishga olib kelish imkonini beradi [61].

Bugungi kunda ishlab chiqilgan qaror qabul qilishning miqdoriy usullari (kutilayotgan foydalilikni maksimallashtirish, maksimal haqiqatnamolik usullari, o‘yinlar nazariyasi, “xarajatlar-samaradorlik” ni tahlil qilish va shu kabilar) aniqlanmaganlikning aniq bir turi yoki to‘la aniqlanmaganlik sharoitlarida yechimlar ichidan eng yaxshisini tanlashga yordam beradi. Qaror qabul qilishning aniq masalalari doirasidagi miqdoriy tadqiqotlarni yengillashtirish uchun mavjud usullarning ko‘pchiligi o‘ta sodda modellarga asoslangan va qat’iy cheklanishlardan ozod etilgan bo‘lib, tadqiqot natijalarining qiymatini pasaytiradi va ko‘pincha noto‘g‘ri yechimlarga olib boradi.

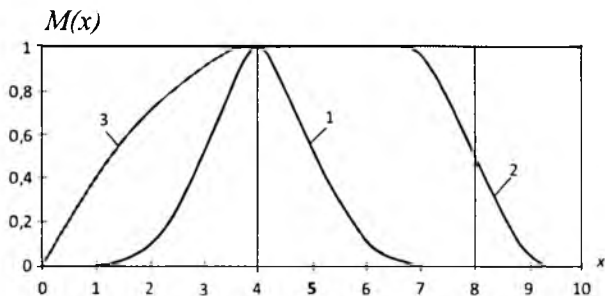
Aniqlanmaganlikka ega kattaliklar ustida o‘tkaziladigan amallarda ehtimollar nazariyasi apparatining qo‘llanilishi aniqlanmaganlik uning tabiatidan qat’iy nazar tasodifiylik bilan ham

bog'liq bo'lib, ko'pgina qaror qabul qilish jarayonlaridagi aniqlanmaganlikning asosiy manbai noaniqlik yoki mujmallik (aniq ifodalanmaganlik) (fuzzynes) hisoblanadi.

Monand rasmiy tilni tanlash juda muhim bo'lib, ko'p sathli murakkab boshqarish tizimlarida qarorlarni qabul qilishdagi tavsiflashning afzalligi shunga bog'liqdir.

Tizimga abstrakt yondashilganda, tizimning faoliyat ko'rsatish mezonini noaniq to'plamlar nazariyasi tilida qabul qilinayotgan qarorlarning samaradorligi va ochiqligi darajalarini maksimallashtirish shaklida ifodalash mumkin. Shuning uchun ham ostto'plamlar sifatida parametr x ning samarali va ochiq qiymatlari ostto'plamlari tanlangan. Parametr x ning samarali qiymatlari ostto'plami real tizimlar uchun noaniq hisoblanganligi sababli, bitta qiymat (masalan, $x_2=4$) samarali, qolganlari esa samarasiz (5.3.1-rasm), ya'ni $x \neq 4$ uchun $\mu_A(4)=1$ va $\mu_A(x)=0$ deb aytib bo'lmaydi.

Real qaraganda bunday qirra yo'q, chunki x ning arziyas o'zgarishi $\mu_A(x)$ ning katta o'zgarishiga olib keladi va tegishlilik funksiyasi ko'proq haqiqatga mos keladi.



5.3.1-rasm. Aniq va noaniq maqsad va chegaralanishlar uchun tegishlilik funksiyalari.

Rejimning qiymatiga bo'lgan cheklanishlar aniq va noaniq bo'lishi mumkin (rasmda 2). Noaniq ("yumshoq") cheklanishlarni qo'llash, nazorat va boshqarish imkoniyatlarini ancha kengaytiradi va ularni tizimdagi real holatga monand qiladi. Masalan, gaz qazib chiqarish tizimida to'yinish (shudring) nuqtasi $x_1=8$ dan oshmasligini qat'iy berish mumkin, shunga ko'ra tizimning $x > x_1$ bo'lganda

ishlashiga ruxsat berilmaydi. Xuddi shunday avtomatika va uning rejimi uchun $x > x_1$ ruxsat etilmaydi. Haqiqatda esa shudring nuqtasi bunday keskin qirra hisoblanmaydi va tizim esa $x > x_1$ sohada ishlashi mumkin, faqatgina uning rejimi ruxsat etilganidan ancha pastga tushib ketadi. Tegishlilik funksiyasining (rasmda 2) turi bu shartlarga ko'proq mos keladi. Noaniqlik darajasi $\mu_1(x)$ cheklanish yoki maqsadlarga qat'iy talab qo'yadi.

Murakkab tizimlarni nazorat qilish va boshqarishning ko'pgina masalalarida har bir vaqt momenti uchun aniq optimal yechimni olishning zarurati yo'q, chunki tizimdagi tushunmovchiliklarni bartaraf etish va axborot to'plashga ketadigan xarajatlar kutilayotgan samaradan oshib ketishi mumkin. Shuning uchun masalaning aniq tarkibida yechim noaniqligining berilgan darajasini ta'minlash talab etiladi.

Masalalarni yechishda aniqlanmaganlik omilini e'tiborga olish, ko'p hollarda qaror qabul qilish usullari, modellarning boshlang'ich ma'lumotlari va parametrlarini o'zgartirib yuboradi va optimallik yechimlari va masala yechimlarini bir xilda tushunmaslikka olib keladi.

Aniqlanmaganlikning mavjudligi, quyidagi determinantlanmagan parametrlar kabi aks ettirilgan modellarda bevosita e'tiborga olingan bo'lishi mumkin:

- ma'lum ehtimolli tavsiflarga ega tasodifiy kattaliklar;
- tegishlilik funksiyalari bilan berilgan noaniq kattaliklar;
- qayd etilgan o'zgarish oraliqlariga ega bo'lgan intervalli kattaliklar.

Bunda masalalarning yechimlari stoxastik, noaniq yoki intervalli dasturlash usullari yordamida topiladi.

Ko'pincha, qaror qabul qilish jarayonida modellarning ba'zi o'zgaruvchilari va parametrlari uchun faqatgina ularning o'zgarish diapazonlari ($\bar{x}$ va $\underline{x}$ kabi maksimal va minimal qiymatlari) va haqiqatnamo baholari x^* beriladi.

Taklif etilgan misolda, neft zaxirasi baholanadi va undagi o'zgaruvchilar $\underline{x} \leq x \leq x^*$ va $x^* \leq x \leq \bar{x}$ oraliqda chiziqli o'zgaruvchan va $f(x)$ uchburchakli ehtimollik taqsimlanish zichligi funksiyasi bilan berilgan tasodifiy kattalik kabi tavsiflanadi. Unda

ixtiyoriy x nuqtada ehtimollikning taqsimlanish zichligi funksiyasi $f(x)$ ning qiymati quyidagi formula bilan aniqlanishi mumkin:

$$\underline{x} \leq x \leq x^* \text{ bo'lganda } f(x) = \frac{2(x - \underline{x})}{(\underline{x} - \underline{x})(x^* - \underline{x})},$$

$$x^* < x \leq \bar{x} \text{ bo'lganda } f(x) = \frac{2(\bar{x} - x)}{(\bar{x} - \underline{x})(x^* - \bar{x})}.$$

Aniqlanmagan kattaliklarning bunday tavsiflarini mavjudligi, keyinchalik modellar yoki alohida formulalar yordamida ixtiyoriy baholanuvchi parametr uchun ehtimollikning taqsimlanganlik zichligi funksiyasi $f(y)$ ni Monte-Karlo usuli orqali hisoblash imkonini beradi.

Umuman olganda noaniq to'plamlar asosidagi algoritmlar turli doiradagi quyidagi masalalarni yechish amaliyotida o'zini ko'rsata oldi:

- qatlamlardagi ko'mir zaxiralarini ko'p qatlamli baholashning matematik modelini ishlab chiqish;
- murakkab tizimlarni tashxislash uchun noaniq tenglamalar va noaniq mantiq elementlarini qo'llash (AES dinamikasini tahlil qilishda Thermix-2D dasturlar paketi);
- dengiz geologik-geofizik majmualari harakatlanishining nostatsionar jarayonlarini boshqarish;
- dasturiy vositalarning sifat ko'rsatkichlarini baholash;
- texnologik jihozlarning ishini boshqarish (“Teksakokemiklz” va “Ekssonkemiklz” firmalari);
- neft va gaz konlari, ularni qazib chiqarish va uzatish tizimlarini nazorat qilish va boshqarish;
- dispetcherlarning xulqini modellashtirish, bunda xulq lingvistik o'zgaruvchilar bilan yaxshi tavsiflanadi, qabul qilingan algoritmlardan og'ish esa noaniq algoritmlar yordamida yaxshi ifodalanadi.

Ehtimolli modellarni qat'iy qo'llash uchun axborotlarning yetishmasligi va tasodifiy kattaliklar bilan ishlashning qiyinligi, shuningdek interval kattaliklar bilan ishlash noaniq to'plamlar nazariyasi (NTN) doirasini muhim qilib ko'rsatadi. Noaniq maqsadlar, cheklanishlar, koeffitsiyentlar, boshlang'ich va chegaraviy shartlarning

mavjudligi dasturli noaniq qarorlarning muvofiqligiga NTN qo'llash imkonini berishi mumkin.

Odatda amaliyotda parametrlarning nuqtali baholari bilan bir qatorda noaniq kattaliklar qabul qiladigan maksimum va minimum qiymatlarni ham ko'rsatish imkoniyati bor bo'lib, berilgan oraliq ichidagi har bir qiymatni tavsiflovchi funksiyani qurish imkoniyati ham bo'ladi.

Zarurat bo'lganda, A dan olingan oddiy (aniq) ostto'plamlar uchun F -to'plam shaklidan foydalanish mumkin. Buni e'tiborga olgan holda asosiy to'plam x va bo'sh to'plam θ quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$X = \langle 1, X \rangle, \theta = \langle 0, \theta \rangle.$$

Noaniq to'plam tashuvchilari usti olib boriladigan amallar uchun intervalli tahlil (intervalli arifmetika) ning algebralik amallaridan foydalanish mumkin. Intervalli tahlil, faqatgina intervalli qiymatlari berilgan kattalikli noaniqliklar sharoitida ishlash uchun mo'ljallangan:

$$L = [a, b] = \{x | x \in X, a \leq x \leq b\}.$$

Intervalli aniqlanmaganlik shunchaki noaniq to'plam ko'rinishida aks ettiriladi:

$$A = \langle 1, \sigma(A) \rangle.$$

Noaniqlik va tasodifiylik o'rtasidagi farq, noaniq to'plamlarning matematik usullari umuman ehtimollar nazariyasining usullariga o'xshamasligiga olib keladi. Ular ko'p hollarda sodda bo'lib, ehtimolliklar nazariyasidagi ehtimolliklari o'lchamlari tushunchasi kabi qaror qabul qilish jarayonida ehtimollar nazariyasi apparatini qo'llashni nazarda tutadi.

Noaniq shaklda yechimni olish qaror qabul qiluvchi shaxsgacha ma'lumot berish imkonini beradi va agar muammoning noaniq ifodalanishga rozi bo'lsa, u masalaning noaniq yechimi bilan qanoatlanishi kerak.

5.4. Interval noaniqlik sharoitida qaror qabul qilish

An'anaviy qaror qabul qilish nazariyasi doimo soddalashtiruvchi qo'yimlarga asoslanadi, foydalanuvchi ikki muqobilga nisbatan ulardan qaysi biri afzalligini yecha oladi. Real jarayonda, muqobillar yo taxminiy yo noaniq bo'lganida foydalanuvchi yo umuman

muqobillardan birini tanlay olmaydi yo ulardan faqat "sababli chunki" sini tanlaydi [62].

Bundan kelib chiqadigan yechim, sog'lom fikrga asoslangan holda hissiy tanlanadi [33].

Dastlab biz an'anaviy qaror qabul qilishdagi asosiy qo'yimlarni ko'rib chiqamiz. Keyin foydalanuvchi ikki taxminiy muqobildan birini tanlash mumkin bo'lgan savolga javob beradigan holatga e'tibor qaratamiz. Bularning barchasi interval aniqlanmaganlikka olib boradi.

Faraz qilamiz ikki muqobil A va A'' ning har biri uchun foydalanuvchi quyidagilarni aytishi mumkin bo'lsin:

- birinchi muqobil yaxshi (buni quyidagicha belgilaymiz $A'' < A'$);
- ikkinchi muqobil yaxshi (buni quyidagicha belgilaymiz $A' < A''$);
- foydalanuvchi uchun ikkala muqobil ham teng kuchli (buni $A' = A''$ kabi belgilaymiz).

Yuqorida keltirilgan qo'yimlardan foydalanib, turli muqobillarning jozibadorligini tavsiflash uchun tabiiy sonli shkalani shakllantirish mumkin, aynan: juda yomon va juda yaxshi muqobillarni tanlaymiz A_1 , qolgan barcha muqobillar $\vee$ dan yaxshi, lekin A_1 dan yomon bo'lmazligi kerak. Unda har bir ehtimollik $p \in [0,1]$ uchun $\vee$ ehtimolli lotereya $\vee$ ni hosil qilamiz va qolganlari uchun qolgan ehtimollik $1-p$ bo'ladi.

$p=0$ bo'lganda bu lotereya shunchaki muqobil A_0 bilan mos tushadi: $L(0) = A_0$. Musbat natija ehtimoli qanchalik yuqori bo'lsa, natija shunchalik yaxshi bo'ladi, ya'ni $L(p') < L(p'')$. Nihoyat, $p=1$ uchun lotereya muqobil A_1 bilan mos tushadi: $L(1) = A_1$. Shunday qilib, muqobil mongoton A_1 dan A_0 ga o'tuvchi uzluksiz shkalani hosil qilamiz.

Faraz qilamiz, muqobillarning ko'pchiligi A_0 dan yaxshi, ammo A_1 dan yomon bo'lsin: $A_0 < A < A_1$, $\vee$ va $A_1 = L(1)$ bo'lganligi sababli, bunday muqobillar uchun $L(0) < A < L(1)$ ni hosil qilamiz. Endi har ikki muqobilni solishtirish mumkin deb faraz qilamiz. Demak, har bir muqobil A uchun $L(p) = A$ bo'ladigan bir qiymat p (eng katta) mavjud bo'lishi mumkin. Qolganlari uchun $\vee$ yoki $L(p) > A$ ni olamiz. Monotonlik va tranzitivlikni e'tiborga olgan holda, agar $L(p) < A$ bo'lsa, unda barcha uchun $p' \leq p$; shuningdek, agar $A < L(p)$ bo'lsa,

unda barchasi uchun $p' > p$ bo'lishini e'tirof etish mumkin. Shunday qilib, $L(p) < A$ bo'ladigan barcha to'plamlar supremumi (=eng kichik yuqori chegara) $A < L(p)$ bo'ladigan barcha to'plamlarning infimumi (=eng katta quyi chegara) ga mos tushadi. Buning uchun $L(p) < A$ va $A < L(p)$ larni hosil qilish mumkin. Bu kattalik *muqobil* A ning *foydaliligi* deb ataladi.

Ekvivalent $L(u(A))$ bo'lishi, lekin $A \neq L(u(A))$ bo'lishi ham mumkin. Biroq $\vee$ va $\vee$ o'rtasidagi farq juda kichik: haqiqatan, $\varepsilon > 0$ ning qanchalik kichikligidan, $L(u(A) - \varepsilon) < A < L(u(A) + \varepsilon)$ ni hosil qilish mumkin. Bunda deyarli ekvivalentlik $\equiv$ bilan belgilanadi, ya'ni $A \equiv L(u(A))$.

Foydalilik kattaligi qanday topiladi? Yuqorida keltirilgan ta'rif nazariy bo'lib, foydalilikni haqiqatda quyidagi iteratsion qidirish amali orqali tez topilishi mumkin.

Biz uchun $L(u(A)) \equiv A$ bo'ladigan ehtimollikni topish zarur. Bu amalning har bir bosqichida $L(\underline{u}) < A < L(\bar{u})$ bo'ladigan kattalikni hosil qilamiz. Dastlab, $|\bar{u} - \underline{u}| = 1$ bo'ladigan $\vee$ va $\bar{u} = 1$ ni hosil qilamiz.

Qidirilayotgan ehtimollik $u(A)$ ni topish uchun o'rtadagi nuqtani hisoblaymiz va muqobilni mos lotereya $L(\bar{u})$ bilan solishtiramiz. Biz qabul qilgan qo'yimlarga ko'ra, bu solishtirishdan uch xil natija olish mumkin:

- agar foydalanuvchi $L(\bar{u}) < A$ deb hisoblasa, unda oldingi quyi chegarani yangi $\bar{p}$ ga almashtirish mumkin;
- agar foydalanuvchi $A < L(\bar{u})$ deb hisoblasa, unda biz dastlabki yuqori chegarani yangi $\bar{u}$ ga almashtirishga haqli bo'lamiz;
- nihoyat, agar $A = L(\bar{u})$ bo'lsa, unda bu qidirilayotgan ehtimollik $u(A)$ topilganligini bildiradi.

Uchinchi holda $u(A)$ ni topganligimiz sababli, qidirish amali to'xtatiladi. Birinchi ikki holatda chegaralar orasidagi yangi masofa dastlabki masofaning yarmiga teng. Bu amalni qo'llab, har gal $|\bar{u} - \underline{u}| \leq 2^{-k}$ bo'ladigan kattalik $\bar{u}$ ni olamiz. Qidirilayotgan kattalik $[u, \bar{u}]$ intervalda yotishiga ishonch hosil qilish kerak, bu intervalning o'rta nuqtasi $\bar{u}$, foydalilik $u(A)$ ning qidirilayotgan qiymatiga $2^{-(k+1)}$ -yaqinlashish hisoblanadi.

Boshqacha soʻz bilan aytganda, ixtiyoriy berilgan aniqlik bilan muqobil a ning foydaliligiga mos yaqinlashishni topishimiz mumkin.

Foydalilik kattaligidan kelib chiqib, qaror qabul qilish. Foydaliliklari $u(A')$ va $u(A'')$ ma'lum bo'lgan A' yoki A'' muqobillardan qaysi birini tanlash kerak? Ta'rifga ko'ra foydalilik $A' = L(u(A'))$ va $A'' = L(u(A''))$. $L(p') < L(p'')$ bo'lganligi sababli, faqat $p' < p''$ shart bajarilganda, agar $u(A') > u(A'')$ bo'lsa, muqobil A' muqobil A'' dan afzal deb xulosa qilish mumkin. Boshqacha soʻz bilan aytganda, doimo foydalilik imkoniyati yuqori bo'lgan muqobilni tanlashga to'g'ri keladi.

Harakatning foydaliligi qanday baholanadi? Nima uchun aynan kutilgan foydalilik? Yuqorida keltirilgan konsepsiyalarni qaror qabul qilishga qo'llash uchun turli harakatlarning foydaliligini hisoblashga to'g'ri keladi. Odatda har bir harakatga $s_1, \dots, s_n$ holatlardagi ma'lum natijalar mos keladi. Qisman bu $p_1, \dots, p_n$ ehtimolliklarni $\sum_{i=1}^n p_i$ natijalar kabi baholash mumkin. $u(s_1), \dots, u(s_n)$ – bu $s_1, \dots, s_n$ vaziyatlarning foydaliligi bo'lsin. Unda bu harakatlarning foydaliligi qanday?

Foydalilikning ta'rifiga ko'ra har bir vaziyat s_i , biz $u(s_i)$ ehtimollik bilan A_i ni, qolgan $1 - u(s_i)$ ehtimollik bilan A_0 ni oladigan lotereya $L(u(s_i))$ ga ekvivalentdir ($\equiv$). Shunday qilib, biz p_i ehtimollik bilan s_i ni oladigan harakat kompleks lotereyaga ekvivalent bo'lib, unda: dastlab s_i vaziyatlardan birini p_i ehtimollik bilan tanlaymiz: $P(s_i) = p_i$; keyin (tanlangan vaziyat s_i ga qarab), $u(s_i)$ ehtimollik bilan A_i ni va $(1 - u(s_i))$ ehtimollik bilan A_0 ni olamiz: $P(A_i | s_i) = u(s_i)$ va $P(A_0 | s_i) = 1 - u(s_i)$.

Biz bu majmuaviy lotereyada yo muqobil A_I ga o'tamiz yo muqobil A_0 ga. A_I ni olish ehtimolligini quyidagicha hisoblash mumkin:

$$P(A_I) = \sum_{i=1}^n P(A_i | s_i) \cdot P(s_i) = \sum_{i=1}^n u(s_i) \cdot p_i$$

Demak, boshlang'ich harakat lotereyaga ekvivalent bo'lganda, A_I ni $\sum_{i=1}^n p_i \cdot u(s_i)$ ehtimollik bilan va A_0 ni qolgan ehtimollik bilan hosil qilamiz. Foydalilik ta'rifiga ko'ra bu, bizning harakatimiz foydaliligi quyidagicha tengligini bildiradi: $\sum_{i=1}^n p_i \cdot u(s_i)$.

Ehtimollar nazariyasida bu yig'indi $u(s_i)$ foydalilikning kutilgan kattaligi sifatida ma'lum. Demak, har bir harakatning foydaliligi uning kutilgan foydaliligiga teng deb xulosa qilish mumkin; boshqacha aytganda, bir qancha harakatlar ichidan kutilgan foydalilik kattaligi eng kattasini tanlash lozim.

Foydalilikning bir qiymatli emasligi. Foydalilikning yuqorida keltirilgan ta'rifi ikkita muqobil A_0 va A_1 dan birini tanlash bog'liq. Agar biz turli muqobillar A'_0 va A' ni tanlasak, nima bo'ladi? Foydalilik qanday o'zgaradi? Boshqacha aytganda, agar $A = A_0$ va A_1 bilan belgilanadigan shkaladagi foydaliligi $u(A)$ bo'lgan muqobil bo'lsa, unda uning A'_0 va A'_1 bilan aniqlanadigan shkaladagi foydaliligi $u'(A)$ qanday bo'ladi?

Dastlab, $A'_0 < A_0 < A_1 < A'_1$ bo'ladigan holni ko'rib chiqamiz. Bu yerda A_0 ning qiymati A'_0 va A'_1 lar o'rtasida yotganligi sababli, ularning har biri uchun A_0 lotereya $L'(u'(A_0))$ ga ekvivalent bo'ladigan ehtimollik $u'(A'_0)$ mavjud. Keyin $u'(A_0)$ ehtimolli A_1 ni va qolgan $(1 - u'(A_0))$ ehtimolli A'_0 ni hosil qilamiz. O'xshash tarzda, A_1 lotereya $L'(u'(A_1))$ ga ekvivalent bo'lgan ehtimollik $u'(A_1)$ va qolgan $1 - u'(A_1)$ ehtimolli A'_0 mavjud.

Foydalilik ta'rifiga ko'ra, boshlang'ich muqobil A lotereyaga ekvivalent bo'lib, unda biz $u(A)$ ehtimollik bilan A_1 ni, qolgan $(1 - u(A))$ ehtimollik bilan A_0 ni hosil qilamiz. Bu yerda A_1 lotereya $L'(u'(A_1))$ ga, A_0 esa lotereya $L'(u'(A_0))$ ga ekvivalent. Demak, muqobil A quyidagilar bajariladigan lotereyaga ekvivalent:

- dastlab, $u(A)$ ehtimollik bilan A_1 va $1 - u(A)$ ehtimollik bilan A_0 ni tanlaymiz;
- keyin A_1 ni tanlashdan kelib chiqqan holda, $u'(A_1)$ ehtimollik bilan A'_1 ni va qolgan $(1 - u'(A_1))$ ehtimollik bilan A'_0 ni olamiz.

Bu kompleks lotereyada yo muqobil A'_1 ga yo muqobil A' ga kelamiz. A'_1 ni hosil qilish ehtimolligi $u'(A) = P(A'_1)$ ni ehtimollar formulasidan aniqlash mumkin:

$$\begin{aligned} u'(A) &= P(A'_1) = P(A'_1 | A_1) \cdot P(A_1) + P(A'_1 | A_0) \cdot P(A_0) = \\ &= u'(A_1) \cdot u(A) + u(A_0) \cdot (1 - u(A)) = \\ &= u(A) \cdot (u(A_1) - u(A_0)) + u(A_0). \end{aligned}$$

Demak, boshlang'ich muqobil A , $u'(A)=u(A) \cdot (u'(A_1) - -u'(A_0)) + u'(A_0)$ ehtimollik bilan A_1 olinadigan lotereyaga ekvivalent ekan. Foydalilik ta'rifiga ko'ra muqobil A ning foydaliligi $u'(A)$, muqobillar A_0 va A_1 bilan aniqlanadigan shkalada quyidagiga teng: $u'(A)=u(A) \cdot (u'(A_1) - u'(A_0)) + u'(A_0)$.

Shunday qilib, $A_0 < A < A_1 < A_1$ bo'lganda, muqobillar A_0 va A_1 ni chiziqli transformatsiya usuli bilan yangi foydalilik qiymatlariga almashtiramiz. Boshqa hollarda, $A_0' < A_0$, A_1' va A_1 , $A_1' < A''$ uchun yordamchi hodisalar A_0' va A_1' dan foydalanish mumkin.

Ushbu holda, $u(A)$ dan $u''(A)$ ga transformatsiyalash chiziqli xarakterga ega va $u'(A)$ dan $u''(A)$ ga transformatsiya ham xuddi shunday. Chiziqli transformatsiyalar $u(A) \rightarrow u''(A)$ va $u''(A) \rightarrow u'(A)$ ni birlashtirib, transformatsiya $u(A) \rightarrow u'(A)$ ham chiziqli degan xulosaga kelish mumkin. Demak, foydalilik $a > 0$ bo'lgandagi chiziqli transformatsiya $u' = a \cdot u + b$ bilan aniqlanadi.

Tushuntirish. Bu holda muqobillar A_0 va A_1 tanlanib, muqobil A uchun $A_0 < A < A_1$ bo'ladigan foydalilik miqdori $u(A)$ aniqlandi. Bunday muqobillar uchun foydalilik kattaligi doimo $[0,1]$ intervaldan olingan son hisoblanadi.

Olingan foydalilik kattaligi $u(A)$ ixtiyoriy moddiy son bo'lishi mumkin.

Subyektiv ehtimollik. Kutilgan foydalilikdan kelib chiqib, turli natijalarni p_i ehtimollik bilan bilamiz deb faraz qilamiz. Amaliyotda ko'pincha bunday ehtimolliklarni bilmaymiz va faqatgina ularning subyektiv baholarini taxmin qilamiz xolos. Har bir hodisa E uchun uning subyektiv ehtimolligini baholash tabiiy bo'lib, bu lotereya $\ell(E)$ ni solishtirish yo'li bilan amalga oshiriladi. Agar E hodisa sodir bo'lsa, mukofot (masalan, \$1) olamiz, sodir bo'lmasa 0, bu lotereyani ehtimolligi p bo'lgan $\ell(p)$ lotereya bilan solishtiramiz. $\ell(E)$ (deyarli) $\ell(ps(E))$ ga ekvivalent bo'lgan kattalik $ps(E)$ ni hosil qilamiz. Bunda $\varepsilon > 0$ uchun $\ell(ps(E) - \varepsilon) < \ell(E) < \ell(ps(E) + \varepsilon)$. Bu $ps(E)$ kattalik E hodisaning subyektiv ehtimolligi deyiladi.

Interval kattalik nuqtai-nazaridan foydalilik. An'anaviy qaror qabul qilish yondashuviga o'xshash tarzda, ikki $A_0 < A_1$ muqobillarni tanlab, A_0 dan katta A_1 dan kichik bo'lgan har bir muqobil A ni lotereya $L(p)$ bilan solishtirish mumkin. Bu yerdagi asosiy farq

shundaki, $L(p) < A$ bo'ladigan barcha p kattaliklarning supremumi $u(A)$, $A < L(p)$ bo'ladigan barcha p kattaliklarning infimumi $u(A)$ dan kichik. Demak, har bir A muqobilning foydaligi $u(A)$ ning alohida kattaliklari o'rnida *interval* $[u(A), u(A)]$ mavjud ekan:

- agar $p < u(A)$ bo'lsa, unda $L(p) < A$;
- agar $p > u(A)$ bo'lsa, unda $A < L(p)$;
- agar $u(A) < p < u(A)$ bo'lsa, unda $A || L(p)$.

Bu intervalni muqobil A ning foydaliligi deb ataymiz.

Interval kattalikli subyektiv ehtimollik. Hodisa E ning ehtimolligini baholashga uringanimizda, alohida kattalik $ps(E)$ ni hosil qilmaymiz, aksincha ehtimollikning kattaliklari intervali $[ps(E), ps(E)]$ ni hosil qilamiz.

Noaniqlik sharoitlarida qaror qabul qilishning zarurligi. An'anaviy yondashuvda har bir muqobil A uchun uning foydaliligi $u(A)$ son hosil qilinadi. Keyin, agar $u(A') > u(A'')$ bo'lsa, muqobil A' muqobil A'' dan afzal hisoblanadi.

Interval aniqlanmaganlik sharoitida qaror qanday qabul qilinadi? Gurvitsning optimizm-pessimizm mezonidan foydalanamiz. Masalaning bunday yechimi birinchi marta Nobel mukofotining bo'lajak sovrindori Gurvits tomonidan ko'rib chiqilgan edi.

Ilgari eslatib o'tganimizdek, foydalilik chiziqli transformatsiya moduli $u' = a \cdot u + b$ orqali aniqlanadi. Shuning uchun. Qaysi shkaladan foydalanishdan qat'iy nazar, ekvivalent foydalilik har bir u uchun

$$u(a \cdot \underline{u} + b, a \cdot \bar{u} + b) = a \cdot u(\underline{u}, \bar{u}) + b.$$

Xususan, u va $\bar{u} = 1$ uchun, quyidagini olamiz:

$$u(b, a + b) = a \cdot u(0, 1) + b = a \cdot \alpha_H + b.$$

Demak, har bir u uchun $b = \underline{u}$ ni hosil qilish mumkin:

$$u(\underline{u}, \bar{u}) = \underline{u} + \alpha_H \cdot (\bar{u} - \underline{u}) = \alpha_H \cdot \bar{u} + (1 - \alpha_H) \cdot \underline{u}.$$

Gurvitsning *optimizm-pessimizm mezoni* deb ataluvchi bu ifoda quyidagilarni bildiradi:

- $\alpha_H = 1$ bo'lganda yechim, $u = \bar{u}$ kattaliklarning eng optimistidan kelib chiqib tanlanadi;
- $\alpha_H = 0$ bo'lganda yechim, $u = \underline{u}$ kattaliklarning eng pessimistidan kelib chiqib tanlanadi;

• Oraliq kattaliklar $\alpha_H \in (0,1)$ uchun optimistik va pessimistik kattaliklarning o'rtacha qiymatini olamiz.

Endi faraz qilamiz, bizga foydalilikning intervalli bo'lishi mumkin bo'lgan kattaliklari va ehtimollikning intervalli bo'lishi mumkin bo'lgan kattaliklari ma'lum bo'lsin. Bu vaziyatdagi kutilgan foydalilik ifodasi – ikkala o'zgaruvchi uchun ham o'suvchi funksiya bo'lib:

• bu vaziyatning eng ko'p mumkin bo'lgan foydaliligiga, eng katta u va $p = \bar{p}$ bo'lganda erishiladi;

• vaziyatning eng kam mumkin bo'lgan foydaliligiga, eng kichik u va $p = \underline{p}$ bo'lganda erishiladi.

Boshqacha so'z bilan aytganda, foydalilikning olingan yig'indisi $\bar{p}$ dan $\underline{p}$ gacha variatsiyalanadi.

Agar bizga vaziyatning strukturasi noma'lum bo'lsa va biz faqatgina natijalovchi foydalilik $[\underline{p} \cdot \underline{u}, \bar{p} \cdot \bar{u}]$ intervalda yotishini bilsak, unda Gurvits mezoniga asosan ekvivalent foydalilik u_α , $u_\alpha = \alpha_H \cdot \bar{p} \cdot \bar{u} + (1 - \alpha_H) \cdot \underline{p} \cdot \underline{u}$ ga teng (α – noma'lum) bo'ladi. Quyidagi o'rinli ekanligini ko'rish mumkin:

$$\begin{aligned} u_\alpha - u_\alpha &= \alpha_H \cdot \bar{p} \cdot \bar{u} + (1 - \alpha_H) \cdot \underline{p} \cdot \underline{u} - \alpha_H^2 \cdot \bar{p} \cdot \bar{u} - \alpha_H \cdot (1 - \alpha_H) \cdot (\bar{p} \cdot \bar{u} + \underline{p} \cdot \underline{u}) - \\ &= (1 - \alpha_H)^2 \cdot \underline{p} \cdot \underline{u} = \alpha_H \cdot (1 - \alpha_H) \cdot \bar{p} \cdot \bar{u} + \alpha_H \cdot (1 - \alpha_H) \cdot \underline{p} \cdot \underline{u} - \alpha_H \cdot (1 - \alpha_H) \times \\ &\quad (\bar{p} \cdot \bar{u} + \underline{p} \cdot \underline{u}) = \alpha_H \cdot (1 - \alpha_H) \cdot (\bar{p} - \underline{p}) \cdot (\bar{u} - \underline{u}). \end{aligned}$$

Bu farq har doim musbat, ya'ni qo'shimcha bilim vaziyatning foydaliligini kamaytiradi (Ekleziast kitobida keltirilgan: «ortiqcha donolik ko'p qayg'u keltiradi» fikri shu emasmi?).

Intervallardan umumiy to'plamlarga. Ideal holatda bizga vaziyat s to'la ravshan bo'lsin; uning foydaliligi $u(s)$ ni aniqlashimiz mumkin. Reallikda esa noaniq bilimlarga tayanamiz, shuning uchun ham birlik s vaziyatlar o'rniga *vaziyatlar to'plami* S ga ega bo'lamiz. Demak, foydalilikning birlik qiymati o'rniga shu ma'lumki, haqiqiy foydalilik to'plam $U = \{u(s) \mid s \in S\}$ ga tegishli ekan. Agar bu to'plam $[\underline{u}, \bar{u}]$ interval hisoblansa, ekvivalent foydalilik $\alpha_H \cdot \bar{u} + (1 - \alpha_H) \cdot \underline{u}$ ni olish uchun yuqoridagi argumentlardan foydalanmiz.

Agar bu genetik to'plam bo'lsachi? Masalan, ikki-nuqtali to'plam $U = \{u, \bar{u}\}$. Unda ekvivalent foydalilik qanday bo'ladi?

To'plam qanday supremum $\bar{u}$ va infimum $\underline{u}$ lardan tuzilganligi o'rganiladi. Xususan, har bir ehtimollik uchun kutilgan

foydaliligi $p \cdot u + (1 - p) \cdot u$ ga teng bo'lgan taqsimlanish bo'lish mumkin. Bu taqsimlanish 0 dan 1 ga o'tganda, bu kattaliklar butun $[u, \bar{u}]$ intervalni to'ldiradi.

Demak, bu intervaldan olingan har bir kattalik – bu kutilgan foydalilikning mumkin bo'lgan qiymati. Kutilgan foydalilikning qiymatlari bu intervalga kirganda. Ularning qanday taqsimlanishga ega ekanliklari ahamiyatsizdir. Shunday qilib, foydalilikning barcha qiymatlari to'plami – bu intervalning vazni bo'lganligi uchun ekvivalent foydalilik $\alpha_H \cdot \bar{u} + (1 - \alpha_H) \cdot u$ ga teng bo'ladi.

Agar to'plamda infimum va/yoki supremum mavjud bo'lmasa, demak, to'plam nuqtalardan iborat va u eng ko'p darajada ularga intiladi. Shunday qilib, olingan foydalilik qiymatlarining to'plami intervalga yaqin va shuning uchun ham ekvivalent foydalilikni $u_0 = \alpha_H \cdot \bar{u} + (1 - \alpha_H) \cdot u$ ga yaqin, ya'ni u u_0 qiymatga mos keladi deb hisoblash maqsadga muvofiq.

5.5. Qaror qabul qilishga imkoniyatlar nazariyasining qo'llanilishi

Inson xulqidagi psixologik holatlar va og'ishlar ustida olib borilgan ishlar bir necha o'n yillarga cho'zilib ketdi. 1970-yillarda Nobel mukofoti sovrindori Deniel Kaneman (Daniel Kahneman) va Eymos Tverski (Amos Tversky) lar bu ishlarning ro'yxatini to'ldirishdi va tizimlashtirib, yangi akademik fan – xulqiy moliya nazariyasiga asos solishdi. Mualliflar iqtisodchilar oldiga ideal jarayonlarga emas, tanlash jarayonida insonlar tomonidan ishlatiladigan reallikka asoslanish masalasini qo'yishdi. Ular tomonidan berilgan savollar orasida “Samarali bozorlar nazariyasi” va “ratsional model” talablariga javob beradigan holatdagi miya topiladimi?” degan savol yetakchi ahamiyat kasb etdi. Tadqiqotchilar bu qimmatli savolni, inson xulqi quriladigan qator standart noratsional afzalliklar va moyilliklarni yagona imkoniyatlar nazariyasiga (Prospect Theory) [60,61,63] keltirishgandan so'ng berishdi.

Uni ko'rib chiqishdan oldin, zamonaviy iqtisodiy fanlarning asosida yotgan, fon Neyman va Morgenshtern tomonidan ishlab chiqilgan kutilgan foydalilik nazariyasi (Expected Utility Theory) ning asosiy qoidalarini tahlil qilib chiqishga to'g'ri keladi. Kaneman va

Tverskilar o'zlarining nazariyalarini bayon etishda inson xulqidagi anomaliyalarni demonstratsiya qilishadi.

Kutilgan foydaliliklar nazariyasida xavf tushunchasiga nisbatan qaror qabul qilish imkoniyatlar (prospect) orasidan tanlashga asoslanadi.

Kutilgan foydaliliklar nazariyasi quyidagi asosiy uch tamoyillarga asoslanib, imkoniyatlar orasidan tanlaydi:

1. Kutish: $U(x_1, p\{;\dots; x_n, p_n\} = p\{x \text{ va } (x) + \dots + p_n\}x \text{ va } (x_n)$, bunda U foydalilikni (utility) bildiradi. Bunda berilgan imkoniyatlarning umumiy foydaliligi mumkin bo'lgan natijalarning kutilgan foydalilari yig'indisidan tashkil topadi.

2. Faollarni integratsiyalash: agar $U(w+x_j, r\{;\dots; w+x_n, r\}) > U(w)$ bo'lsa, foydalilik darajasi $(x_j, r\{;\dots; x_n, r_n)$ bo'lgan faolga faol w ni qo'shishi mumkin. Shunday qilib, agar yig'indi variantning foydaliligi joriy faolnikidan ortiq bo'lsa, mavjud faolga yana yangi faol qo'shiladi. Bundan quyidagi muhim xulosa kelib chiqadi: ikki elementni qo'shishning mutloq natijasi muhim, mumkin bo'lgan o'zgarishlar (yo'qotish yoki zarar) emas.

3. Insonlarni xavfga qaytarish, samaradorlik mezonini egilish funksiyasiga aylantirish. Xavfga qaytish qobiliyati insonlarning eng yaxshi umumlashtiruvchi afzallikdir.

Kutilgan foydalilikning bu xulosasi, portfelni boshqarishning zamonaviy nazariyasini asosiy tamoyiliga o'zgartirilgan bo'lib, unda katta xavf evaziga ko'proq foyda olish aks ettiriladi.

Kutilgan foydalilik nazariyasi va imkoniyatlar nazariyasini yaratish bo'yicha maqola nashr etilgandan bir yildan ko'proq vaqt o'tib, inson xulqining ratsionalligini inkor etuvchi ko'pgina kuzatish natijalari to'planib qoldi. Kaneman va Tverskilar ratsionallikni inkor etuvchi bir qancha anomaliyalarga e'tiborlarini qaratishdi. Quyida ulardan ba'zilarini ko'rib o'tamiz.

Ulardan biri savolni qo'yishning samarasi (framing) dan tashkil topib, u natijalarni ba'zi neytral natijalar bilan solishtirgandan so'ng ijobiy yoki salbiy ekanligi aniqlanishidan iborat.

Savolni to'g'ri qo'yilishini muhimligini quyidagi latifa aks ettiradi. Yosh ruhoniylar bosh ruhoniylarga murojaat qildi: ibodat vaqtida cheksa bo'ladimi? «Albatta, yo'q», – javob berdi bosh ruhoniylar. Qo'shni rutbada turgan ruhoniylar buni eshitib muammoni bartaraf etmoqchi bo'ldi va u bosh ruhoniylar oldiga kelib so'radi: «Avliyo ota,

men chekish vaqtida ibodat qilsam bo'ladimi?». Kaneman va Tverskilar savolni qo'yilish samarasini, qator tajribalar asosida aks ettirishgan.

Demak, qanashchilardan birining oldiga ikki variantdan birini tanlash imkoniyati turibdi: a) 600 kishidan 200 kishini qattiq kasallikdan tirik qolishi kafolatlangan; b) uchdan bir ehtimollik bilan barcha tirik qolishi mumkin, ammo uchdan ikki ehtimollik bilan hamma o'lishi mumkin. So'rov o'tkazilganlarning 72 % birinchi varaintni tanlashdi, lekin uning ehtimolligi ikkinchi variant ehtimolligidan kichik edi.

Aniqlanganlikka bo'lgan moyillik samarasi (certainty bias) insonlarning turli vaziyatlarda qaror qabul qilishida nimani afzal bilishlarini o'zgacha aks ettiradi.

Ko'zguli aks ettirish samarasini aks ettirgan holda nimani afzal bilish holati teskari holatga o'zgarishi mumkin, masalan, yutish vaqtidagi xavfga bo'lgan salbiy munosabat. yutqazish vaqtida ijobiy munosabatga o'zgaradi.

Aniqlanganlikka bo'lgan moyillik samarasini (ko'zguli aks etirish samarasini e'tiborga olgan holda) quyidagicha ifodalash mumkin: insonlar foydani kafolatlovchi natijalar orasidan tanlash vaqtida aniqlanganlikni afzal ko'rishadi. Xuddi shunday ular yutqazish (zarar) vaqtida, hatto qo'shimcha xarajat ketish ehtimolligi juda kichik bo'lsa ham aniqlanganlikdan qochishadi. Birinchi misolga qaytamiz, ikkala boshlang'ich muqobildan ham savolning yangi variatsiyasini olish uchun bir xil ehtimollik bor. Almashtirish natijasida tanlov o'zgardi. Bu tanlov bizning fikrlashimizni muhim tashkil etuvchilaridan biri bo'lib, *izolyatsiya samarasi* deb ataladi. U ehtimollik qanday berilishiga qarab, tanlovning o'zgarishini bildiradi. Izolyatsiya samarasi ham kutilgan foydalilik nazariyasini inkor etadi.

Keltirilgan samaralarga asoslanib, Kaneman va Tverski, inson ongi solishtirish nuqtasiga ko'ra qiymatlilikni turlicha baholashga asoslanganligini tasdiqlashdi. Insonlar aniqlanmaganlikdan qochishmaydi, shunchaki ular yo'qotishlardan qochishadi. Masalan, biz 50 ga 50 imkon bilan yo 200 dollar yo hech nimalik bo'lishdan ko'ra 100 dollarlik bo'lishni afzal ko'ramiz. Xulosalarga tayanib, Kaneman va Tverski afzallikni e'tiborga oluvchi qiymatlilik funksiyasini taklif etishdi.

Bu funksiya yuqorida ko'rib o'tilgan ba'zi momentlarni aks ettiradi.

1. Yutuqdan «qoniqish», xuddi shunday ko'lamdagi yutqazishdan chekilgan «azob» dan kam. Texnik nuqtai nazardan aynan shu xossa *yo'qotishlardan qaytish* (lossa version) deb nomlanadi. Shu sababli, yutuq funksiyasining grafigi yutqazish funksiyasi grafigiga qaraganda qiyaroq.

2. Yutuq qanchalik katta bo'lsa, har keyingi o'sish birligidan olinadigan «qoniqish» shunchalik kichik bo'ladi. Xuddi shunday, zarar qanchalik katta bo'lsa, uning o'sishi unchalik kuchli «og'riq» keltirib chiqarmaydi. Hatto qo'shimcha xarajatlar bo'lishini anglagan holda ham insonlar ikkinchi yo'qotishda birinchisidan kamroq hayajonlanishadi.

3. Natijada, yutuq grafigi qavariq, yutqazishniki esa botiq bo'ladi.

4. Solishtirish nuqtasi (reference point) tahlil natijasiga kuchli ta'sir ko'rsatadi.

Demak, yuqorida keltirilgan samaralar (har biri o'zicha) kutilgan foydalilik nazariyasidan og'ishga bo'lgan moyillikni ifodaladi va natijada imkoniyatlar nazariyasi unga to'g'rilashlar kiritishni taklif etadi.

Shunday qilib, subyektiv omillarni kiritilganligi sababli, natijalar kutilgan foydalilik nazariyasida qabul qilingan obyektiv ehtimolliklardan og'ishi kuzatiladi. Masalan, talaba 5 dollar tejab, kalkulyatorni 15 dollarga emas 10 dollarga olish uchun vaqt sarflashga tayyor, ammo u kostyumni 125 dollarga emas, 120 dollarga olish uchun shuncha vaqt sarflamaydi. Boshqacha aytganda, ikkinchi variantda 5 dollar tejash unchalik sezilmaydigan qiymat. Shu sababli ham kam subyektiv qiymatga ega.

Boshqa misol – «rus ruletkasi». Ikki variant mavjud: bittasida miltiqda to'rtta o'q, ikkinchisda ikkita o'q bor. Qaysi vaziyatda Siz bitta o'qni olib tashlash uchun boringizni tikardingiz? Deyarli barcha so'ralganlar ikkinchi variantni tanlashadi. Chunki, nisbiy qiymat to'rt dan uchga tushishida, ikkidan birga tushishga qaraganda kamroq. Demak, kutilayotgan boylikning o'lchami emas, uning qanchaga o'zgarishi muhim degan xulosa kelib chiqadi.

Imkoniyatlarning matematik nazariyasi xuddi ehtimolliklarning muqobil matematik nazariyasi kabi – tasodifiylik fenomenining modeli.

Ehtimollar nazariyasi xuddi tasodiflik fenomenining matematik modeli kabi ikki muhim jihatiga ko'ra ham amaliy ham nazariy tadqiqotlarda ishlatiladi: birinchisi matematik jihat bo'lib, o'lcham va integrallar nazariyasiga asoslanadi, ikkinchisi empirik bo'lib, sodda, matematik asoslangan amallarga tayanadi.

Imkoniyatlarni modellashtirish, shak-shubhasiz, aniqlanmagan stoxastik obyektlarni tadqiq qilishga asoslangan deb hisoblash kerak emas. Aslida, imkoniyatlar modellari noaniq obyektlar uchun xarakterli, lekin stoxastik obyektlar uchun emas. Shu bilan birgalikda, imkoniyatlarni modellashtirish ehtimolli modellashtirishga xos bo'lgan sohalar (optimal yechish, o'lchash tajribalarining ma'lumotlarini bashoratlash, tahlil qilish va aks ettirish kabilar) uchun ham juda samarali bo'lib chiqdi.

5.6. Noaniq aniqlanmaganlik sharoitlarida qaror qabul qilish

5.6.1. Qaror qabul qilishning noaniq muhiti

Real dunyo qarorlarini qabul qilish masalalarida, biz kam holardagina aniq va ishonchli axborotga ega bo'lamiz. Aksincha, ochiq axborotlar aniqlanmagan, noaniq, qisman ishonchli va tabiiy tilda tavsiflanadi [64,66]. Tabiiy tilda tavsiflangan axborot, odatda qaror qabul qilinadigan noaniq muhitni hosil qiladi. Qaror qabul qilishning mavjud nazariyalari noaniq muhitda qo'llanilishga mo'ljallanmagan va o'z navbatida determinantlangan axborotlarni talab etadi.

Qaror qabul qilishga bo'lgan qator noaniq yondashuvlar mavjud (masalan, iyerarxiyalarni tahlil qilishning noaniq usuli [16,27], noaniq TOPSIS [16,33], noaniq Kutilgan foydalilik [6, 22, 23]). Biroq, bu – noaniq to'plamlar aniqlanmaganlik, noaniqlik va qisman ishonchlilikni hisobga olish uchun ishlatiladigan mavjud nazariyalarning matematik strukturalarini umumlashtirish. To'g'ridan-to'g'ri fazzifikatsiya (masalani noaniq mantiq bilan yechishga tayyorlash) ko'pincha nomuvofiqlik va xossalarni yo'qotishga olib keladi.

Ishlar [19, 29, 32, 35, 42, 46] foydalilikning noaniq funksiyalari modellari va noaniq aniqlanmaganlik sharoitda yechishga bag'ishlangan.

Ish [6] da afzalliklarning lingvistik munosabatlari (ALM) uchun aksiomalar noaniq natijalar bo'yicha lingvistik ehtimolliklarning taqsimlanishi atamalarida keltirilgan. Afsuski, bu yerda foydalilikning noaniq funksiyalarini mavjudligi isbotlanmagan edi.

Ish [35] – bu ANM larini aks ettirishga bag'ishlangan, ko'p rejali tadqiqot. Unda noaniq tartib aks ettirilgan foydalilikning funksiyasini mavjudligi isbotlangan. Biroq, bu ishda foydalilik funksiyasining o'zi noaniq bo'lmagan haqiqiy funksiya hisoblanadi.

Ish [22] da, ANM ning ba'zi standart sharoitlarida noaniq va sonli kutilgan foydalilikning mavjudligi va uzluksizlik shartlari bayon etilgan. Muallif tabiat holatlari haqidagi ehtimolli axborotlar holatida noaniq kutilgan foydalilikning mavjud bo'lishi haqidagi teoremlarni isbotlagan.

Tabiat holatlari haqidagi imkoniyatli axborotlarda qaror qabul qilishga bo'lgan yangi yondashuv [33] ishda ko'rib chiqilgan. [23] ishda ANM ni noaniq tasodifiy kattaliklar asosida noaniq kutilgan foydalilik orqali aks ettirish taklif etilgan. Biroq, foydalilikning noaniq funksiyasining mavjudligi isbotlanmagan. [29] ishda noaniq foydalilik. Shokening noaniq haqiqiy o'lchamli noaniq qiymatli integrali sifatida qaralgan. Ammo taklif etilgan noaniq foydalilik isbotlanmagan.

Bu yerda biz noaniq mantiqqa asoslangan nomukammal axborot sharoitlarida qaror qabul qilish nazariyasini keltirganmiz. Ushbu nazariya, noaniq va ehtimolli axborotlar kombinatsiyasi bilan berilgan struktura uchun ishlab chiqilgan bo'lib, Shokening noaniq qiymatli integrali kabi keltirilgan noaniq foydalilik funksiyasiga asoslangan. Nomukammal axborotlar strukturasini uchun ishlab chiqilgan va taklif etilgan nazariya, Shokening kutilgan foydalilik nazariyasidan quyidagicha farqlanadi [36]:

1) noaniq to'plamlar fazosi [28, 47], natijalar va tabiat holatlarini modellashtirish uchun klassik struktura o'rnida ishlatiladi;

2) ehtimolliklarning aniq taqsimlanish to'plamlari o'rnida noaniq ehtimollik ko'rib chiqiladi;

3) afzallikning lingvistik munosabati (ALM) [6, 48], mumtoz mantiqqa asoslanuvchi afzallik munosabatlari o'rnida ishlatiladi;

4) foydalilikning noaniq funksiyalari [28,43, 47] foydalilikning haqiqiy funksiyalari o'rnida ishlatiladi;

5) noaniq qiymatli noaniq o'lcham [49] aniq noadditiv ehtimollik o'rnida ishlatiladi.

Yuqorida ko'rsatib o'tilgan jihatlar masalaning fundamental yangicha qo'yilishi – nomukammal axborotlar bilan qaror qabul qilish masalasini qo'yilishini shakllantiradi. Bu masala ikkinchi tartibli aniqlanmaganlik bilan tavsiflanadi. Bu aniqlanmaganlik noaniq ehtimollikdir. Bu masalaning qo'yilishi bilan foydalilikning noaniq funksiyalarini aks ettirish teoremlarini isbotlaymiz. Foydalilikning noaniq funksiyalari Shoke integrali kabi noaniq integral osti ifodalari [31,43, 44] va noaniq qiymatli noaniq o'lcham bilan tavsiflanadi. Noaniq integral osti ifodalari foydalilikning noaniq lingvistik baholarini modellashtirish uchun ishlatiladi. Noaniq foydalilikning modeli, bizning fikrimizcha, qaror qabul qilish masalasini inson tomonidan ko'rib chiqilishiga va unga bog'liq axborotlar, shuningdek muqobilarni baholash uchun juda yaxshi mos tushadi.

5.6.2. Nomukammal axborotlar bilan qaror qabul qilish masalasining qo'yilishi

Nomukammal axborotlar bilan qaror qabul qilish masalasini noaniq va ehtimoliy aniqlanmaganliklar uyg'unligidagi qaror qabul qilish masalalari kabi qo'yishdan oldin, zaruriy matematik tushunchalarni ko'rib chiqamiz. Matematik tushunchalarga noaniq sonlar fazosi, noaniq funksiyalar va ular bilan bog'liq bo'lgan, quyida tavsiflanadigan amallar kiradi.

Birinchi tushuncha – bu *barcha noaniq ostto'plamlar fazosi* $\mathcal{R}^n$ ning fazosi bo'lib, ε bilan belgilanadi [28, 47] va u me'yoriylik, qavariqlik shartlarini qanoatlantiradi, ixcham tashuvchilarga ega va yuqori yarim uzluksiz hisoblanadi. Ko'rinib turibdiki, E^1 – bu R da aniqlangan noaniq sonlar to'plami. $E^1_{[0,1]}$ orqali $[0,1]$ birlik intervalda aniqlangan noaniq sonlar fazosini belgilaymiz.

Noaniq to'plamlar fazosi tanlangandan so'ng, boshqa – chegara, tutashish va uzluksizlik kabi tushunchalarni aniqlash uchun o'lchamni tanlash lozim. Biz noaniq qiymatli o'lchamdan foydalanishni taklif

etamiz (noaniq obyektlar orasidagi masofani o'lchash uchun o'rinni bo'ladi).

Ta'rif 5.6.1. Noaniq Xausdorf masofasi [43,50]. $\bar{A}, \bar{B} \in \mathcal{E}^n$ berilgan bo'lsin. $\bar{A}$ va $\bar{B}$ o'rtasidagi noaniq Xausdorf masofasi $d_{\mathcal{H}}$ quyidagicha aniqlanadi:

$$\bar{d}_{\mathcal{H}}(\bar{A}, \bar{B}) = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \alpha \left[d_{\mathcal{H}}(A', B'), \sup_{\alpha \leq \beta \leq 1} d_{\mathcal{H}}(A', B') \right],$$

bu yerda $d_{\mathcal{H}}$ – Xausdorf masofasi [28, 47], A', B' – mos ravishda $\bar{A}, \bar{B}$ noaniq to'plamlarning yadrolari (sathlar to'plami $\alpha=1$).

Misol ko'ramiz. $\bar{A}$ va $\bar{B}$ noaniq uchburchakli sonlar $\bar{A} = (2, 3, 4)$ va $\bar{B} = (6, 8, 12)$ bo'lsin. Unda $\bar{A}$ va $\bar{B}$ o'rtasidagi noaniq Xausdorf masofasi $d_{\mathcal{H}}$ uchburchakli noaniq son kabi aniqlanadi $\bar{d}_{\mathcal{H}}(\bar{A}, \bar{B}) = (5, 5, 8)$.

Keyingi asosiy tushuncha bu – ikki element orasidagi farq E^n bo'lib, u Xukugari farqi deb ataladi.

Ta'rif 5.6.2. Xukugari farqi [28, 47]. $\bar{X}, \bar{Y} \in \mathcal{E}^n$ berilgan bo'lsin. Agar $\bar{X} = \bar{Y} + \bar{Z}$ bo'ladigan $\bar{Z} \in \mathcal{E}^n$ mavjud bo'lsa, unda $\bar{Z}$ kattalik $\bar{X}$ va $\bar{Y}$ larning *Xukugari farqi* deyiladi va $\bar{X} -_{\mathcal{H}} \bar{Y}$ kabi belgilanadi.

$\bar{X}$ va $\bar{Y}$ dan olingan standart noaniq farq $\bar{Z}$ bo'lsa, $\bar{X} \neq \bar{Y} + \bar{Z}$ ga ega bo'lamiz. Agar biz $\bar{X} = \bar{Y} + \bar{Z}$ ni olishimiz kerak bo'lsa, Xukugari farqidan foydalanamiz.

Misol ko'ramiz. $\bar{X}$ va $\bar{Y}$ – uchburchakli noaniq sonlar $\bar{X} = (3, 7, 11)$ va $\bar{Y} = (1, 2, 3)$ bo'lsin. Unda $\bar{X}$ va $\bar{Y}$ larning Xukugari farqi – bu $\bar{X} -_{\mathcal{H}} \bar{Y} = (3, 7, 11) -_{\mathcal{H}} (1, 2, 3) = (3-1, 7-2, 11-3) = (2, 5, 8)$.

Haqiqatan, $\bar{Y} + (\bar{X} -_{\mathcal{H}} \bar{Y}) = (1, 2, 3) + (2, 5, 8) = (3, 7, 11) = \bar{X}$.

Endi noaniq qiymatli noaniq o'lchami tushunchasiga o'tamiz. Ω - bo'sh bo'lmagan chekli to'plam, $\mathcal{F}$ – Ω ostto'plamlarining σ -algebrasi bo'lsin. Noaniq qiymatli noaniq o'lcham – bu quyidagi tushunchalar ishlatiladigan noaniq son.

Ta'rif 5.6.3 [49]. $\bar{A}$ – noaniq son bo'lsin. Agar har bir musbat haqiqiy son M uchun $M < A_1^{\circ}$ yoki $A_1^{\circ} < -M$ bo'ladigan $r_0 \in (0, 1]$ bo'lsa, unda $\bar{A}$ noaniq cheksizlik deb ataladi va ∞ bilan belgilanadi.

Ta'rif 5.6.4 [49]. Agar har bir $r \in (0, 1]$, uchun $A_1^{\circ} \leq B_1^{\circ}$ va $A_2^{\circ} \leq B_2^{\circ}$ bo'lsa, $\bar{A}, \bar{B} \in \mathcal{E}^1$, uchun $\bar{A} \leq \bar{B}$, ekanligini tasdiqlaymiz.

Agar $\bar{A} \leq \bar{B}$, bo'lsa, $\bar{A} < \bar{B}$, bo'lishi va $A_1^{\alpha_0} < B_1^{\alpha_0}$, yoki $A_2^{\alpha_0} < B_2^{\alpha_0}$ uchun $\alpha_0 \in (0,1]$ mavjudligini tasdiqlash mumkin.

Agar $\bar{A} \leq \bar{B}$, $\bar{B} \leq \bar{A}$ bo'lsa, $\bar{A} = \bar{B}$. $\mathcal{E}_*^1 = \{\bar{A} \in \mathcal{E} | \bar{A} \geq 0\}$ belgilash kiritamiz.

Demak, $\mathcal{E}_*^1 - \mathcal{R}$ da aniqlangan noaniq sonlar to'plami. Noaniq qiymatli noaniq o'lchamlarning, ostto'plamlarning monoton funksiyasi sifatida Zang [49] tomonidan taklif etilgan va (z) -noaniq o'lcham deb ataladigan ta'rifi quyidagicha:

Ta'rif 5.6.5. Noaniq qiymatli noaniq o'lcham [49]. $\mathcal{F}$ dagi noaniq qiymatli noaniq o'lcham $((z)$ -noaniq o'lcham) – bu quyidagi xossalarga ega bo'lgan $\tilde{\eta} : \mathcal{F} \rightarrow \mathcal{E}_*^1$ to'plamlarning noaniq qiymatli funksiyasi :

$$(1) \tilde{\eta}(\emptyset) = 0;$$

$$(2) \text{ agar } \mathcal{H} \subset \mathcal{G} \text{ bo'lsa, unda } \tilde{\eta}(\mathcal{H}) \leq \tilde{\eta}(\mathcal{G});$$

$$(3) \text{ agar } \mathcal{H}_1 \subset \mathcal{H}_2 \subset \dots, \mathcal{H}_n \subset \dots \in \mathcal{F} \text{ bo'lsa, unda } \tilde{\eta}(\bigcup_{n=1}^{\infty} \mathcal{H}_n) = \lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{\eta}(\mathcal{H}_n);$$

$$(4) \text{ agar } \mathcal{H}_1 \supset \mathcal{H}_2 \supset \dots, \mathcal{H}_n \in \mathcal{F} \text{ va } \tilde{\eta}(\mathcal{H}_{n_0}) \neq \infty \text{ bo'ladigan } n_0 \text{ mavjud bo'lsa, unda } \tilde{\eta}(\bigcap_{n=1}^{\infty} \mathcal{H}_n) = \lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{\eta}(\mathcal{H}_n).$$

Bu yerda chegaralar $\tilde{a}_m$ atamalarda aniqlanadi.

Misol ko'ramiz. $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}$ berilgan bo'lsin. Ω ostto'plamlar uchun $\tilde{\eta}$ to'plamlarning noaniq qiymatli funksiyasi qiymati, 5.6.1-jadvalda keltirilgan uchburchakli sonlar bo'lsin:

5.6.1-jadval.

Noaniq sonli qiymatli $\tilde{\eta}$ to'plam funksiyalarining qiymatlari.

$\mathcal{H} \subset \Omega$	$\{\omega_1\}$	$\{\omega_2\}$	$\{\omega_3\}$	$\{\omega_1, \omega_2\}$	$\{\omega_1, \omega_3\}$	$\{\omega_2, \omega_3\}$
$\tilde{\eta}(\mathcal{H})$	(0.3, 0.4, 0.4)	(0.0, 1.0, 1.1)	(0.3, 0.5, 0.5)	(0.3, 0.5, 0.5)	(0.6, 0.9, 0.9)	(0.3, 0.6, 0.6)

Noaniq qiymatli to'plam funksiya $\tilde{\eta}$ - bu noaniq qiymatli noaniq o'lcham. Masalan, ta'rif (5.6.5) dagi 2-shart $\tilde{\eta}$ uchun qanoatlantirilganligini ko'rish mumkin.

Juftlik $(\Omega, \tilde{\mathcal{F}}(\Omega))$ noaniq o'lchanadigan fazo, uchlik $(\Omega, \tilde{\mathcal{F}}(\Omega), \tilde{\eta})$ - (z) -noaniq o'lchamli fazo deyiladi.

Endi noaniq qiymatli Shoke integralini, noaniq qiymatli noaniq o'lcham bo'yicha noaniq funksiyadan olingan Shoke integrali kabi aniqlaymiz.

Ta'rif 5.6.6. Noaniq qiymatli Shoke integrali [44]. $\tilde{\varphi} : \Omega \rightarrow \mathcal{E}^1$ – bu Ω dagi o'lganadigan noaniq funksiya, $\tilde{\eta}$ – $\mathcal{F}$ dagi noaniq qiymatli noaniq o'lcham bo'lsin. $\tilde{\varphi}$ dan $\tilde{\eta}$ bo'yicha olingan noaniq qiymatli Shoke integrali quyidagicha aniqlanadi:

$$\int_{\Omega} \tilde{\varphi} d\tilde{\eta} = \sum_{i=1}^n (\tilde{\varphi}(\omega_{(i)}) - \tilde{\varphi}(\omega_{(i+1)})) \cdot \tilde{\eta}(\mathcal{H}_{(i)}),$$

bu yerda indeks (i) elementlar $\omega_i \in \Omega, i = 1, \dots, n$, $\tilde{\varphi}(\omega_{(i)}) \geq \tilde{\varphi}(\omega_{(i+1)})$, $\tilde{\varphi}(\omega_{(n+1)}) = 0$ va $\mathcal{H}_{(i)} \subseteq \Omega$ bo'ladigan qilib berilganligini anglatadi.

Taklif etiladigan nazariyada $\tilde{\eta}$ funksiya Ω bo'yicha ehtimoliy taqsimlanish haqidagi lingvistik axborotlar asosida quriladi. Bu quyidagi tushunchalardan foydalanishni talab etadi.

Ta'rif 5.6.7. Tasodifiy o'zgaruvchili lingvistik ehtimollik [6]. Tasodifiy o'zgaruvchi X ning lingvistik ehtimolliklar to'plami $\tilde{P} = \{\tilde{P}_1, \dots, \tilde{P}_n, \dots, \tilde{P}_n\}$ va mos qiymatlari $\{X_1, \dots, X_n, \dots, X_n\}$ bu o'zgaruvchining lingvistik ehtimollikni taqsimlanishi deyiladi.

Ta'rif 5.6.8. O'zining noaniq to'plamiga ega bo'lgan tasodifiy o'zgaruvchi [6]. Diskret o'zgaruvchi $\tilde{X}$ lingvistik qiymatlar to'plami $\{\tilde{X}_1, \dots, \tilde{X}_n\}$ dan qiymatlar qabul qilsin. To'plamdagi o'zgaruvchilarning har biri – $\tilde{X}_i = \int_{\mathcal{X}_i} \mu_{\tilde{X}_i}(x)/x$ noaniq to'plam bilan tavsiflangan noaniq o'zgaruvchi $\langle x_i, U_i, \dots, \tilde{X}_i \rangle$ bo'lsin. O'zgaruvchi $\tilde{X}$ lingvistik ehtimollik $\tilde{P}_i \in \tilde{P}$, $\tilde{P}' = \{\tilde{P} | \tilde{P} \in \mathcal{E}_{[0,1]}^1\}$ bilan berilgan $\tilde{X}_i$ qiymatlarni qabul qilsin. O'zgaruvchi $\tilde{X}$ o'zining noaniq to'plamlariga ega bo'lgan *tasodifiy o'zgaruvchi* deb ataladi.

Ta'rif 5.6.9. Lingvistik lotereya [6]. Lingvistik lotereya – bu ma'lum lingvistik ehtimollik taqsimlanishli noaniq to'plam qiymatlariga ega bo'lgan tasodifiy o'zgaruvchi bo'lib, quyidagi vektor ko'rinishda yoziladi:

$$\tilde{L} = (\tilde{P}_1, \tilde{X}_1; \dots; \tilde{P}_n, \tilde{X}_n; \dots; \tilde{P}_n, \tilde{X}_n).$$

Misol ko'ramiz. Lingvistik lotereya $\tilde{L} = (\tilde{P}_1, \tilde{X}_1; \tilde{P}_2, \tilde{X}_2; \tilde{P}_3, \tilde{X}_3)$ berilgan bo'lsin, bunda $\tilde{P}_i$ va $\tilde{X}_i$ lar $[0,1]$ kesmada aniqlangan uchburchakli va trapetsiyali noaniq sonlar bilan tavsiflansin: $\tilde{X}_1 = (0.1, 0.3, 0.5)$ («kichik»), $\tilde{X}_2 = (0.3, 0.5, 0.7)$ («o'rtacha»), $\tilde{X}_3 = (0.5, 0.7, 0.9)$ («katta»), $\tilde{P}_1 = (0.5, 0.7, 0.9)$ («yuqori»), $\tilde{P}_2 = (0.0, 0.2, 0.4)$ («past»), $\tilde{P}_3 = (0.0, 0.0, 0.1, 0.4)$ («juda past»). Unda ko'rib chiqilayotgan lingvistik lotereya quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\tilde{L} = \begin{pmatrix} (0.5, 0.7, 0.9), (0.1, 0.3, 0.5); \\ (0.0, 0.2, 0.4), (0.3, 0.5, 0.7); \\ (0.0, 0.0, 0.1, 0.4), (0.5, 0.7, 0.9) \end{pmatrix}.$$

Yuqorida ko'rsatilgan konsepsiyalarga tayangan holda, nomukammal axborotlar bilan qaror qabul qilishni ko'rib chiqish mumkin.

Ta'rif 5.6.10. Komonoton noaniq harakat [43]. Agar bir vaqtda $\tilde{f}(\tilde{S}_i) \succ_i \tilde{f}(\tilde{S}_j)$ va $\tilde{g}(\tilde{S}_i) \succ_i \tilde{g}(\tilde{S}_j)$ o'rinli bo'ladigan S dagi $\tilde{S}_i$ va $\tilde{S}_j$ lar mavjud bo'lmasa, unda Y^S dagi ikki noaniq harakat $\tilde{f}$ va $\tilde{g}$ komonoton deb ataladi.

Agar barcha $\tilde{S}_i$ va $\tilde{S}_j$ lar uchun $(a(\tilde{S}_i) - a(\tilde{S}_j))(b(\tilde{S}_i) - b(\tilde{S}_j)) \geq 0$ bo'lsa, ikki haqiqiy funksiyalar a va b komonotondir.

Noaniq funksiyalar uchun $\tilde{a}: S \rightarrow \mathcal{E}^1$ ni a^α orqali belgilaymiz, $\alpha \in (0,1]$ α -kesimi va $a^\alpha = [a_1^\alpha, a_2^\alpha]$, bunda $a_1^\alpha, a_2^\alpha: S \rightarrow \mathcal{R}$.

Agar haqiqiy funksiyalar $a_1^\alpha, b_1^\alpha: S \rightarrow \mathcal{R}$, $a_2^\alpha, b_2^\alpha: S \rightarrow \mathcal{R}$, $\alpha \in (0,1]$ komonoton bo'lsa, ikki noaniq funksiya $\tilde{a}, \tilde{b}: S \rightarrow \mathcal{E}^1$ komonoton deyiladi.

Doimiy harakat $\tilde{f} = \tilde{f}^{\tilde{y}}$, $\tilde{y} \in \mathcal{Y}$ va qandaydir harakat $\tilde{g}$ komonoton. Lotereyasi $\{\tilde{f}(\tilde{S}_i)\}$ o'zaro ekvivalent, ya'ni barcha $\tilde{S}$ uchun $\tilde{f}(\tilde{S}) \sim_i \tilde{y}$ bo'lgan harakat $\tilde{f}$ va qandaydir harakat $\tilde{g}$ komonoton.

Nomukammal axborotlar sharoitida insonlar muqobillarni lingvistik solishtiradi va bunda ma'lum baholar: «bir oz yomon», «ozgina yaxshi», «ko'proq yaxshi», «deyarli shunday» va shu kabilardan foydalanishadi. Mumtoz munosabatlardan farqli ravishda, lingvistik munosabatlar «afzallik darajalari» dan foydalanadi va nomukammal axborot sharoitida holatni yaxshiroq tahlil qilish imkonini beradi.

Quyida $\mathcal{A}$ uchun I ning ALM aksiomalari keltirilgan [30,43].

(i) *Kuchsiz tartib:*

(a) *To'liqlik. Ixtiyoriy ikki muqobil ALM asosida solishtirilishi mumkin:* $\mathcal{A}$ dagi barcha $\tilde{f}$ va $\tilde{g}$ uchun: $\tilde{f} \succeq_i \tilde{g}$ yoki $\tilde{g} \succeq_i \tilde{f}$. Bu barcha $\tilde{f}$ va $\tilde{g}$ uchun shunday $T_i \in \mathcal{T}$ mavjudligi va unda $\tilde{f} \succeq_{T_i} \tilde{g}$ yoki $\tilde{g} \succeq_{T_i} \tilde{f}$ bo'lishini bildiradi.

(b) *Tranzitivlik.* $\mathcal{A}$ dagi barcha $\tilde{f}, \tilde{g}$ va $\tilde{h}$ uchun: agar $\tilde{f} \succeq_i \tilde{g}$ va $\tilde{g} \succeq_i \tilde{h}$ bo'lsa, unda $\tilde{f} \succeq_i \tilde{h}$ bo'ladi. Bu. Agar shunday $T_i \in \mathcal{T}$ va

$T_i \in \mathcal{T}$ mavjud bo'lsa, $\bar{f} \succeq_i \bar{g}$ va $\bar{g} \succeq_i \bar{h}$ bo'lishini, demak $T_i \in \mathcal{T}$ mavjud bo'lsa, $\bar{f} \succeq_i \bar{h}$ bo'lishini bildiradi. ALM ning tranzitivligi Zodaning kengaytirish tamoyili va afzalliklarning noaniq munosabatlari [59] asosida aniqlanadi.

Bu aksioma ixtiyoriy ikki muqobil solishtirilishi va nomukammal axborotlar sharoiti uchun afzallikning (tranzitivlik) fundamental xossalari o'rnatilishini tasdiqlaydi.

(ii) Komonoton mustaqillik: A dagi barcha juft komonoton harakatlar $\bar{f}, \bar{g}$ va $\bar{h}$ uchun: agar $\bar{f} \succeq_i \bar{g}$ bo'lsa, unda barcha $\sigma \in (0,1)$ uchun $\sigma \bar{f} + (1-\sigma)\bar{h} \succeq_i \sigma \bar{g} + (1-\sigma)\bar{h}$ bo'ladi. Bu nimani bildiradi? Agar $\bar{f} \succeq_i \bar{g}$ bo'ladigan shunday $T_i \in \mathcal{T}$ mavjud bo'lsa, unda $\sigma \bar{f} + (1-\sigma)\bar{h} \succeq_i \sigma \bar{g} + (1-\sigma)\bar{h}$ bo'ladigan qayerda $T_i \in \mathcal{T}$ bo'lsa, unda $\bar{f}, \bar{g}$ va $\bar{h}$ juft komonoton bo'ladi.

Bu aksioma nomukammal axborotlar sharoitidagi komonoton harakatlarning mustaqillik xossalarini kengaytiradi.

(iii) Uzluksizlik: A dagi barcha $\bar{f}, \bar{g}$ va $\bar{h}$ uchun: agar $\bar{f} \succ_i \bar{g}$ va $\bar{g} \succ_i \bar{h}$ bo'lsa, unda $\sigma \bar{f} + (1-\sigma)\bar{h} \succ_i \beta \bar{f} + (1-\beta)\bar{h}$ bo'ladigan $(0,1)$ da σ va β lar mavjud. Bu, $\bar{f} \succeq_i \bar{g}$ va $\bar{g} \succeq_i \bar{h}$ bo'ladigan $T_i \in \mathcal{T}$ va $T_i \in \mathcal{T}$ mavjud bo'lsa, unda $\sigma \bar{f} + (1-\sigma)\bar{h} \succeq_i \beta \bar{f} + (1-\beta)\bar{h}$ bo'ladigan $T_i \in \mathcal{T}$ va $T_i \in \mathcal{T}$ ga ega bo'lishni bildiradi.

(iv) Monotonlik. A dagi barcha $\bar{f}$ va $\bar{g}$ uchun: agar S da $\bar{f}(\bar{S}) \succeq_i \bar{g}(\bar{S})$ bo'lsa, unda $\bar{f} \succeq_i \bar{g}$. Bu agar biror bir $\bar{S} \in \mathcal{S}$ uchun $\bar{f}(\bar{S}) \succeq_i \bar{g}(\bar{S})$ bo'ladigan $T_i \in \mathcal{T}$ mavjud bo'lsa, unda $\bar{f} \succeq_i \bar{g}$ bo'ladigan $T_i \in \mathcal{T}$ mavjudligini bildiradi.

(v) Buzilmaganlik: hamma $\bar{f}, \bar{g} \in A$ uchun ham $\bar{f} \succeq_i \bar{g}$ o'rinli emas.

A dagi afzallikning lingvistik munosabati (ALM) $\cdot I, \mathcal{V}$ dagi ALM ni buzib yuboradi va u quyidagicha belgilanadi: agar $\bar{y}^{\mathcal{S}} \succeq_i \bar{z}^{\mathcal{S}}$ bo'lsa, $\bar{y} \succeq_i \bar{z}$, bu yerda $\bar{y}^{\mathcal{S}}$ va $\bar{z}^{\mathcal{S}}$ lar bilan $\mathcal{S}$ dagi $\bar{y}$ va $\bar{z}$ doimiy funksiyalar belgilangan.

Biz foydalanishni taklif etayotgan foydalilikning noaniq funksiyasi $\bar{U}$, noaniq qiymatli noaniq o'lcham bo'yicha Shokening noaniq qiymatli integrali kabi tavsiflanadi. O'z navbatida, tabiiy tilda yozilgan ehtimollikning taqsimlanish haqidagi bilimlar tabiiy tilda quyidagicha ifodalanishi mumkin: $\bar{P} = \bar{P}_1/\bar{S}_1 + \bar{P}_2/\bar{S}_2 + \bar{P}_3/\bar{S}_3 =$ katta bo'lmagan/katta bo'lmagan + yuqori/o'rtacha + katta bo'lmagan/katta bo'lmagan.

Bu yerdagi atamalar, masalan, «*yuqori/o'rtacha*», $\bar{s}_2 \in S$ ning o'rtacha bo'lish ehtimolligi yuqori ekanligini bildiradi. Demak, $\bar{p}^i$ – bu *lingvistik (noaniq) ehtimolliklarning taqsimlanishi*.

5.6.3. Foydalilikning noaniq funksiyasi

Biz yuqorida lingvistik afzalliklarni sonli tavsiflash uchun mos kelganligi sababli, foydalilikning noaniq funksiyalaridan foydalanish zarurligini ilgari surgan edik. Quyida esa, ixtiyoriy Z muqobillar to'plami uchun ALM (i)-(v) ni modellashtiruvchi, foydalilikning noaniq funksiyasi ta'rifl keltiriladi.

Ta'rif 5.6.11. Foydalilikning noaniq funksiyasi [42,43,51].

Agar noaniq funksiya $\bar{U}(\cdot): Z \rightarrow \mathcal{E}^1$ o'zida lingvistik afzallikni namoyon qilsa, ya'ni quyidagi shartni qanoatlantirsa, u foydalilikning noaniq funksiyasi hisoblanadi. Agar va faqat agar $\bar{U}(\bar{Z}_1) \geq \bar{U}(\bar{Z}_2)$ bo'lsa, ixtiyoriy muqobillar jufti $\bar{Z}_1, \bar{Z}_2 \in Z$ uchun $\bar{Z}_1 \succeq \bar{Z}_2$ o'rinlidir, bu yerda T_i ni $\bar{a}_{pi}(\bar{U}(\bar{Z}_1), \bar{U}(\bar{Z}_2))$ asoslanib aniqlaymiz.

Muqobillar to'plami Z ga xuddi harakatlar to'plami $\mathcal{A}$ kabi murojaat qilami $\bar{f}: S \rightarrow \mathcal{Y}$.

Muqobillar to'plami A da aniqlangan, foydalilikning noaniq funksiyasi mavjudligini ko'rsatuvchi teoremani keltiramiz [3.4,64].

Teorema 5.6.1. Faraz qilamiz, ALM $A=A_0$ da (i) kuchsiz tartib, (ii) uzluksizlik, (iii) komonoton mustaqillik, (iv) monotonlik va (v) buzilmaslik xossalarini qanoatlantiradi. Agar va faqat agar quyidagi shart bajarilsa, A dagi $\bar{f}$ va $\bar{g}$ lar uchun $\bar{f} \succeq \bar{g}$ o'rinli bo'ladigan shunday $\bar{f}_s$ dagi yagona noaniq qiymatli noaniq o'lcham $\bar{\eta}$ va $\mathcal{Y}$ dagi noaniq affin funksiya $\bar{u}$ mavjud:

$$\int_s \bar{u}(\bar{f}(\bar{S})) d\bar{\eta} \geq \int_s \bar{u}(\bar{g}(\bar{S})) d\bar{\eta},$$

bu yerda $\bar{u}$ musbat chiziqli o'zgartirish aniqligigacha yagona.

Teorema 5.6.2. Doimiy bo'lmagan noaniq affin funksiya $\bar{u}$ va noaniq qiymatli noaniq o'lcham $\bar{\eta}$ uchun Shokening noaniq qiymatli integrali $\bar{U}(\bar{f}) = \int_s \bar{u}(\bar{f}(\bar{S})) d\bar{\eta}$ ALM ni, (i)-(v) shartlarni qanoatlantiruvchi A_0 ga buzadi. Chunki, $\bar{u}$ musbat chiziqli o'zgartirish aniqligigacha yagonadir.

To'g'ri teorema (5.6.1-teorema) noaniq ehtimolliklar sharoitida noaniq harakatlar to'plamida aniqlangan ALM ni aks ettiruvchi, taklif

etilgan foydalilikning noaniq funksiya mavjudligini belgilab beradi. (i)-(v) aksiomalardan foydalanib, ifodalangan ALM nomukammal axborot sharoitlarida insonning nimani afzal ko'rishini aks ettiradi. Teskari teorema esa (5.6.2-teorema) noaniq qiymatli integral ostidagi ifodali Shokening noaniq qiymatli integrali va noaniq qiymatli noaniq o'lcham kabi tavsiflangan foydalilikning noaniq funksiyasini, ifodalangan ALM noaniq buzish sharoitini aniqlab beradi.

S^* orqali S ning indikatorli funksiyasini belgilaymiz. Noaniq qiymatli noaniq o'lcham $\bar{\eta}$ ga tegishli keyingi natijani ko'rib chiqamiz.

Teorema 5.6.3. *Funksional $\bar{i} : \mathcal{B} \rightarrow \mathcal{E}$ berilgan bo'lsin, bu yerda $\mathcal{B}$ – cheklangan $\bar{\mathcal{F}}_S$ -o'lchanadigan noaniq funksiyalarning S dagi fazosi bo'lib, $\bar{i}(S^*)=1$ shartni qanoatlantiradi. Shuningdek, funksional $\bar{i}$ quyidagi xossalarni ham qanoatlantiradi deb faraz qilamiz:*

(i) *Komonoton additivlik:* komonoton funksiyalar $\bar{a}, \bar{b} \in \mathcal{B}$, uchun $\bar{i}(\bar{a} + \bar{b}) = \bar{i}(\bar{a}) + \bar{i}(\bar{b})$ o'rinli;

(ii) *Monotonlik:* agar barcha $\bar{s} \in S$ uchun $\bar{a}(\bar{s}) \geq \bar{b}(\bar{s})$ bo'lsa, unda $\bar{i}(\bar{a}) \geq \bar{i}(\bar{b})$ bo'ladi.

Bu shartlarda, barcha $\mathcal{H} \in \bar{\mathcal{F}}_S$ uchun $\bar{\eta}(\mathcal{H}) = \bar{i}(\mathcal{H}^*)$ ekanligini aniqlab, quyidagini hosil qilamiz (bunda $\mathcal{H}$ indikatorli funksiya):

$$\bar{i}(\bar{a}) = \int_0^{\bar{x}} \bar{\eta}(\bar{a} \geq \bar{\delta}) d\bar{\delta} + \int_{-\bar{x}}^0 (\bar{\eta}(\bar{a} \geq \bar{\delta}) - 1) d\bar{\delta}, \quad \forall \bar{a} \in \mathcal{B}, \quad (5.6.2)$$

shuningdek,

$$I_1^a(a_1^a) = \int_0^x \eta_1^a(a_1^a \geq \delta_1^a) d\delta_1^a + \int_{-x}^0 (\eta_1^a(a_1^a \geq \delta_1^a) - 1) d\delta_1^a$$

$$I_2^a(a_2^a) = \int_0^x \eta_2^a(a_2^a \geq \delta_2^a) d\delta_2^a + \int_{-x}^0 (\eta_2^a(a_2^a \geq \delta_2^a) - 1) d\delta_2^a.$$

$\mathcal{B}$ da komonoton additiv va monoton $\bar{i}$, $\lambda > 0$ uchun $\bar{i}(\lambda \bar{a}) = \lambda \bar{i}(\bar{a})$ ni qanoatlantiradi. Haqiqatan, α -kesimli $\bar{i}(\lambda \bar{a})$ ni $[\bar{i}(\lambda \bar{a})]^a = [I_1^a([\lambda \bar{a}]_1^a), I_2^a([\lambda \bar{a}]_2^a)]$ kabi aniqlash mumkin, bunda $[\lambda \bar{a}]_1^a = \lambda a_1^a$, $[\lambda \bar{a}]_2^a = \lambda a_2^a$, chunki $\lambda > 0$. Demak, $I_1^a(\lambda a_1^a) = \lambda I_1^a(a_1^a)$, $I_2^a(\lambda a_2^a) = \lambda I_2^a(a_2^a)$.

Shunday qilib, quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$[\bar{i}(\lambda \bar{a})]^a = [I_1^a(\lambda a_1^a), I_2^a(\lambda a_2^a)] = [\lambda I_1^a(a_1^a), \lambda I_2^a(a_2^a)] =$$

$$= \lambda [I_1^a(a_1^a), I_2^a(a_2^a)] = \lambda [\bar{i}(\bar{a})]^a$$

Demak, $\bar{i}(\lambda \bar{a}) = \lambda \bar{i}(\bar{a})$, $\lambda > 0$.

Teorema 5.6.3 ni isbotlash uchun quyidagi izohdan foydalanish lozim.

Izoh 5.6.1. (5.6.2) dagi integral ostidagi funksiya quyidagicha ixcham ifodalanishi mumkin:

$$\tilde{a}^*(\tilde{\delta}) = \begin{cases} \tilde{\eta}(\tilde{a} \geq \tilde{\delta}), & \tilde{\delta} \geq 0, \\ \tilde{\eta}(\tilde{a} \geq \tilde{\delta}) - \tilde{\eta}(S), & \tilde{\delta} < 0, \end{cases}$$

shuningdek,

$$\begin{aligned} \tilde{a}_1^{**}(\tilde{\delta}) &= \tilde{a}_1^{**}(\delta_1^\alpha) \begin{cases} \tilde{\eta}_1^\alpha(\alpha_1^\alpha \geq \delta_1^\alpha), & \delta_1^\alpha \geq 0, \\ \tilde{\eta}_1^\alpha(\alpha_1^\alpha \geq \delta_1^\alpha) - \eta_1^\alpha(S), & \delta_1^\alpha < 0, \end{cases} \\ \tilde{a}_2^{**}(\tilde{\delta}) &= \tilde{a}_2^{**}(\delta_2^\alpha) \begin{cases} \tilde{\eta}_2^\alpha(\alpha_2^\alpha \geq \delta_2^\alpha), & \delta_2^\alpha \geq 0, \\ \tilde{\eta}_2^\alpha(\alpha_2^\alpha \geq \delta_2^\alpha) - \eta_2^\alpha(S), & \delta_2^\alpha < 0. \end{cases} \end{aligned}$$

Agar $\alpha_1^\alpha, \alpha_2^\alpha$ – nomanfiy bo'lsa, unda $\delta_1^\alpha, \delta_2^\alpha < 0$ uchun $a_1^{**}, a_2^{**} = 0$ bo'ladi. Agar $\theta_1^\alpha, \theta_2^\alpha$ – mos ravishda a_1^α, a_2^α uchun manfiy quyi chegaralar bo'lsa, unda mos ravishda $\delta_1^\alpha \leq \theta_1^\alpha$ va $\delta_2^\alpha \leq \theta_2^\alpha$ uchun $a_1^{**}(\delta_1^\alpha) = 0$ va $a_2^{**}(\delta_2^\alpha) = 0$ bo'ladi. Agar $\nu_1^\alpha, \nu_2^\alpha$ – mos ravishda $\alpha_1^\alpha, \alpha_2^\alpha$ yuqori chegaralar bo'lsa, unda (5.6.2) ning α -kesimlari quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$\begin{aligned} I_1^\alpha(a_1^\alpha) &= \int_{\theta_1^\alpha}^{\eta_1^\alpha} a_1^{**}(\delta_1^\alpha) d\delta_1^\alpha, \\ I_2^\alpha(a_2^\alpha) &= \int_{\theta_2^\alpha}^{\eta_2^\alpha} a_2^{**}(\delta_2^\alpha) d\delta_2^\alpha. \end{aligned}$$

Demak, (5.6.2) ifoda $\tilde{I}(\tilde{a}) = \int_{\tilde{\delta}} \tilde{a}^*(\tilde{\delta}) d\tilde{\delta}$ kabi yozilishi mumkin.

$I_1^\alpha, I_2^\alpha : C \rightarrow R$ komonoton additiv va monoton bo'lganligi sababli, [23] da keltirilgan natijalarga tayanib, (5.6.2) ning α -kesimlari (5.6.1) ning α -kesimlaridan va ifoda (5.6.2) ifoda (5.6.1) dan kelib chiqadi deb xulosa qilish mumkin.

Teorema 5.6.3 ning isboti. *Izoh (5.6.4) nomanfiy noaniq funksiyalar uchun isbot (5.6.1) ni o'rinli qiladi. (5.6.1) ixtiyoriy noaniq chekli pog'onali funksiya uchun o'rinli deb faraz qilgan holda, uni $\bar{\lambda} \in E^1$ bilan cheklangan (boshqacha aytganda barcha $\tilde{s} \in S$ uchun $0 \leq \tilde{a}(\tilde{s}) \leq \bar{\lambda}$ o'rinli bo'lgan), tasodifiy nomanfiy $\tilde{F}_s$ -o'lchanadigan noaniq funksiya $\tilde{a}$ uchun isbotlaymiz.*

$n = 1, 2, \dots$ va $1 \leq k \leq 2^n$ uchun quyidagi to'plamlarni aniqlaymiz:

$$\mathcal{H}_k^{1,\alpha} = \left\{ \bar{S} \in \mathcal{S} \mid \lambda_1''(k-1)/2^n < [\bar{a}(\bar{S})]_1'' \leq \lambda_1'' k/2^n \right\}$$

va

$$\mathcal{H}_n^{1,2,\sigma} = \left\{ \bar{S} \in \mathcal{S} \mid \lambda_2''(k-1)/2^n < [\bar{a}(\bar{S})]_2'' \leq \lambda_2'' k/2^n \right\}.$$

$[\bar{a}_n(\bar{S})]_1'' = \lambda_1''(k-1)/2^n$, $[\bar{a}_n(\bar{S})]_2'' = \lambda_2''(k-1)/2^n$, $[\bar{b}_n(\bar{S})]_1'' = \lambda_1'' k/2^n$,
 $[\bar{b}_n(\bar{S})]_2'' = \lambda_2'' k/2^n$ larni ham aniqlaymiz.

Shunday qilib, barcha $\bar{S}$ va n uchun quyidagilar o'rinli:

$$[\bar{a}_n(\bar{S})]_1'' \leq [\bar{a}_{n+1}(\bar{S})]_1'' \leq [\bar{a}(\bar{S})]_1'' \leq [\bar{b}_{n+1}(\bar{S})]_1'' \leq [\bar{b}_n(\bar{S})]_1''.$$

$$[\bar{a}_n(\bar{S})]_2'' \leq [\bar{a}_{n+1}(\bar{S})]_2'' \leq [\bar{a}(\bar{S})]_2'' \leq [\bar{b}_{n+1}(\bar{S})]_2'' \leq [\bar{b}_n(\bar{S})]_2''.$$

Demak, barcha $\bar{S}$ va n uchun $\bar{a}_n(\bar{S}) \leq \bar{a}_{n+1}(\bar{S}) \leq \bar{a}(\bar{S}) \leq \bar{b}_{n+1}(\bar{S}) \leq \bar{b}_n(\bar{S})$ o'rinli.

Monotonlik $I_1', I_2' : C \rightarrow \mathcal{R}$ $I_1''(a_1'') \leq I_1''(a_1'') \leq I_1''(b_1'')$, $I_2''(a_2'') \leq I_2''(a_2'') \leq I_2''(b_2'')$ bo'lishini, o'z navbatida, komonoton additivlik $I_1', I_2' : C \rightarrow \mathcal{R}$ quyidagilarni nazarda tutadi:

$$0 \leq I_1''(b_1'') - I_1''(a_1'') = \lambda_1''/2^n \rightarrow 0,$$

$$0 \leq I_2''(b_2'') - I_2''(a_2'') = \lambda_2''/2^n \rightarrow 0, n \rightarrow \infty.$$

Noaniq chekli pog'onali funksiya haqidagi farazlardan quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$I_1''(a_1'') = \int_0^{\lambda_1''} \eta_1''(a_1'' \geq \delta_1'') d\delta_1'', \quad I_2''(a_2'') = \int_0^{\lambda_2''} \eta_2''(a_2'' \geq \delta_2'') d\delta_2'',$$

$$I_1''(b_1'') = \int_0^{\lambda_1''} \eta_1''(b_1'' \geq \delta_1'') d\delta_1'', \quad I_2''(b_2'') = \int_0^{\lambda_2''} \eta_2''(b_2'' \geq \delta_2'') d\delta_2''.$$

Monotonlik η_1'', η_2'' va ta'rif $a_{n1}'', b_{n1}'', a_{n2}'', b_{n2}'', n=1,2,\dots$, quyidagini bildiradi:

$$\eta_1''(a_{n1}'' \geq \delta_1'') \leq \eta_1''(a_1'' \geq \delta_1'') \leq \eta_1''(b_{n1}'' \geq \delta_1''),$$

$$\eta_2''(a_{n2}'' \geq \delta_2'') \leq \eta_2''(a_2'' \geq \delta_2'') \leq \eta_2''(b_{n2}'' \geq \delta_2'').$$

Bu tengsizliklardan quyidagi tengsizliklar o'rinli ekanligi kelib chiqadi:

$$\int_0^{\lambda_1''} \eta_1''(a_{n1}'' \geq \delta_1'') d\delta_1'' \leq \int_0^{\lambda_1''} \eta_1''(a_1'' \geq \delta_1'') d\delta_1'' \leq \int_0^{\lambda_1''} \eta_1''(b_{n1}'' \geq \delta_1'') d\delta_1''.$$

$$\int_0^{\lambda_2''} \eta_2''(a_{n2}'' \geq \delta_2'') d\delta_2'' \leq \int_0^{\lambda_2''} \eta_2''(a_2'' \geq \delta_2'') d\delta_2'' \leq \int_0^{\lambda_2''} \eta_2''(b_{n2}'' \geq \delta_2'') d\delta_2''.$$

Shunday qilib,

$$I_1^{\alpha}(a_1^{\alpha}) = \int_0^{\delta_1^{\alpha}} \eta_1^{\alpha}(a_1^{\alpha} \geq \delta_1^{\alpha}) d\delta_1^{\alpha}, \quad I_2^{\alpha}(a_2^{\alpha}) = \int_0^{\delta_2^{\alpha}} \eta_2^{\alpha}(a_2^{\alpha} \geq \delta_2^{\alpha}) d\delta_2^{\alpha},$$

va

$$\tilde{I}(\bar{a}) = \int_0^{\bar{\delta}} \tilde{\eta}(\bar{a} \geq \bar{\delta}) d\bar{\delta}.$$

Endi (5.6.1) noaniq chekli pog'onali funksiyalar uchun o'rinli ekanligini isbotlaymiz. Qandaydir nomanfiy noaniq pog'onali funksiya $\bar{a} \in \mathcal{B}$, ba'zi k lar uchun yagona α -kesimlar $a_i^{\alpha} = \sum_{i=1}^k \delta_{i1}^{\alpha} \mathcal{H}_i^*$, $a_2^{\alpha} = \sum_{i=1}^k \delta_{i2}^{\alpha} \mathcal{H}_i^*$ ga ega, bunda $\delta_{11}^{\alpha} > \delta_{21}^{\alpha} > \dots > \delta_{k1}^{\alpha}$, $\delta_{12}^{\alpha} > \delta_{22}^{\alpha} > \dots > \delta_{k2}^{\alpha}$ va to'plam H_i , $i=1, \dots, k$ juft o'zaro kesishmaydigan hisoblanadi. $\delta_{i+11}^{\alpha} = 0$, $\delta_{i+12}^{\alpha} = 0$ lani aniqlab, quyidagi ifodalarni olamiz:

$$\begin{aligned} \int_0^{\delta_1^{\alpha}} \eta_1^{\alpha}(a_1^{\alpha} \geq \delta_1^{\alpha}) d\delta_1^{\alpha} &= \sum_{i=1}^k (\delta_{i1}^{\alpha} - \delta_{i+11}^{\alpha}) \eta_1^{\alpha} \left(\bigcup_{i=1}^k \mathcal{H}_i \right), \\ \int_0^{\delta_2^{\alpha}} \eta_2^{\alpha}(a_2^{\alpha} \geq \delta_2^{\alpha}) d\delta_2^{\alpha} &= \sum_{i=1}^k (\delta_{i2}^{\alpha} - \delta_{i+12}^{\alpha}) \eta_2^{\alpha} \left(\bigcup_{i=1}^k \mathcal{H}_i \right). \end{aligned}$$

Bundan,

$$\int_0^{\bar{\delta}} \tilde{\eta}(\bar{a} \geq \bar{\delta}) d\bar{\delta} = \sum_{i=1}^k (\bar{\delta}_i - \bar{\delta}_{i+1}) \tilde{\eta} \left(\bigcup_{i=1}^k \mathcal{H}_i \right). \quad (5.6.3)$$

Biz fikrlashlarimizda Xukugari farqlaridan foydalanishimizni eslatib o'tamiz. Induktiv taklif $k < n$ uchun quyidagiga ega bo'lishimizni nazarda tutadi:

$$\tilde{I}(\bar{a}) = \sum_{i=1}^k (\bar{\delta}_i - \bar{\delta}_{i+1}) \tilde{\eta} \left(\bigcup_{i=1}^k \mathcal{H}_i \right). \quad (5.6.4)$$

Bizdan $k = n$ uchun (5.6.4) o'rinli ekanligini isbotlashimiz talab etiladi. $k=1$ uchun $I_1^{\alpha}(\delta_1^{\alpha} \mathcal{H}^*) = \delta_1^{\alpha} \eta_1^{\alpha}(\mathcal{H}^*)$ va $I_2^{\alpha}(\delta_2^{\alpha} \mathcal{H}^*) = \delta_2^{\alpha} \eta_2^{\alpha}(\mathcal{H}^*)$ o'rinli, ya'ni $\tilde{I}(\bar{\delta} \mathcal{H}^*) = \bar{\delta} \tilde{\eta}(\mathcal{H}^*)$.

Agar $\bar{a}$ ning α -kesimlari uchlari $a_1^{\alpha} = \sum_{i=1}^k \delta_{i1}^{\alpha} \mathcal{H}_i^*$, $a_2^{\alpha} = \sum_{i=1}^k \delta_{i2}^{\alpha} \mathcal{H}_i^*$ bo'lsa,

unda $\bar{a} = \bar{b} + \bar{c}$ va bunda $b_1^{\alpha} = \sum_{i=1}^{k-1} (\delta_{i1}^{\alpha} - \delta_{i+11}^{\alpha}) \mathcal{H}_i^*$, $b_2^{\alpha} = \sum_{i=1}^{k-1} (\delta_{i2}^{\alpha} - \delta_{i+12}^{\alpha}) \mathcal{H}_i^*$, $c_1^{\alpha} = \delta_{k1}^{\alpha} \left(\sum_{i=1}^k \mathcal{H}_i^* \right)$, $c_2^{\alpha} = \delta_{k2}^{\alpha} \left(\sum_{i=1}^k \mathcal{H}_i^* \right)$.

Induktiv taklifdan ($k-1 < n$) quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned}\bar{I}(\bar{b}) &= \sum_{i=1}^{k-1} ((\bar{\delta}_i - {}_k\bar{\delta}_i) - {}_k(\bar{\delta}_{i+1} - {}_k\bar{\delta}_i)) \bar{\eta} \left(\bigcup_{j=1}^i \mathcal{H}_j \right) = \\ &= \sum_{i=1}^{k-1} (\bar{\delta}_i - {}_k\bar{\delta}_{i+1}) \bar{\eta} \left(\bigcup_{j=1}^i \mathcal{H}_j \right) \\ \bar{I}(\bar{c}) &= \bar{\delta}_k \bar{\eta} \left(\bigcup_{j=1}^k \mathcal{H}_j \right).\end{aligned}$$

Shunday qilib, $\bar{I}(\bar{b}) + \bar{I}(\bar{c}) = \sum_{i=1}^k (\bar{\delta}_i - {}_k\bar{\delta}_{i+1}) \bar{\eta} \left(\bigcup_{j=1}^i \mathcal{H}_j \right)$. Boshqa tomondan,

$\bar{b}$ va $\bar{c}$ komonoton bo'lganligi sababli, $\bar{I}(\bar{a}) = \bar{I}(\bar{b}) + \bar{I}(\bar{c})$ va teorema 5.6.4 $k=n$ uchun isbotlandi.

Izoh 5.6.2. Teorema 5.6.3 uchun teskari tasdiqdan, agar noaniq funksional $\bar{I}$ (5.6.2) ga muvofiq noaniq qiymatli noaniq o'lcham bo'yicha aniqlansa, unda bu funksional komonoton additivlik va monotonlikni qanoatlantirishi kelib chiqadi. Buni teorema 5.6.3 ni teskarisidan isbotlash yo'li bilan ham ko'rsatish mumkin. (5.6.2) ga muvofiq noaniq qiymatli noaniq o'lcham $\bar{\eta}$ bilan aniqlangan funksional $\bar{I}$ uchun, u komonoton additiv va monoton ekanligini isbotlash lozim. Funksional $\bar{I}$ ning monotonligi, $\mathcal{S}$ dagi $\bar{a} \geq \bar{b}$, E^I dagi $\bar{a}^* \geq \bar{b}^*$ ni bildirishidan kelib chiqadi.

Demak, birinchidan, noaniq chekli pog'onali funksiyalar uchun $\mathcal{B}$ dagi komonoton additivlikni aks ettirish lozim. Shu maqsadda quyidagi tasdiqlar ifodalanadi.

Tasdiq 5.6.1. Agar juft o'zaro kesishmaydigan ostto'plamlar $(\mathcal{H}_i)_{i=1}^k$ da butun k , bo'linish $\mathcal{S}$ va $\bar{b} = \sum_{i=1}^k \bar{\beta}_i \mathcal{H}_i$ va $\bar{c} = \sum_{i=1}^k \bar{\gamma}_i \mathcal{H}_i$ bo'ladigan noaniq sonlar $\bar{\beta}_1 \geq \bar{\beta}_2 \geq \dots \geq \bar{\beta}_k$ va $\bar{\gamma}_1 \geq \bar{\gamma}_2 \geq \dots \geq \bar{\gamma}_k$ ning ikkita k -ro'yxati mavjud bo'lsa, berilgan ikkita noaniq chekli pog'onali funksiyalar $\bar{b}, \bar{c} \in \mathcal{B}$ komonoton hisoblanadi.

Bu tasdiqning isboti ma'lumdir.

Tasdiq 5.6.2. $(\mathcal{H}_i)_{i=1}^k$ — bu $\bar{\mathcal{F}}_S$ -o'lchanadigan chekli bo'linish bo'lsin (agar $i \neq j$ bo'lsa, unda $\mathcal{H}_i \cap \mathcal{H}_j = \emptyset$), shuningdek $\bar{\alpha}_1 \geq \bar{\alpha}_2 \geq \dots \geq \bar{\alpha}_k$ da $\bar{a} = \sum_{i=1}^k \bar{\alpha}_i \mathcal{H}_i$ bo'lsin. Unda $\bar{\delta}_{k+1} = 0$ bo'lganda ixtiyoriy noaniq qiymatli noaniq o'lcham uchun $\bar{\eta}: \bar{\mathcal{F}}_S \rightarrow \mathcal{E}^I$ quyidagini olishimiz mumkin:

$$\int_{-\infty}^{\bar{a}} \bar{a}^*(\bar{\delta}) d\bar{\delta} = \sum_{i=1}^k (\bar{\delta}_i - {}_k\bar{\delta}_{i+1}) \bar{\eta} \left(\bigcup_{j=1}^i \mathcal{H}_j \right). \quad (5.6.5)$$

(5.6.5) ning chap qismidagi ifoda bilan aniqlangan $\tilde{I}(\bar{a})$ uchun formula (5.6.5) va tasdiq 5.6.2 komonoton noaniq chekli pog'onali funksiyalar uchun aditivlikni nazarda tutadi. Bu natijani ixtiyoriy komonoton funksiyagacha kengaytirish, $\tilde{d}_m$ o'lchamdagi mos chegaralarni hisoblash yo'li bilan amalga oshiriladi.

$B(K)$ to'plam K dagi qiymatlarga ega bo'lgan B dan iborat funksiyalar to'plamini bildiradi va $\mathcal{K} \supset \{\bar{v} \in \mathcal{E}^1 | -\bar{v} \leq \bar{v} \leq \bar{v}\}$, bunda $\bar{v} \geq 0, -\bar{v} = -1\bar{v}$.

Natija 5.6.1. Shunday $\tilde{I}: B(K) \rightarrow \mathcal{E}^1$ berilgan bo'lsin va u uchun quyidagilar bajarilsin:

1) barcha $\bar{\lambda} \in \mathcal{K}$ uchun $\tilde{I}(\bar{\lambda}S^*) = \bar{\lambda}$,

2) agar $\bar{a}, \bar{b}$ va $\bar{c}$ juft komonotonlar va $\tilde{I}(\bar{a}) > \tilde{I}(\bar{b})$ bo'lsa, unda $\tilde{I}(\sigma\bar{a} + (1-\sigma)\bar{c}) > \tilde{I}(\sigma\bar{b} + (1-\sigma)\bar{c})$, $\sigma \in (0, 1)$,

3) agar S da $\bar{a} \geq \bar{b}$ bo'lsa, unda $\tilde{I}(\bar{a}) \geq \tilde{I}(\bar{b})$ bo'ladi.

Unda, $\tilde{\mathcal{F}}_S$ da $\tilde{\eta}(\mathcal{H}) = \tilde{I}(\mathcal{H}')$ ni aniqlagan holda, barcha $\bar{a} \in B(K)$ quyidagini hosil qilamiz:

$$\tilde{I}(\bar{a}) = \int_0^{\bar{a}} \tilde{\eta}(\bar{a} \geq \bar{\delta}) d\bar{\delta} + \int_{-\bar{a}}^0 (\tilde{\eta}(\bar{a} \geq \bar{\delta}) - 1) d\bar{\delta}.$$

Isbot $\tilde{I}$ ni $B(K)$ ga $\tilde{I}$ dan B ga yoyishdan iborat va teorema 5.6.3 sharti qanoatlantirildi. $\tilde{I}: B(K)$ da bir jinsli bo'lganligi sababli, u B da bir jinsli funksiyagacha bir qiymatli kengaytirilishi mumkin. Bir jinslilikka ko'ra, kengaytirilgan funksional $\tilde{I}$ monotonlik shartini qanoatlantiradi. $\tilde{I}$ ning B dagi komonoton additivligi quyidagi lemmalar va bir jinslilik xossaligidan kelib chiqadi.

Lemma. Natija 5.6.1 ning sharti bajarilsin va $B(K)$ dagi $\bar{a}$ va $\bar{b}$ komonoton bo'lsin hamda ba'zi $\varepsilon > 0$ uchun $\tilde{d}_m(\bar{a}(\bar{S}), 0) \geq -1 + \varepsilon$, $\tilde{d}_m(\bar{b}(\bar{S}), 0) \leq -1 - \varepsilon$, shuningdek $0 < \lambda < 1$ bo'lsin. Unda $\tilde{I}(\lambda\bar{a} + (1-\lambda)\bar{b}) = \lambda\tilde{I}(\bar{a}) + (1-\lambda)\tilde{I}(\bar{b})$ bo'ladi.

Isbot. $\tilde{I}(\bar{a}) = \bar{\sigma}$ va $\tilde{I}(\bar{b}) = \bar{\beta}$ belgilashlarni kiritamiz. Lemmaning shartidan, shuningdek natija 5.6.1 ning (i) va (iii) shartlaridan $\bar{\sigma}S^*, \bar{\beta}S^* \in B(K)$, $\tilde{I}(\bar{\sigma}S^*) = \bar{\sigma}$ va $\tilde{I}(\bar{\beta}S^*) = \bar{\beta}$ kelib chiqadi.

$\tilde{I}(\lambda\bar{a} + (1-\lambda)\bar{b}) = \lambda\tilde{I}(\bar{a}) + (1-\lambda)\tilde{I}(\bar{b})$ ekanligini isbotlashimiz zarur. Faraz qilamiz, $\tilde{I}(\lambda\bar{a} + (1-\lambda)\bar{b}) > \lambda\tilde{I}(\bar{a}) + (1-\lambda)\tilde{I}(\bar{b})$ bo'lsin (boshqa tengsizliklar o'xshash tarzda ko'rib chiqiladi).

$0 < \xi < \varepsilon$ bo'lsin. Unda (i) ga muvofiq,

$\bar{I}(\bar{\sigma}) < \bar{I}((\bar{\sigma} + \xi)S^*), \bar{I}(\bar{b}) < \bar{I}((\bar{b} + \xi)S^*)$ ga ega bo'lamiz. Keyin

$$\lambda\bar{\sigma} + (1-\lambda)\bar{b} + \xi = \bar{I}(\lambda(\bar{\sigma} + \xi)S^* + (1-\lambda)(\bar{b} + \xi)S^*) >$$

$$\bar{I}(\lambda\bar{a} + (1-\lambda)(\bar{b} + \xi)S^*) > \bar{I}(\lambda\bar{a} + (1-\lambda)\bar{b}).$$

Bu yerda tenglik (i) dan va ikki tengsizlikdan har biri (ii) dan kelib chiqadi. Yuqorida keltirilgan tengsizlik ixtiyoriy ξ ($0 < \xi < \varepsilon$) o'rinli. Biz qarama-qarshilikka kelib qoldik. Lemma isbotlandi.

Izoh 5.6.3. Agar $B(K)$ ni $B_0(K)$ ga almashtirilsa, natija 5.6.1 o'rinlidir. Bu yerda $B_0(K)$ – cheklangan, $\tilde{F}_s$ -o'lchanadigan, noaniq chekli pog'onali funksiyalar to'plami. Bu lemma uchun ham o'rinlidir.

Shokening noaniq integral osti funksiyali noaniq qiymatli integrali [44] va noaniq qiymatli noaniq o'lcham $\tilde{\eta}$ bo'yicha yuqorida keltirilgan qo'shimcha natijalarni e'tiborga olsak, 5.6.1 va 5.6.2 teoremlarni isbotlashimiz mumkin. 5.6.1 teoremani isbotlashga o'tamiz.

5.6.1 teoremaning isboti.

1-qadam. Y da aniqlangan affin noaniq funksiya mavjudligini ko'rsatamiz.

Affinlik $\tilde{u}$ quyidagicha aniqlangan $\tilde{u}(\tilde{y}) = \sum_{\tilde{X} \in X} \tilde{y}(\tilde{X})\tilde{u}(\tilde{X})$ ni nazarda tutadi:

$$\mu_{\tilde{u}(\tilde{y})}(u(\tilde{y})) = \sup_u \min_y (\mu_{\tilde{u}(\tilde{X})}(u(\tilde{X})), (\mu_{\tilde{y}(\tilde{Y})}(y(\tilde{X}))).$$

$\tilde{u}$ uchun musbat chiziqli transformatsiya $\tilde{u}'$ qo'shish va ko'paytirish Zodaning kengaytirish tamoyiliga asoslanuvchi $\tilde{u} = \tilde{A}\tilde{u}(\tilde{y}) + \tilde{B}$, $\tilde{A} \in E^{-1}, \tilde{B} \in E^1$ ni nazarda tutadi.

Neyman-Morgenshtern teoremasi natijalaridan foydalanib, faraz qilamiz, Y da berilgan ALM ni aks ettiruvchi noaniq funksiya $\tilde{u}$ mavjud. Keyin, buzilmaslik aksiomalaridan, $\tilde{f} \succ_i \tilde{f}$ bo'ladigan A_0 dagi $\tilde{f}^*$ va $\tilde{f}$ mavjudligi kelib chiqadi. Monotonlik aksiomalaridan $\tilde{f}^*(\tilde{S}) \equiv \tilde{y}^* \succ_i \tilde{f}(\tilde{S}) \equiv \tilde{y}$ uchun $\tilde{S}$ holatning mavjudligi kelib chiqadi. $\tilde{u}$ musbat chiziqli o'zgartirishgacha bo'lgan aniqlik bilan olinganligi sababli, $\tilde{u}(\tilde{y}_*) = -\tilde{v}$ va $\tilde{u}(\tilde{y}^*) = \tilde{v}$, $\tilde{v} \in E^1$ deb faraz qilamiz. $K = \tilde{u}(Y)$ deb belgilaymiz, u $-\tilde{v}, \tilde{v} \in K$ bo'lganda qavariq ostto'plam [54] E^1 hisoblanadi.

2-qadam. Bu bosqichda A_0 da aniqlangan, affin noaniq funksiya mavjudligini ko'rsatamiz.

Ixtiyoriy $\tilde{f} \in A_0$ uchun $M_{\tilde{f}} = \{\sigma\tilde{f} + (1-\sigma)\tilde{y}^s \mid \tilde{y} \in Y \text{ va } \sigma \in [0,1]\}$ ni

belgilaymiz. Ravshanki, $\mathcal{M}_j$ – qavariq, $\mathcal{M}_j$ da ixtiyoriy ikki harakat – komonoton. Shunday qilib, $\mathcal{M}_j$ da ALM ni aks ettiruvchi affin noaniq funksiya mavjudligini ko'rsatishimiz mumkin.

3-qadam. $\bar{u}$ va $\bar{J}_j$ asosida aniqlangan noaniq qiymatli funksional [52] mavjudligini ko'rsatamiz.

$\bar{u}$ vositasida funksiya $\bar{\Phi}: \mathcal{A}_0 \rightarrow \mathcal{B}_0(\mathcal{K})$ ni $\bar{\Phi}(\bar{f})(\bar{S}) = \bar{u}(\bar{f}(\bar{S}))$, $\bar{S} \in \mathcal{S}$, $\bar{f} \in \mathcal{A}_0$ kabi aniqlaymiz. Agar $\bar{\Phi}(\bar{f}) = \bar{\Phi}(\bar{g})$ bo'lsa, unda $\bar{f} \sim_j \bar{g}$ bo'ladi (bu monotonlikdan kelib chiqadi). Bundan $\bar{\Phi}(\bar{f}) = \bar{\Phi}(\bar{g})$ va $\bar{J}(\bar{f}) = \bar{J}(\bar{g})$ kelib chiqadi.

Noaniq funksiya $\bar{J}$ ni $\mathcal{B}_0(\mathcal{K})$ da quyidagicha aniqlaymiz: $\bar{a} \in \mathcal{B}_0(\mathcal{K})$ uchun $\bar{J}(\bar{a}) = \bar{J}(\bar{f})$ bo'ladi, bu yerda $\bar{f} \in \mathcal{A}_0$ – shundayki, bunda $\bar{\Phi}(\bar{f}) = \bar{a}$. $\bar{J}$ to'la aniqlandi, chunki $\bar{J}$ – bu $\bar{\Phi}^{-1}(\bar{a})$ dagi doimiy noaniq funksiya ($\exists \bar{v} \in \mathcal{E}^1$, $\bar{J}(\bar{f}) = \bar{v}$, $\forall \bar{f} \in \mathcal{A}$).

4-qadam. Bu qadamda 5.6.1 teoremaning isboti tugatiladi.

(i), (ii) va (iii) shartlarni qanoatlantiruvchi $\mathcal{B}_0(\mathcal{K})$ dan olingan noaniq funksiya uchun natija 5.6.1 va izoh 5.6.4 dan, agar va faqat agar $\int_S \bar{a} d\bar{\eta} \geq \int_S \bar{b} d\bar{\eta}$, $\forall \bar{a}, \bar{b} \in \mathcal{B}_0(\mathcal{K})$ bo'lsa, $\bar{\eta}(\mathcal{H}) = \bar{J}(\mathcal{H})$ kabi aniqlangan $\bar{\mathcal{F}}_S$ dagi noaniq qiymatli noaniq o'lcham $\bar{\eta}$ quyidagi shartni qanoatlantirishi kelib chiqadi:

$$\bar{J}(\bar{a}) \geq \bar{J}(\bar{b}) \quad (5.6.6)$$

Agar va faqat agar $\int_S \bar{\Phi}(\bar{f}) d\bar{\eta} \geq \int_S \bar{\Phi}(\bar{g}) d\bar{\eta}$ bo'lsa, barcha $\bar{f}$ va $\bar{g}$ uchun

$\bar{f} > \bar{g}$ ga ega bo'lamiz.

Teorema isbotlandi.

5.6.2 teoremaning isboti.

1-qadam. $\bar{u}$ va $\bar{\eta}$ bilan buzilgan, afzallikning lingvistik munosabati (ALM) (i)-(v) aksiomalarni qanoatlantirishini ko'rsatamiz.

Bu teoremani isbotlash uchun izohlar 5.6.1-5.6.3, teorema 5.6.3 va boshqa yuqorida keltirilgan natijalardan foydalanamiz. Ular shuni ko'rsatadiki, (5.6.6) ga muvofiq aniqlangan $\mathcal{B}_0(\mathcal{K})$ dan kelib chiqqan $\bar{J}$ shartlar (i)-(iii) ni qanoatlantiradi. Ikkinchidan, $\bar{J}$ qiymat $\bar{\Phi}$ va $\bar{J}$ ning uyg'unligi sifatida aniqlanishi ravshan.

Shunday qilib, $\bar{J}$ bilan buzilgan ALM shartlarning barcha talablarini qanoatlantiradi, chunki $\bar{\Phi}$ monotonlik va komonotonlikni

saqlaydi, $\int_S \bar{a} d\bar{\eta}$ esa $\bar{a}_{\eta}$ funksiya o'lchamidagi $\bar{a}$ ga ko'ra supremum me'yor bo'yicha uzluksizdir (bu [36] ishda ko'rib chiqilgan klassik (noaniq) funksional turi hisoblanuvchi $\int_S \bar{a} d\bar{\eta}$ ning α -kesimlari uchlarining xossalriga o'xshash asoslanadi).

2-qadam. Bu bosqichda foydalilikning noaniq funksiyasini yagonaligini ko'rsatamiz.

Foydalilikning yagonalik xossasini isbotlash uchun, faraz qilamiz, noaniq sonli qiymatli affin funksiya $\bar{u}'$ va noaniq qiymatli noaniq o'lcham $\bar{\eta}'$ berilgan bo'lsin va barcha $\bar{f}$ va $\bar{g}$ uchun quyidagi shart o'rinli:

agar va faqat agar $\int_S \bar{u}'(\bar{f}(\bar{S}))d\bar{\eta}' \geq \int_S \bar{u}'(\bar{g}(\bar{S}))d\bar{\eta}'$ bo'lsa, $\bar{f} > \bar{g}$ bo'ladi. (5.6.7)

Monotonlik $\bar{\eta}'$ ni isbotlash mumkin. Barcha $\bar{f}, \bar{g} \in \mathcal{A}_c$ uchun (5.6.7) ni e'tiborga olgan holda (fon Neyman va Morgenshtern teoremlari natijalariga, shuningdek Zodaning kengayish tamoyiliga asoslanib), $\bar{u}'$ – musbat chiziqli o'zgartirish ekanligini hosil qilamiz. Lekin (5.6.7) foydalilikning noaniq funksiyasini musbat chiziqli o'zgartirish uchun saqlanib qoladi. Ixtiyoriy $\mathcal{H}$ va $\bar{f}$ uchun $\bar{\phi}(\bar{f}) = \bar{\lambda} \mathcal{H}, \bar{\lambda} \in \mathcal{E}^1$ bo'lsin. Unda $\int_S \bar{\phi}(\bar{f})d\bar{\eta} = \bar{v}\bar{\eta}(\mathcal{H})$ va $\int_S \bar{\phi}(\bar{f})d\bar{\eta}' = \bar{v}\bar{\eta}'(\mathcal{H})$ bo'ladi. $\bar{Y}$ da $\bar{y}$ shunday bo'ladi-ki, unda $\bar{u}(\bar{y}) = \bar{v}\bar{\eta}(\mathcal{H})$ o'rinli. Demak, $\bar{f} \sim_{\bar{y}} \bar{y}^s$ bo'lishi $\bar{u}(\bar{y}) = \bar{u}'(\bar{y}) = \int_S \bar{u}(\bar{y})d\bar{\eta}' = \bar{v}\bar{\eta}'(\mathcal{H})$ ni anglatadi. Shunday qilib, $\bar{v}\bar{\eta}(\mathcal{H}) = \bar{v}\bar{\eta}'(\mathcal{H})$ va $\bar{\eta}(\mathcal{H}) = \bar{\eta}'(\mathcal{H})$.

Teorema isbotlandi.

Harakat $\bar{f}$ uchun foydalilikning noaniq funksiyasi $\bar{U}$ ning qiymati Shokening noaniq qiymatli integrali kabi aniqlanadi [17, 30, 43, 51]:

$$\bar{U}(\bar{f}) = \int_S \bar{u}(\bar{f}(\bar{S}))d\bar{\eta}_p = \sum_{i=1}^n \left(\bar{u}(\bar{f}(\bar{S}_{(i)})) - \bar{u}(\bar{f}(\bar{S}_{(i+1)})) \right) \cdot \bar{\eta}_p(\mathcal{H}_{(i)}). \quad (5.6.8)$$

Bu yerda: $\bar{\eta}_p()$ – s da lingvistik ehtimolliklarning taqsimlanishi asosida qurilgan noaniq qiymatli noaniq o'lcham, $\bar{u}(\bar{f}(\bar{S}_{(i)}))$ – foydalilikni baholash uchun ishlatiladigan noaniq funksiya bo'lib, tabiiy til (i) ga asoslangan va foydalilik tartiblanganligini bildiradi, $\bar{u}(\bar{f}(\bar{S}_{(i)})) \geq \bar{u}(\bar{f}(\bar{S}_{(i+1)}))$, $\mathcal{H}_{(i)} = \{\bar{S}_{(i)}, \dots, \bar{S}_{(n)}\}$, $\bar{u}(\bar{f}(\bar{S}_{(n+1)})) = 0$ va har bir (i) uchun

$\bar{u}(\bar{f}(\bar{S}_{i+1})) - \bar{u}(\bar{f}(\bar{S}_{i+1}))$ o'rinli. Ko'paytirish va qo'shish Zodaning kengayish prinsipi bo'yicha aniqlanadi. Optimal $\bar{f}^* \in \mathcal{A}$, ya'ni $\bar{f}^* \in \mathcal{A}$ uchun $\bar{U}(\bar{f}^*) = \max_{\bar{f} \in \mathcal{A}} \left\{ \int_S \bar{u}(\bar{f}(\bar{S})) d\bar{\eta}_{\bar{f}^*} \right\}$ noaniq sonlarning ranglanishini mos usuli yordamida aniqlanishi mumkin.

Xususiylashtirilgan holda, taklif etilgan qaror qabul qilish modeli va foydalilikni aks ettirishlar, Shmaydler tomonidan [36] ishda taklif etilgan modellar va aks ettirishlarga olib kelinadi.

5.6.4. Lingvistik ehtimolliklar asosida noaniq qiymatli noaniq o'lchovlarni qurish

Muqobilning noaniq foydaliligidini aniqlashda noaniq qiymatli o'lchov qurish $\bar{\eta}$ asosiy muammo hisoblanadi. Lingvistik ehtimolliklar $\bar{P}^j$ ni taqsimlanishi asosida qurilgan noaniq qiymatli quyi ehtimollikni aniqlashni ko'rib chiqamiz. Lingvistik ehtimollik $\bar{P}^j$ ni taqsimlanishi $\bar{S}_j \in S$ holatda lingvistik ehtimollik $\bar{P}_j$ ni belgilanadi, u $[0,1]$ da aniqlangan noaniq son bilan tavsiflanadi. Lekin $\bar{P}_j$ noaniq ehtimollik boshlanishidan barcha $\bar{S}_j \in S$ lar bilan belgilangan bo'lishi mumkin emas [53]. Boshlang'ich ma'lumotlar tabiatni noaniq holatlarini $(n-1)$ noaniqlik ehtimollari uchun ifodalangan, u holda ehtimollik bitta noaniq holat uchun noaniq. Mos ravishda noma'lum noaniq ehtimollik $\bar{P}(\bar{S}_j) = \bar{P}_j$ ni aniqlash zaruriyati tug'iladi.

So'zlar bilan hisoblashlar texnologiyalari doirasida [7, 8, 24, 26, 32, 38] boshqa barcha holatlarda noma'lum noaniq ehtimollik $\bar{S}_j$ holatini topish masalasi umumlashtirilgan cheklanishlarni [14, 18, 20] tarqalish masalasi sifatida quriladi va quyidagicha ifodalanadi:
Oraliqda

$$\bar{P}(\bar{S}_j) = \bar{P}_j; \bar{S}_j \in E^n, \bar{P}_j \in E_{[0,1]}^1, j = \{1, \dots, j-1, j+1, \dots, n\} \quad (5.6.9)$$

Berilgan holda quyidagi noma'lum topilsin

$$\bar{P}(\bar{S}_j) = \bar{P}_j, \bar{P}_j \in E_{[0,1]}^1. \quad (5.6.10)$$

Ushbu masala noma'lum noaniq ehtimollik $\widetilde{P}_j$ uchun tegishlilik funksiyasi $\mu_{\widetilde{P}_j}(\cdot)$ ni qurishni variatsion masalasiga keltiriladi:

$$\mu_{\widetilde{P}_j}(p_j) = \sup_p \min_{i \in \{1, \dots, j-1, j+1, \dots, n\}} (\mu_{\widetilde{P}_i}(\int_S \mu_{\widetilde{S}_i}(s) \rho(s) ds)) \quad (5.6.11)$$

quyidagi shartda:

$$\int_S \mu_{\widetilde{S}_j}(s) \rho(s) ds = p_j, \quad \int_S \rho(s) ds = 1 \quad (5.6.12)$$

bu yerda: $\mu_{\widetilde{S}_j}(s)$ – noaniq holat $\widetilde{S}_j$ ni tegishlilik funksiyasi.

$\widetilde{P}_j$ aniqlanganda barcha $\widetilde{S}_j$ holatlar bo'yicha lingvistik ehtimollik $\widetilde{P}'$ ni taqsimlanishini olamiz:

$$\begin{aligned} in \widetilde{P}' &= \max \left\{ 0, 1 - \sum p_i \right\} \\ \widetilde{P}' &= \widetilde{P}_1 / \widetilde{S}_1 + \widetilde{P}_2 / \widetilde{S}_2 + \dots + \widetilde{P}_n / \widetilde{S}_n. \end{aligned}$$

Agar bizda ba'zi bir tasodifiy o'zgaruvchi $\widetilde{S}$ ni noaniq qiymatlari bo'yicha, o'zini qiymati bo'yicha noaniq ko'plikka ega bo'lsa, ushbu taqsimlanishni kelishilganligi, to'liqligi va ortiqchaligini tekshirishdek eng muhim masala paydo bo'ladi [42]. Lingvistik ehtimolliklar ko'pligi $\widetilde{P}' = \{\widetilde{P}_1, \dots, \widetilde{P}_n\}$ lingvistik qiymatlar $\{\widetilde{S}_1, \dots, \widetilde{S}_n\}$ ko'pligi o'zini qiymatida noaniq ko'plikka ega bo'lgan $\widetilde{S}$ - tasodifiy o'zgaruvchiga mos kelsin. Xususiyl holda noaniq

$$p_j = \int_S \mu_{\widetilde{S}_j}(s) \rho(s) ds \quad (5.6.13)$$

yoki

$$\mu_{\widetilde{P}_j} \left(\int_S \mu_{\widetilde{S}_j}(s) \rho(s) ds \right) = 1 \quad (5.6.14)$$

Zichliklarni baholash ko'pligidan hech qanday zichlik ρ uchun (5.6.13) yoki (5.6.14) shartlar qoniqtirilmasa, noaniq ehtimollik $\widetilde{P}'$ ni taqsimlanishi kelishilgan bo'ladi.

Lingvistik ehtimolliklarning $\widetilde{P}$ taqsimlanish kelishilganlik darajasi $\widetilde{P}'$ (contr) darajasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\text{contr}\widetilde{P}' = \min_s \left[1 - \int_s \rho(s) ds \right], \quad (5.6.15)$$

Bu yerda ρ (5.6.13) va (5.6.14) – shartlarni qanoatlantiradi.

Agar talab qilingan $\widetilde{P}$ mavjud bo'lsa, u holda $\text{contr}\widetilde{P}' = 0$. Lingvistik ehtimolliklar $\widetilde{P}$ ning taqsimlanganligi kelishilgan bo'lsin, u holda $\widetilde{P}$ nolga teng. Agar bunday taqsimlanish noaniq sonlar ko'pligi sifatida berilgan bo'lsa, u holda uning noto'liqligi (**in bilan belgilanadi**) va ortiqchaligi (**red bilan belgilanadi**), va quyidagicha belgilanishi mumkin:

$$\text{in}\widetilde{P}' = \max \left\{ 0, 1 - \sum_i P_i \right\}, \quad (5.6.16)$$

$$\text{red}\widetilde{P}' = \max \left\{ 0, \sum_i P_i - 1 \right\} \quad (5.6.17)$$

Agar $\widetilde{P}$ lingvistik ehtimolliklar $\widetilde{P}$ yordamida berilsa, u holda uni noto'liqligi va ortiqchaligi quyidagi tarzda ifodalanishi mumkin:

$$\text{in}\widetilde{P}_s = \max \left\{ 0, 1 - \sup_{\gamma \in \Gamma} \gamma \right\}, \quad (5.6.18)$$

$$\text{red}\widetilde{P}_s = \max \left\{ 0, \inf_{\gamma \in \Gamma} \gamma - 1 \right\}. \quad (5.6.19)$$

bu yerda $\Gamma = \{\gamma \mid \mu_\lambda(\gamma) = 1\}$.

Lingvistik ehtimolliklar $\widetilde{P}$ ni kelishilgan, to'liq va ortiqcha taqsimlanganligi ga ega bo'la turib, biz $\rho(s)$ ni mumkin bo'lgan ehtimolliklarni $\widetilde{p}^s$ noaniq ko'pligini olishimiz mumkin. $\widetilde{p}^s$ ko'pligi asosida noaniq qiymatning noaniq o'lchov uni quyi ehtimolligi [5] sifatida ko'rishimiz mumkin, bunda $\widetilde{P}'$ ga $\rho(s)$ ni darajasini hisobga olinadi. Quyi oldindan ko'rish – bu additiv va noadditiv o'lchovlarni umumlashtiruvchi o'lchov [9, 13]. Noaniq qiymatli noaniq o'lchov $\widetilde{\eta}_s$ ni belgilaymiz, chunki u lingvistik ehtimolliklar $\widetilde{P}$ ni taqsimlanishi asosida quriladi. Ehtimolliklarni ixtiyoriy taqsimlanishini $\rho(s)$ $\widetilde{P}$

tegishlilik darajasi ($\rho(s)$ ni $\bar{P}$ ga moslik darajasi) quyidagi formula yordamida olinishi mumkin:

$$\pi_{\bar{P}}(\rho(s)) = \min_{i=1, n}(\pi_{\bar{P}_i}(p_i)),$$

Bu yerda $p_i = \int_S \rho(s) \mu_{S_i}(s) ds - e$ $\rho(s)$ asosida anqilangan noaniq holatni $\bar{S}_i$ son ehtimolligi.

Undan tashqari, $\pi_{\bar{P}}(p_i) = \mu_{\bar{P}_i}\left(\int_S \rho(s) \mu_{S_i}(s) ds\right)$ – bu p_i ni $\bar{P}_i$ ga tegishlilik darajasi.

Noaniq qiymatli noaniq o'lchov $\eta_{\bar{P}}$ ni qurish uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$\eta_{\bar{P}}(H) = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \left[\eta_{\bar{P}_1}^{\alpha}(H), \eta_{\bar{P}_1}^{\alpha}(H) \right], \quad (5.6.20)$$

bu yerda

$$\begin{aligned} \eta_{\bar{P}_1}^{\alpha}(H) &= \inf \left\{ \int_S \rho(s) \mu_H(s) ds \mid \rho(s) \in P^{\alpha} \right\}, \\ \eta_{\bar{P}_2}^{\alpha}(H) &= \inf \left\{ \int_S \rho(s) \mu_H(s) ds \mid \rho(s) \in \text{core}(\bar{P}^{\alpha}) \right\}, \end{aligned} \quad (5.6.21)$$

$$P^{\alpha} = \left\{ \rho(s) \mid \min_{i=1, n}(\pi_{\bar{P}_i}(p_i)) \geq \alpha \right\}, \text{core}(\bar{P}^{\alpha}) = P^{\alpha^*}, H \subset S$$

tashuvchi $\eta_{\bar{P}}$ quyidagicha aniqlanadi $\text{supp } \eta_{\bar{P}} = cl \left(\bigcup_{\alpha \in (0,1]} \eta_{\bar{P}}^{\alpha} \right)$.

Xususiy holda, qachonki tabiatni holati – bor yo'g'i ba'zi bir elementlar bo'lib, noaniq qiymatli noaniq o'lchov $\tilde{\eta}_{\bar{P}}$ quyidagicha aniqlanadi:

$$\tilde{\eta}_{\bar{P}}(H) = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \left[\tilde{\eta}_{\bar{P}_1}^{\alpha}(H), \tilde{\eta}_{\bar{P}_2}^{\alpha}(H) \right], \quad H \subset S = \{S_1, \dots, S_n\}, \quad (5.6.22)$$

bu yerda

$$\begin{aligned} \eta_{\bar{P}}^{\alpha}(H) &= \inf \left\{ \sum_{s_i \in H} p(s_i) \mid (p(s_1), \dots, p(s_n)) \in P^{\alpha} \right\}, \\ P^{\alpha} &= \left\{ (p(s_1), \dots, p(s_n)) \in P_1^{\alpha} \times \dots \times P_n^{\alpha} \mid \sum_{i=1}^n p(s_i) = 1 \right\}, \end{aligned} \quad (5.6.23)$$

Bu yerda $P_1^a, \dots, P_n^a - \alpha$ - mos ravishda $\bar{P}_1, \dots, \bar{P}_n$ noaniq ehtimolliklarning α kesimlari, $p(s_1), \dots, p(s_n)$ larga mos ravishda ehtimolliklarning ba'zaviy qiymatlari, $\times$ - dekart ko'paytmasi.

5.6.5. Mukammal bo'lmagan axborot bilan qaror qabul qilishni umumiy metodikasi

Mukammal bo'lmagan axborot bilan qaror qabul qilish masalasi optimal harakatni aniqlashdan $\tilde{f}^* \in A$, ya'ni $\tilde{f}^* \in A$ uchun

$$\tilde{U}(\tilde{f}^*) = \max_{\tilde{f} \in A} \left\{ \int \tilde{u}(\tilde{f}(\tilde{S})) d\tilde{\eta}_{\tilde{P}} \right\}.$$

Bu bo'limda biz bu masalani yechish uslubiyatini beramiz, u quyidagi tavsiflangan bir nechta bosqichlardan iborat.

Birinchi bosqichda lingvistik foydalilik $\tilde{u}(\tilde{f}_j(\tilde{S}_i))$ har bir amal natijasiga $\tilde{f}_j \in A$, $\tilde{S}_i \in s$ har bir holatda qabul qilingan qiymatlarni berish zarurati tug'iladi.

Ikkinchi bosqich qulay bo'lgan lingvistik ehtimollik shaklida qisman bilimlar asosida noaniq qiymatli noaniq o'lchov F_i ni qurishdan iborat.

Birinchidan (5.6.11)-(5.6.12) masalani yechib, noma'lum ehtimollik $P(\tilde{S}_i) = \bar{P}_i$, $\tilde{S}_i \in E^n$, $\bar{P}_i \in E_{[0,1]}^1$, $i = \{1, \dots, j-1, j+1, \dots, n\}$ ni topish zarur $P(\tilde{S}_j) = \bar{P}_j$, $\bar{P}_j \in E_{[0,1]}^1$, natijada tabiatni barcha holatlari bo'yicha lingvistik $\tilde{P}'$ ni taqsimlanishini olamiz. Agar S ga ehtimollik to'g'risida ba'zi bir axborot olingan bo'lsa, (masalan, hodisalar indikatori mavjud bo'lganda), ushbu axborot asosida $\tilde{P}'$ ni yangilash kerak, bunda Baesni [34] noaniq formulasidan foydalanamiz. So'ngra yangi $\tilde{P}'$ asosida (5.6.20) – (5.6.21) masalani yechib, $\tilde{\eta}_{\tilde{P}'}$ ni qurish zarur.

Keyingi bosqichda har bir $\tilde{f}_j$ amal uchun Shoke [44] noaniq qiymatli integralini hisoblash masalasi yechiladi. Ushbu bosqichda $\tilde{f}_j$ amallarida $\tilde{S}$ holatlarini indekslarini 6.5 tarifi asosida o'zgartirish zarur va shunday yangi (i) indekslarini topish kerak, bo'ladi $\tilde{u}(\tilde{f}_j(\tilde{S}_{[i]})) \geq \dots \geq \tilde{u}(\tilde{f}_j(\tilde{S}_{[n]}))$. So'ngra $\tilde{f}$ ni har bir amal uchun (5.6.8) asosida Shokeni noaniq qiymatli integralini noaniq qiymati $\tilde{U}(\tilde{f})$ ni hisoblab topish zarur. So'ngra masala noaniq sonlarni mos keladigan ranglash

usulidan foydalanib, optimal amal $\tilde{f}^* \in A$, ya'ni $\tilde{f}^* \in A$ uchun
$$\bar{U}(\tilde{f}^*) = \max_{\tilde{f} \in A} \left\{ \int_{\tilde{S}} \tilde{u}(\tilde{f}(\tilde{S})) d\tilde{\eta}_{\tilde{S}} \right\}$$
 topib, qo'yilgan masala yechiladi.

5.6.6. Mukammal bo'lmagan axborot bilan ko'p mezonli qarorlarni analiz qilish

Noaniqlik va ko'p mezonli qaror qabul qilish [10,11,18,25,55,56,57] sharoitlarida ular asosida formal parallellik mavjudligi [21] ishda ko'rsatilgan. Mukammal bo'lmagan axborotda $D_{\text{am}} = (S, Y, A, \cdot)$ qaror qabul qilish $D_{\text{UCED}} = (X, I, C)$ $X = X_1 \times \dots \times X_n$ masalasini ko'rib chiqamiz. Biz S ni oxirgi ko'plik deb hisoblaganimiz uchun X elementli $\tilde{f} \in A$ amallarni, ularni vektorlar $(\tilde{\varphi}_1, \dots, \tilde{\varphi}_n)$ sifatida ko'rib chiqishimiz mumkin, bu yerda $\tilde{\varphi}_i \in X_i$, $\tilde{f}(\tilde{S}_i)$ ni bo'ldiradi. So'ngra amallar ustidagi afzalliklar I X ehtimollari ustidagi afzalliklar nisbati bo'lib qoladi. Mukammal bo'lmagan axborot bilan qaror qabul qilish uchun afzallik I formal tarzda quyidagicha ifodalanadi:

$$\forall \tilde{f}, \tilde{g} \in A, \tilde{f} \cdot I \tilde{g} \Leftrightarrow (\tilde{\varphi}_1, \dots, \tilde{\varphi}_n) \cdot I (\tilde{\psi}_1, \dots, \tilde{\psi}_n).$$

Ko'p mezonli qaror qabul qilish uchun muqobil $\tilde{x}$ ga $\tilde{x}'$ ga nisbatan afzallik berilsa, u quyidagicha ifodalanadi:

$$\tilde{x} \cdot I \tilde{x}' \Leftrightarrow (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n) \cdot I (\tilde{x}'_1, \dots, \tilde{x}'_n), \tilde{x}_i, \tilde{x}'_i \in X_i, \forall i \in I.$$

Mukammal bo'lmagan axborot bilan qaror qabul qilish masalasini quyidagi o'xshashliklardan [21] foydalanib: F -tabiat holati va mezonlar; Muqobillar va amallar, natijalar mezonlar qiymatlari sifatida va b.q. Endi ko'p mezonli qaror qabul qilish masalasini qo'yilishiga murojaat qilamiz. Bir o'lchamli foydalilik funksiyalari $u_i: X_i \rightarrow E^1, i=1, \dots, n$ lar uchun aniqlangan deb hisoblaymiz. Afzalliklar $\tilde{x}, \tilde{x}'$ nisbatni ifodalash uchun biz mos keladigan agregatsiya operatori $H: E^n \rightarrow E^1$ ni topishimiz kerak, bunda $\tilde{x}, \tilde{x}'$ quyidagi ifoda to'g'ri bo'lsa

$$\bar{U}(\tilde{x}) = H(\tilde{u}_1(\tilde{x}_1), \dots, \tilde{u}_n(\tilde{x}_n)) \geq U(\tilde{x}') = H(\tilde{u}_1(\tilde{x}'_1), \dots, \tilde{u}_n(\tilde{x}'_n))$$

Bu yerda taklif etilayotgan uslub doirasida biz Shokening noaniq qiymatli integrallash $H(\cdot)$ operatoridan foydalanamiz, undan

$$\begin{aligned}\tilde{U}(\tilde{X}) &= \sum_{i=1}^n [\tilde{u}_i(\tilde{X}_i) - \tilde{u}_{i+1}(\tilde{X}_{i+1})] \tilde{\eta}_{\tilde{P}^I} H_i \geq U(\tilde{X}') = \\ &= \sum_{i=1}^n [\tilde{u}_i(\tilde{X}_i) - \tilde{u}_{i+1}(\tilde{X}_{i+1})] \tilde{\eta}_{\tilde{P}^I} H_i, H_i \subset 2^I\end{aligned}\quad (5.6.24)$$

Bu yerda $\tilde{\eta}_{\tilde{P}^I}$, 2^I ga aniqlangan bo'lib, (5.6.11) – (5.6.12)

masalani yechish yo'li bilan lingvistik ehtimolliklar $\tilde{P}^I$ ni taqsimlanishi asosida quriladi.

5.6.7. Noaniq rezolyutsiya tamoyilini konstruktiv amalga oshirishning ba'zi jihatlar

Avvalo intellektual robotni (IR) maqsadli yo'nalishdagi holatini rejalashtirish uchun rezolyutsiya tamoyilini konstruktiv tarzda amalga oshirish ba'zi bir asosiy jihatlarini yoritib berishi zarur. Shu maqsadda F predikat tushunchasini kiritamiz.

5.6.12- Ta'rif. $P_F(x_1, \dots, x_n) \in [0, 1]$ ko'rinishidagi individual $F - (x_1, \dots, x_n)$ o'zgaruvchini propozitsional funksiyasida aniqlangan bo'lsa, u F predikat deb ataladi. Bu yerda: $P_F - F$ belgisi, ya'ni tegishlilik funksiyasi (TF) bilan nisbati $\eta_F: U_F \rightarrow [0, 1]$; $U_F -$ universal to'plam; $x_i (i = \overline{1, n})$ predikat F ni joyini aniqlaydi. Shuning uchun har bir $x_i (i = \overline{1, n})$ ga ba'zi bir $\tilde{X}_i = \{ \langle X_i', U_{X_i'}, X_i' \rangle, X_i' \in T_i^*(u) \}$ lingvistik o'zgaruvchi mos keladi, bu yerda $T_i^*(u) -$ mos keladigan lingvistik o'zgaruvchini kengaytirilgan term-to'plami; $\tilde{X}_i -$ tegishlilik funksiyasi (TF) $F -$ to'plam $\mu_{X_i}: U_{X_i} \rightarrow [0, 1]$; $U_{X_i} -$ mos keladigan universal

to'plamlar. Bunda $\forall i = \overline{1, n} \left| \begin{matrix} 0 \\ \tilde{X}_i \end{matrix} \right| \Leftrightarrow \{nav = individ\}$ (masalan, hodisalar, predmetlar va b.q).

Endi sintaksis kiritamiz:

a) F - o'zgaruvchilar, lingvistik o'zgaruvchilar, funksional simvollar $f_1^F, f_2^F, \dots$, nisbatlar simvollar $P_F, Q_F, R_F, \dots$.

b) Mantiqiy operator simvollar $\{\wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow, \exists \forall, \neg\}$, bu yerda

$$\wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow, \exists \forall, \neg, \text{ bunda } x \leftrightarrow y = \begin{cases} 1, & \text{agar } x = y \text{ bo'lsa,} \\ \wedge \{[(1-x) \wedge y][1-y \wedge x]\}, & \text{agar } x \neq y \text{ bo'lsa,} \\ 0, & \text{agar } x = 0, y \neq 0 \text{ yoki teskarisi bo'lsa.} \end{cases}$$

bu yerda

$$x \wedge y = \min(x, y); \exists x = \inf_{x \in U} \eta_x(u), \forall x = \sup_{x \in U} \eta_x(u).$$

s) Har qanday F o'zgaruvchi yoki individ term. $f_i^F(t_1, \dots, t_n), \phi_i^F(t_1, \dots, t_n)$, bu yerda $t_1, \dots, t_n$ - termlar. F - predikat $P_F(t_1, \dots, t_n)$, agar $t_1, \dots, t_n$ lar termlar bo'lsa, atomar formula bo'lib hisoblanadi.

c) Har qanday $P_F(t_1, \dots, t_n)$ formula F - formula.

d) Agar A_F va B_F - F - formulalar $x - F$ o'zgaruvchilar bo'lsa, u holda har bir ifoda

$$\neg A_F, (A_F \vee B_F), (A_F \wedge B_F), (A_F \rightarrow B_F), (\forall x A_F), (\exists x A_F)$$

F - formula bo'lib hisoblanadi.

$$\neg \forall P_F(x) = \exists x(\neg P_F(x)),$$

e)

$$\neg \exists P_F(x) = \forall x(\neg P_F(x)),$$

Yaqqollik uchun F - predikatga misol keltiramiz. Buning uchun intellektual robotni F - metrik n -o'lchamli S_F (ishlashini) holatlar fazosida ko'rib chiqamiz, ya'ni metrikali $\forall \tilde{A}, \tilde{B} \in S_F$:

$$f_{A,B}(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n |\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)|.$$

U holda F - predikat (masalan, "obyekt W V " nuqta yonida bo'ladi) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\tilde{A}T(w, b) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \forall x_1, \dots, \forall x_n |\mu_W(x_i) - \mu_B(x_i)|}{n} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sup_{x_1}, \dots, \sup_{x_n} |\mu_W(x_i) - \mu_B(x_i)|}{n}$$

Hozirgi vaqtda intellektual robotni maqsadli yo'nalishdagi holatini planlashtirish protsedurasini kompyuterda amalga oshirish

bo'yicha ishlar bajarilganligini qayd etish mumkin. Ushbu rejalashtirish asosiga ma'lum bo'lgan rejalashtiruvchi "STRIPS" sistemasi asos qilib olingan, uni oyalari yuqorida keltirilgan nazariy natijalar bilan to'ldirilgan. Uni farqi shundaki, avvalo bu yerda planlashtirish F holat fazosida amalga oshiriladi.

Bunda quyidagilar hisobga olinadi.

- $F - \tilde{M}_i (i \in J)$ holat, turli operatorlarni qo'llashdan so'ng olingan F formula bo'lib hisoblanadi;

- $F - \tilde{G}$ maqsad ham F - formula bo'lib hisoblanadi;

- F maqsadlar va F - maqsad ostiga erishish, agar mos keladigan $F - \tilde{M}_i$ modeli va $F - \tilde{G}$ ni masadi; F - rezolventa, ya'ni $R[\tilde{G}, \tilde{M}_i]$ F - formulaga o'xshab umum qiymatga ega emas, ya'ni $T(R[\tilde{G}, \tilde{M}_i]) < 0.5$;

- $\tilde{M}_i$ ni istalgan F operator holatida qo'llanish mumkin, bunda IR ni turli yangi F holatlarga $\tilde{M}_{i+j}$ o'tkazishi mumkin (j - F operatorlar soni, i - holat nomeri);

- har bir F operatori, uni qo'llash natijasi bir xilda sharhlanishi mumkin, ya'ni IR ni yangi holatga o'tishi mumkin bo'lgan darajada amalga oshirish mumkin (noaniqlik ishonchi va b.);

- har bir F operatori quyidagilar bilan xarakterlanadi: F o'zgaruvchilar yoki shunga o'xshash to'plam ko'rinishida qo'llanish sharti bilan; hamda avvalgi F model $\tilde{M}_{j-1}$ F operatorni j - qo'llash natijasida olingan F o'zgaruvchilarni ushbu holatda yangi qo'yib aniqlanadi;

- qo'llanishining barcha shartlari avval F maqsad osti sifatida, ya'ni F predikatlar $\tilde{G}_j (j \neq 0)$ ko'rinishida sharhlanadi.

Ushbu rejalashtiruvchi IR ni ishlash algoritmi to'liq keltirilmaydi, chunki bu ushbu ishni doirasidan chiqadigan alohida tadqiqotlar mavzusi bo'lib hisoblanadi.

IR ni refleks faoliyati bilimlar bazasini shakllantirish va to'ldirish. Taklif qilinayotgan yondashish yuqorida keltirilgan IR ni refleks faoliyatini antropomorfligiga, ya'ni uni reflekslarini "ishlashga asoslangan".

Ushbu mexanizm qaror qabul qilishda, uni "odamga o'xshab" ishlashida dinamik tashqi muhitga xos bo'lgan noaniqliklarni hisobga olish kerak, hamda odam tomonidan uni turli hodisalarni taxminiy baholash zarur, bu o'z navbatida uni taxminiy fikrlashiga olib keladi. "Holat-harakat" refleks zanjiri taxminiy xarakterdagi yorqin ifodalangan xarakterga ega bo'lib, u noaniq ko'pliklar nazariyasini matematik apparati bilan yetarlicha monand tarzda tavsiflanadi. Shu bilan bir qatorda robotning sensor qurilmalarini mukammal emasligi (masalan, foydalaniladigan texnik ko'rish qurilmasi va b.)

Bilimlar bazasini (BB) konstruksiyalash tamoyillari. Noaniq mahsulotlar to'g'ri rejalashtirilishini ifodalovchi bilimlar strukturasi ko'rib chiqiladi:

$P_i =$ "Agar $x_l \in \tilde{A}_{ikl}$ bo'lsa, $\forall A \dots \forall A x_n \in \tilde{A}_{ikn}$ bo'ladi, unda $y \in \tilde{B}_{il}$ bo'ladi
 $AKS \text{ HOLD}$ $y \in \tilde{B}_{il}$ " bo'lmaydi, $i = \overline{1, N}$, $k = \overline{1, cardU}$, $l = \overline{1, cardV}$.

bu yerda $\tilde{A}_{ikj} \subseteq U$, $j = \overline{1, n}$, $\tilde{B}_{il} \subseteq V$ – normal noaniq ko'plik:

$$\tilde{A}_{ikj} = \int_U \mu_{\tilde{A}_{ikj}}(u)/u, \quad \tilde{B}_{il} = \int_V \mu_{\tilde{B}_{il}}(v)/v, \quad (5.6.25)$$

Tegishlilik funksiyasini (TF) ning unimodal funksiyalari unimodalligi:

$$\mu_{\tilde{A}_{ikj}}(u): U \rightarrow [0,1], \quad \mu_{\tilde{B}_{il}}(v): V \rightarrow [0,1].$$

Bu yerda: $V, U \subseteq R$ - hisoblanadigan so'ngi universallar,

$$CardU = CardV = M.$$

TF ni unimodallik xossasi quyidagi singiltonlarni bildiradi:

$$\mu_{\tilde{A}_{ikj}}(u)/u, \mu_{\tilde{B}_{il}}(v)/v,$$

Va quyidagi ifoda o'rinli:

$$\begin{aligned} \exists! u' \in U \left| \mu_{\tilde{A}_{ikj}}(u') = 1, \forall u \neq u' \in U \left| \mu_{\tilde{A}_{ikj}}(u) < 1, \right. \right. \\ \left. \left(\exists! v' \in V \left| \mu_{\tilde{B}_{il}}(v') = 1, \forall v \neq v' \in V \left| \mu_{\tilde{B}_{il}}(v) < 1. \right. \right. \right) \end{aligned}$$

Shunday qilib, nazariy – ko'plik tilida i - r , mahsulot binar nisbatda quyidagicha yoziladi:

$$R_i(A_1(x), A_2(y)) = \left[\left(\bigcup_j \tilde{A}_{ikj} \right) \times V \rightarrow U \times \tilde{B}_{il} \right] \cap \left[\left(\bigcup_j \tilde{A}_{ikj} \right) \times V \rightarrow U \times \tilde{B}_{il} \right], \quad (5.6.26)$$

$$j = \overline{1, n}; k = \overline{1, M}; i = \overline{1, N},$$

Bu yerda $\cap$ - noaniq ko'pliklar kesishishi; $\neg$ - inversiya belgisi; $\rightarrow$ - noaniq mantiqda imlikatsiya operatsiyasi.

Bunda noaniq shartli xulosa quyidagicha ifodalanadi:

Antetsedent:

$$\text{AGAR } x_1 \tilde{A}_{ikl} \text{ BO'LSA, } \forall A \ x_n \tilde{A}_{ikn} \text{ bo'ladi} \quad (5.6.27)$$

$$\text{UNDA } y \tilde{B}_{il} \text{ bo'ladi AKC HOLDA } y \tilde{B}_{il} \text{ bo'lmaydi.}$$

Suksedent: $x_1 \tilde{A}_{ikl}$ bo'lsa, $\forall A \dots \forall A \ x_n \tilde{A}_{ikn}$ bo'lsa.

Natija: $u \tilde{B}_{il}$

$$\tilde{B}_{il}' = \left[\bigcap_j \tilde{A}_{ikj}' \right] OR_i(\cdot), \quad j = \overline{1, n}; k = \overline{1, M}; i = \overline{1, N}, \quad (5.6.28)$$

bu yerda O - noaniq to'plamlar maksimumi kompozitsiyasining operatsiyasi.

(5.6.28) ifoda yoyilgan holda quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} \int_V \mu_{B_{il}}(v) / v &= \int_U \mu_{A_{ikj}}(u) / u \circ \int_{U \times V} \left[\mu_{A_{ikj}}(u) \rightarrow \mu_{B_{il}}(v) \right] \wedge \\ &\wedge \left[(1 - \mu_{A_{ikj}}(u)) \rightarrow (1 - \mu_{B_{il}}(v)) \right] / (u, v) = \int_V \bigvee_{u \in U} \mu_{A_{ikj}}(u) \wedge \quad (5.6.29) \\ &\wedge \left[(\mu_{A_{ikj}}(u) \rightarrow \mu_{B_{il}}(v)) \wedge (1 - \mu_{A_{ikj}}(u)) \rightarrow (1 - \mu_{B_{il}}(v)) \right] / v. \end{aligned}$$

μ_{R_i} quyidagicha belgilab,

$$\mu_{R_i}(u, v) = \left[(\mu_{A_{ikj}}(u) \rightarrow \mu_{B_{il}}(v)) \right] \wedge \left[(1 - \mu_{A_{ikj}}(u)) \rightarrow (1 - \mu_{B_{il}}(v)) \right],$$

(5.6.29) dan quyidagini olamiz.

$$\int_V \mu_{B_{il}}(v) / v = \int_V \bigvee_{u \in U} \mu_{A_{ikj}}(u) \wedge \mu_{R_i}(u, v) / v. \quad (5.6.30)$$

Bunda $U = U_1 \cup U_2, U_1 \cap U_2 = \emptyset$ bo'lsin, unda

$$\begin{cases} \forall u \in U_1 \left| \mu_{A_{ikj}}(u) \neq \mu_{B_{il}}(V), \right. \\ \left. \forall u \in U_1 \left| \mu_{A_{ikj}}(u) = \mu_{B_{il}}(V). \right. \right. \end{cases} \quad (5.6.31)$$

Bunda quyidagi tasdiq o'rinli.

Tasdiq 5.6.3. Barcha noaniq mantiqlar uchun gipotetik sillogizm "Modus-ponens" (5.6.27) noaniq shartli xulosa qoidasini qoniqtiradi.

$$\forall u \in U_2 \left[(\mu_{A_{ikj}}(u) = \mu_{B_{il}}(V)) \right] \Rightarrow \mu_{Ri}^*(u, v) = \sup_{U \times V} \mu_{Ri}(u, v) = 1.$$

Noaniq binar nisbat P_i ni i - mahsulotiga mos keladigan elementar bilim (EB) deb ataymiz. EB ni xossalarini tahlil qilish uchun ba'zi bir to'plamlarni ko'rib chiqamiz:

$$U'' \subseteq U = \left\{ \forall r, p \in K = \{k\}, u_r, u_p \in U \left| \mu_{A_{ikj}}(u_r) = \mu_{A_{ikj}}(u_p) \right. \right\}^*.$$

Shunga o'xshab, $V' \subseteq V$ ni aniqlash mumkin. Bu yerda i va v bazaviy o'zgaruvchilar uchun tegishlilik funksiyasi (TF) emas, balki uni (5.6.25) ni singleton ko'rinishidagi bahosi ko'rib chiqiladi. $\emptyset$

$$\mu_{A_{ikj}}(u) \text{ u } \mu_{B_{il}}(v), \text{ Card } U^* \Big|_{\max} = \frac{M-1}{2}, \text{ Card } U^* \Big|_{\min} = 0,$$

($\text{Card } V''$ ham shunga o'xshab topiladi). Chamasi $U^* = \emptyset, V^* = \emptyset$.

U' to'plam bo'shlig'i amalda quyidagini bildiradi:

$$\begin{cases} \text{yoki } \mu_{A_{ikj}}(u_l) = \sup_{\forall u_k \in U} \mu_{A_{ikj}}(u_k); \mu_{A_{ikj}}(u_M) = \inf_{\forall u_k \in U} \mu_{A_{ikj}}(u_k) \\ \text{yoki } \mu_{A_{ikj}}(u_l) = \inf_{\forall u_k \in U} \mu_{A_{ikj}}(u_k); \mu_{A_{ikj}}(u_M) = \sup_{\forall u_k \in U} \mu_{A_{ikj}}(u_k). \end{cases} \quad (5.6.32)$$

$U'' = 0$ uchun o'z navbatida:

$$\begin{cases} \text{yoki } \mu_{B_{il}}(v_l) = \sup_{\forall v_l \in V} \mu_{B_{il}}(v_l); \mu_{B_{il}}(v_M) = \inf_{\forall v_l \in V} \mu_{B_{il}}(v_l) \\ \text{yoki } \mu_{B_{il}}(v_l) = \inf_{\forall v_l \in V} \mu_{B_{il}}(v_l); \mu_{B_{il}}(v_M) = \sup_{\forall v_l \in V} \mu_{B_{il}}(v_l). \end{cases} \quad (5.6.33)$$

Shundan kelib chiqqan holda, quyidagi ta'rifni keltiramiz.

Ta'rif 5.6.13. (5.6.26) ko'rinishidagi elementar bilim (EB), agar (TF) (5.6.27) noaniq xulosa ko'rinishida olingan bo'lsa, unimodal bo'lmagan yoki ikkita turli antetsedent (5.6.27) xulosa natijasida bitta va yagona xulosa akslantirilsa, u mantiqiy qarama-qarshi natija deb aytiladi. Keyinchalik, noaniq binar nisbatlar (5.6.26) matritsalarini qurishni alohida jihatlar bilan bog'liq ba'zi fikrlarni ko'rib chiqamiz; bunda yuqorida kiritilgan to'plamlar U^* va V^* ga asoslanib, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$R_i(\cdot) = \left\| \mu_{R_i}(u_k, v_l) \right\|, \quad i = \overline{1, N}; \quad k, l = \overline{1, M}.$$

1. $U^* \neq \emptyset, V^* \neq \emptyset$ bo'lsin. U holda, yuqorida kiritilgan aksiomaga asosan, quyidagi ifoda o'rinalidir:

$$\begin{aligned} \exists u^* \in U, \exists v^*, v^{**} \in V, v^* \neq v^{**} \left[\mu_{A_{ikj}}(u^*) = \mu_{B_{il}}(v^*) = \mu_{B_{il}}(v^{**}) \right] &\Rightarrow \\ \Rightarrow \mu_{R_i}(u^*, v^*) = \mu_{R_i}(u^*, v^{**}) = \sup_{\forall u_k \in U} \mu_{R_i}(u, v) = 1, \end{aligned} \quad (5.6.34)$$

va

$$\begin{aligned} \exists v^* \in V, \exists u^*, u^{**} \in U, u^* \neq u^{**} \left[\mu_{B_{il}}(v^*) = \mu_{A_{ikj}}(u^*) = \mu_{A_{ikj}}(u^{**}) \right] &\Rightarrow \\ \Rightarrow \mu_{R_i}(u^*, v^*) = \mu_{R_i}(u^{**}, v^*) = \sup_{\forall v_l \in V} \mu_{R_i}(u, v) = 1. \end{aligned} \quad (5.6.35)$$

$$5.6.1, a\text{-rasmga ko'ra } Card U^* |^{\max} = Card V^* |^{\max} = \frac{M-1}{2},$$

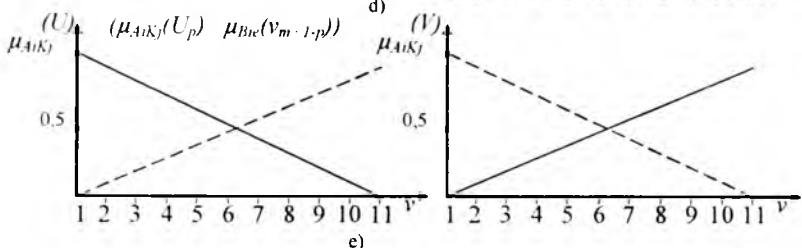
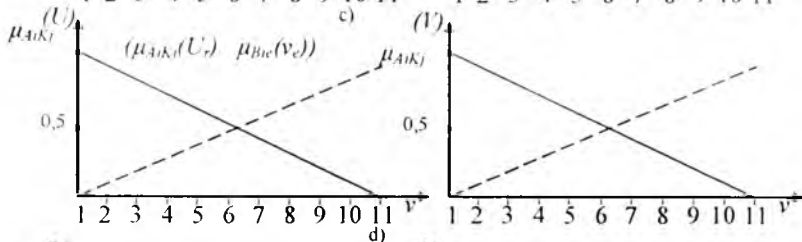
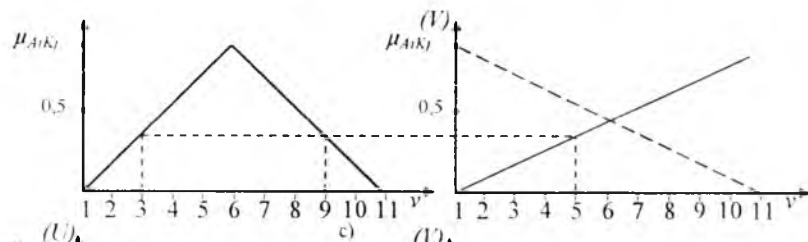
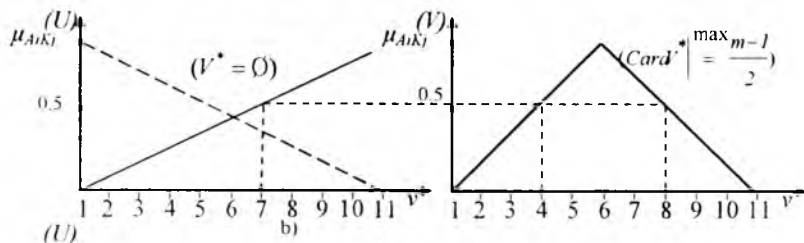
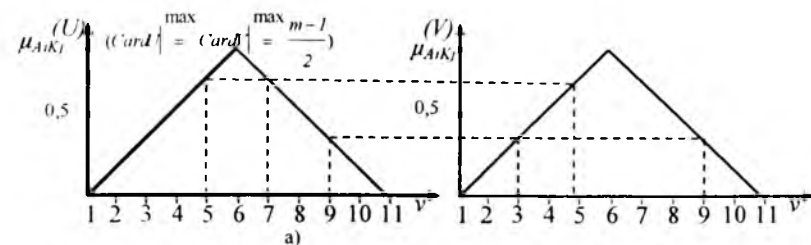
$$Card U_2 |^{\max} = 2M - 1, Tr[R_i] = Tr[R_i^*] = M, \quad (5.6.36)$$

bu yerda $T_r(\cdot) - R_i$ matritsaning izi; R_i^* - matritsa, bunda

$$r_{i,j}^* = r_{i, N+1-j}, \quad j = \overline{1, N}.$$

2. $U^* = \emptyset, V^* = \emptyset$ bo'lsin, unda

$$\begin{aligned} \exists u^* \in U, \exists v^*, v^{**} \in V, v^* \neq v^{**} \left[\mu_{A_{ikj}}(u^*) = \mu_{B_{il}}(v^*) = \mu_{B_{il}}(v^{**}) \right] &\Rightarrow (5.6.37) \\ \Rightarrow \mu_{R_i}(u^*, v^*) = \mu_{R_i}(u^*, v^{**}) = \sup_{\forall u_k \in U} \mu_{R_i}(u, v) = 1. \end{aligned}$$



5.6.1 - ras. Noaniq aniqlashlarning xususiyatlar funksiyasi

Bunda, agar formula $Card U''|^{max} = \frac{M-1}{2}$ bo'lsa, unda

$$Card U''|^{max} = M, \quad Tr[R_i] = Tr[R_i] \quad (5.6.38)$$

3. $U'' \neq \emptyset \quad V'' \neq \emptyset$ bo'lsin, unda

$$\begin{aligned} \exists v' \in V, \exists u', u'' \in U, u' \neq v' \left[\mu_{B_{il}}(v') = \mu_{A_{ikj}}(u') = \mu_{A_{ikj}}(u'') \right] \Rightarrow \\ \Rightarrow \mu_{R_i}(u', v') = \mu_{R_i}(u'', v') = \sup_{\forall v_l \in I} \mu_{R_i}(u, v) = 1. \end{aligned} \quad (5.6.39)$$

Bunda, agar $Card U''|^{max} = \frac{M-1}{2}$ bo'lsa, unda $Card U''|^{max} = M$,

$Tr[R_i] = Tr[R_i]$ bo'ladi.

4. $U'' = \emptyset \quad V'' = \emptyset$ bo'lsin, u holda $\forall l = 1, M$,

$$\begin{aligned} \exists k = l \in K \left[\mu_{A_{ikj}}(u_r) = \mu_{B_{il}}(v_l) \right] \Rightarrow \\ \Rightarrow \mu_{R_i}(u_r, v_l) = \sup_{(u,v) \in U \times I} \mu_{R_i}(u, v) = 1. \end{aligned} \quad (5.6.40)$$

Bunda $Tr[R_i(\cdot)] = M$, ya'ni R_i matritsada birlamchi qo'shimcha diagonal shakllanadi, yoki $\forall p = 1, \overline{m}$.

$$\begin{aligned} \exists l = M + l - p \in K \left[\mu_{A_{ikj}}(u_p) = \mu_{B_{il}}(v_{M+l-p}) \right] \Rightarrow \\ \Rightarrow \mu_{R_i}(u_p, v_l) = \sup_{(u,v) \in U \times I} \mu_{R_i}(u, v) = 1, \end{aligned} \quad (5.6.41)$$

Ya'ni R_i matritsada birlamchi qo'chimcha diagonal shakllanadi. Yuqoridagiga asoslanib, quyidagi tasdiqni keltiramiz.

Tasdiq 5.6.4. Agar R_i noaniq mahsulot kiradigan unimodal (5.6.25) TF ko'rinishidagi $A_{ikj} \subseteq U, B_{il} \subseteq V, i = 1, \overline{N}, \quad k, l = 1, \overline{M}$ normal

noaniq to'plamlar uchun $V' \subseteq V, U' \subseteq U$, to'plamlar $U'' \neq \emptyset \quad V'' \neq \emptyset$ aniqlangan bo'lsa, u holda (5.6.26) ko'rinishidagi R_i noaniq binar nisbat matritsaning birlik elementlaridan tashkil topgan bosh diagonalga ega bo'ladi.

IR larning reflektor faoliyati bilimlar bazasi (BB) ning mantiqiy qarama-qarshi emasligi. IR larning reflektor faoliyatini mantiqiy

qarama-qarshi emasligiga bilimlar bazasi uchun quyidagi teoremdan kelib chiqadigan ba'zi bir natijalardan foydalanish zarur.

Teorema 5.6.4. Agar quyidagi tenglik $T_r[R_i(\cdot)] - T_r[R_i] \leq \varepsilon$ amaliy jihatdan aniqlanadi $\varepsilon = f(Car U)$:

Isbot. $T_r[R_i(\cdot)] - T_r[R_i] = 0$ (5.6.42) berilgan bo'lsin.

U holda noaniq to'plamning maksimum kompozitsiyasidan foydalanuvchi keltirib chiqarishning kompozitsion qoidasiga asosan hamda (5.6.28) ifodaga ko'ra quyidagini olamiz:

$$\mu_{R_i}(v) = \bigvee_{u \in U} \mu_{A_{ikj}}(u) \wedge (\mu_{B_{il}}(u) \rightarrow \mu_{R_i}(v)) / v = \bigvee_{u \in U} \mu_{A_{ikj}}(u) \wedge \mu_{R_i}(u, v) / v. \quad (5.6.43)$$

Ko'rib chiqish uchun $U_1, U_2 \subseteq U \mid U_1 \cap U_2 = \emptyset, \quad U_1 \cup U_2 = U$ va bunda

$$\left\{ \begin{array}{l} U_1 \mid \mu_{A_{ikj}}(u) \neq \mu_{B_{il}}(v) \Rightarrow \mu_{R_i}(u, v) < 1 \\ U_2 \mid \mu_{A_{ikj}}(u) = \mu_{B_{il}}(v) \Rightarrow \mu_{R_i}(u, v) = 1. \end{array} \right. \quad (5.6.44)$$

Shunday qilib, (5.6.43) va (5.6.44) dan quyidagini olamiz:

$$(5.6.43) = \bigvee_{u \in U} \left[\mu_{A_{ikj}}(u) \wedge \mu_{R_i}(u, v) \right] \vee \left[\mu_{A_{ikj}}(u) \wedge \mu_{R_i}(u, v) \right] / v. \quad (5.6.45)$$

(5.6.44) ni hisobga olib, quyidagini olamiz.

$$\bigvee_{u \in U_2} \mu_{A_{ikj}}(u) \wedge \mu_{R_i}(u, v) > \bigvee_{u \in U_1} \mu_{A_{ikj}}(u) \wedge \mu_{R_i}(u, v) / v,$$

ya'ni (5.6.45)

$$\bigvee_{u \in U_2} \mu_{A_{ikj}}(u) \wedge \mu_{R_i}(u, v) / v. \quad (5.6.46)$$

Bunda U_2, U' va V' to'plam ko'rinishidan aniqlanishini hisobga olish kerak. (5.6.42) shart bajariladigan hol ko'rib chiqiladi.

Shu bilan bog'liq bo'lgan noaniq aniqlashlarning xususiyatlar funksiyalari

a) $U^* \neq \emptyset, V^* \neq \emptyset, \quad \tilde{A}_{ikj} \in U$. Noaniq ko'plik normalligini va uni

unumdorligini, $\forall u^* \in U \mid [\mu_{u^*}] = 1$ hisobga olib, hamda (5.6.34)- (5.6.36)

larga mos ravishda:

$$\forall u \in U_2, \exists v^*, v^{**} \in V, v^* \neq v^{**} \mid \mu_{R_i}(u, v^*) = \mu_{R_i}(u, v^{**}) = 1.$$

Shunday qilib (5.6.46) dan quyidagi kelib chiqqan

$$\exists v_1, v_2 \in V, v_1 \neq v_2 \mid \mu_{B_{il}}(v_1) = \mu_{B_{il}}(v_2),$$

(singletonlardan TF ni baholash (5.6.25))

$$= \left[\bigvee_{u \in U_2} \mu_{A_{ikj}}(u) \right] \vee \left[\bigvee_{u \in U_2} \mu_{R_i}(u, v) \right] = \mu_{A_{ikj}}(u^*) \wedge \mu_{R_i}(u, v^*) = \mu_{A_{ikj}}(u^*) \wedge \mu_{R_i}(u, v^{**}) = 1.$$

Boshqa soʻz bilan aytganda, $\tilde{B}_{il} = \{ \mu_{B_{il}}(v) / v \}$ TF toʻplamdan

kelib chiqadigan kompozitsion qoida natijasida olinadigan polimodal funksiya hisoblanadi.

b) $U^* \neq \emptyset, V^* \neq \emptyset$. Noaniq toʻplam xossalariga asosan $A_{ikj} \subseteq U, \exists u^* \in U_2 \mid \mu_{A_{ikj}}(u^*) = 1$, bunda (5.6.37), (5.6.38) larga asosan:

$$\exists u^* \in U_2, \exists v^*, v^{**} \in V, v^* \neq v^{**} \mid \mu_{R_i}(u^*, v^*) = \mu_{R_i}(u^*, v^{**}) = 1.$$

$y_0 = y^*$ boʻlgan holda (5.6.46) ga mos ravishda quyidagini olamiz.

$$\exists v_1, v_2 \in V, v_1 \neq v_2 \mid \mu_{B_{il}}(v_1) = \mu_{B_{il}}(v_2) = \left[\bigvee_{u \in U_2} \mu_{A_{ikj}}(u) \right] \vee \left[\bigvee_{u \in U_2} \mu_{R_i}(u, v) \right] = \mu_{A_{ikj}}(u^*) \wedge \mu_{R_i}(u, v^*) = \mu_{A_{ikj}}(u^*) \wedge \mu_{R_i}(u, v^{**}) = 1.$$

Bu holda ham TF olinadigan noaniq koʻplik $\tilde{B}_{il}$, polimodal funksiya ekanligi maʼlum.

c) $U^* \neq \emptyset, V^* \neq \emptyset$ Noaniq koʻlik $A_{ikj} \in U$ ni xossasini hisobga olib, $\exists u^* \in U_2 \mid \mu_{A_{ikj}}(u^*) = 1$ (5.6.39), (5.6.40) ga mos ravishda

$$\exists v' \in V' \mid \exists u', u'' \in U, u' \neq v'' \mid \mu_{B_{il}}(v') = \mu_{A_{ikj_i}}(u') = \mu_{A_{ikj_i}}(u'').$$

Shunday qilib (5.6.46) dan quyidagini olamiz:

$$\exists v' \subseteq V, \mu_{B_{il}}(v') = \bigvee_{u \in U} \mu_{A_{ikj}}(u) \wedge \mu_{R_i}(u, v) = \left[\bigvee_{u \in U} \mu_{A_{ikj}}(u) \right] \vee \left[\bigvee_{u \in U} \mu_{R_i}(u, v) \right] =$$

$$\mu_{A_{ikj}}(u^*) \wedge \mu_{R_i}(u^*, v^*) = 1.$$

Lekin, shu bilan birga $\exists u'' \in U \mid \mu_{A_{ikj}}(u'') = 1$, ya'ni

$$\exists v' \subseteq V, \mu_{B_{il}}(v') = \bigvee_{u \in U} \mu_{A_{ikj}}(u) \wedge \mu_{R_i}(u, v) = \left[\bigvee_{u \in U} \mu_{A_{ikj}}(u) \right] \vee \left[\bigvee_{u \in U} \mu_{R_i}(u, v) \right] =$$

$$\mu_{A_{ikj}}(u'') \wedge \mu_{R_i}(u'', v') = 1.$$

Boshqacha qilib aytganda, mantiqiy xulosadagi antetsedentlar sifatida chiqadigan $\tilde{A}_{ikj} \neq \tilde{A}_{ikj}$, ikkita noaniq ko'plik noaniq ko'plik $\tilde{B}_{il}$ ni aks ettiradi. Ushbu teoremadan kelib chiqadigan natijalarni hisobga olib, quyidagi xulosani shakllantirish mumkin.

Xulosa. (5.6.26) ko'rinishidagi elementar bilim mantiqan qarama-qarshi bo'lmashligi uchun noaniq ko'pliklar formulani ni TF ni unimodallik sharti bajarilishi zarur.

$$\tilde{A}_{ikj} \subseteq U, \tilde{B}_{il} \subseteq V, i = \overline{1, N}, \quad k, l = \overline{1, M}, \text{ bo'lishi kerak } U'' \neq \emptyset \vee V'' \neq \emptyset.$$

Bilimlar bazasini mantiqan qarama-qarshi emasligi muammosining semantik jihatlar

Yuqorida aytib o'tilgan IR ning reflektor faoliyatini BB tarkibini semantik interpretatsiya qilish masalalarini odamni taxminiy fikrlashiga xos bo'lgan lingvistik noaniqlik kontekstida ko'rib chiqish kerak. Bu maqsadda (5.6.26) ko'rinishidagi EB larni asosiy komponentlarini noaniq-to'plam tasavvuridan kelib chiqib, biz ko'rib

chiqayotgan noaniq to'plamni $\forall j = \overline{1, n}, \quad \tilde{A}_{ikj} \subseteq U, \tilde{B}_{ij} \subseteq V, i = \overline{1, N},$

$k, l = \overline{1, M}$ lingvistik o'zgaruvchini bir qismi deb qarash mumkin.

Shunday qilib, i -mahsulot uchun noaniq to'plam – antetsedentlarga $(\tilde{A}_{ikj})$ mos keladigan quyidagi lingvistik

o'zgaruvchilar kiritiladi: $\overset{\circ}{X}_j = \{ \langle X_j^i, U, \tilde{A}_{kj} \rangle \}, X_j^i \in T^*(u), k = \overline{1, M}, j = \overline{1, n}.$ Bu

noaniq to'plamga mos keladigan lingvistik uchlik ko'rinishidagi

$Y = \{ \langle Y^i, V, \tilde{B}_j \rangle \} Y^i \in T^*(u), i = \overline{1, M}, T^*(v), T^*(u)$ lingvistik o'zgaruvchi-larning

kengaytirilgan term-to'plami. Bunda term-to'plam qiymatlari U va V universumlar nuqtalariga mos keladigan n lingvistik termlar to'plamini ifodalaydi. Shunga o'xshash lingvistik termlar robotni ishlashini aniq predmet sohasiga va mahsulot (5.6.26) parametrlarning fizik mohiyatiga bog'lik holda tartibga keltiriladi : $\langle \text{kam}, \dots, \text{ko'p} \rangle, \langle \text{kamdan kam}, \dots, \text{tez-tez} \rangle, \langle \text{yaqin}, \dots, \text{uzoq} \rangle, \langle \text{past}, \dots, \text{yuqori} \rangle$ va b.

Shunday qilib, R_i ko'rinishidagi bashoratlash yorqin ifodalangan ma'noga ega bo'ladi. Oxirgi holat, IR ni reflektor faoliyatining mantiqiy qarama-qarshi elementlari bazasini tadqiq qilishning olingan natijalarini semantik sharxlashga imkon beradi. Bunda, agar EB uchun shunday semantik sharhlashga zaruriyat bo'lsa, u holda IR ni BB uchun umumiy deb hisoblash mumkin (ya'ni umumiy bilimlar to'g'risida buni aytish qiyin.) Shuning uchun elementar zvenolar to'plamidan tashkil topgan IR ni EB larini shakllantirish masalasi ko'rib chiqiladi. Boshqacha qilib aytganda IR ning reflektor faoliyatini BB quyidagi ketma-ketlikda tavsiflanishi mumkin [9].

$P_1 = "AGAR x_1 \tilde{A}_{1kl} \text{ bo'lsa } VA...VA x_n \tilde{A}_{1kn} \text{ bo'lsa, unda } y B_{11} \text{ bo'ladi,}$

$AKS \text{ HOLDA } y \tilde{B}_{11} \text{ bo'lmaydi" } VA$

$P_2 = "AGAR x_1 \tilde{A}_{2kl} \text{ bo'lsa, } VA...VA x_n \tilde{A}_{2kn} \text{ bo'lsa, unda } y B_{21} \text{ bo'ladi,}$

$AKS \text{ HOLDA } y \tilde{B}_{21} \text{ bo'lmaydi" } VA$

(5.6.47)

VA

$P_N = "AGAR x_1 \tilde{A}_{Nkl} \text{ bo'lsa, } VA...VA x_n \tilde{A}_{Nkn} \text{ bo'lsa, unda } y B_{N1} \text{ bo'ladi,}$

$AKS \text{ HOLDA } y \tilde{B}_{N1} \text{ bo'lmaydi" } VA...$

Bu yerda "VA" bog'lovchiga o'tish operatsiyasi ($\cap$) mos keladi. Xususiyl holda $\tilde{A}_{ij} = \tilde{A}_{i'j}$ yoki $\tilde{B}_{ij} = \tilde{B}_{i'j}$, bunda $i \neq i' \in \{I\}$ - to'plam indeksleri. U holda yuqoridagilarga asosan, natijaviy noaniq binar nisbat quyidagi ko'rinishda bo'ladi [9]:

$$R_{oo}(A_1(x), A_2(y)) = \bigcap_{i=\overline{1}, N} R_i(A_1(x), A_2(y)) = \bigcap_{i=\overline{1}, N} \left[\left(\bigcap_{j=\overline{1}, N} \tilde{A}_{ikj} \right) \times V \rightarrow U \times \tilde{B}_{il} \right] \cap \left[\left(\bigcap_{j=\overline{1}, N} \tilde{A}_{ikj} \right) \times V \rightarrow U \times \tilde{B}_{il} \right], j=\overline{1}, n, k, l=\overline{1}, M. \quad (5.6.48)$$

(5.6.26) ko'rinishida ifodalangan EB hosil bo'lsa, u har bir i - EB ni mantiqiy-semantik qarama-qarshi (MSQQ) emasligini kafolatlamaydi. Shu bilan birga, ushbu bo'limda ifodalangan natijalar noaniq binar nisbatli matritsalar uchun mos keladi, ya'ni:

$$|Tr[R_G(\cdot)] - Tr[R'_G(\cdot)]| > \varepsilon. \quad (5.6.49)$$

bu yerda $Tr[\cdot]$ - $R'_G(\cdot)$ - $r'_y = r_{y+1}$, bo'lgan matritsa trayektoriyasi.

Quyidagi misol asosida Semantik qarama-qarshilik tushunchasini tushuntirish mumkin.

Quyida mahsulotlar ko'rinishida ifodalangan ikkita EB ko'rib chiqiladi.

P_1 = "Agar x "kam" bo'lsa, unda y "ko'p" bo'ladi;

P_2 = "Agar x "ko'p" bo'lsa, unda y "kam" bo'ladi.

Ushbu EB lar "natijasiz" emas, lekin noaniq binar nisbatlar matritsasiga yangi mos keladigan EB "kesishib o'tishi" (5.6.49) uchun bajarilmaydi.

Shunday qilib, hosil qilingan OZ ni mantiqiy qarama- qarshilikni simantik jihatida shundaki, bitta va yagona noaniq to'plam - antetsedent $\tilde{A}$ = "Kam" ga ikkita noaniq to'plam $\tilde{B}_1$ = "Ko'p" va $\tilde{B}_2$ = "Ko'p" mos keladi va ular ikkita semantik invers tushunchalarni ifodalaydi.

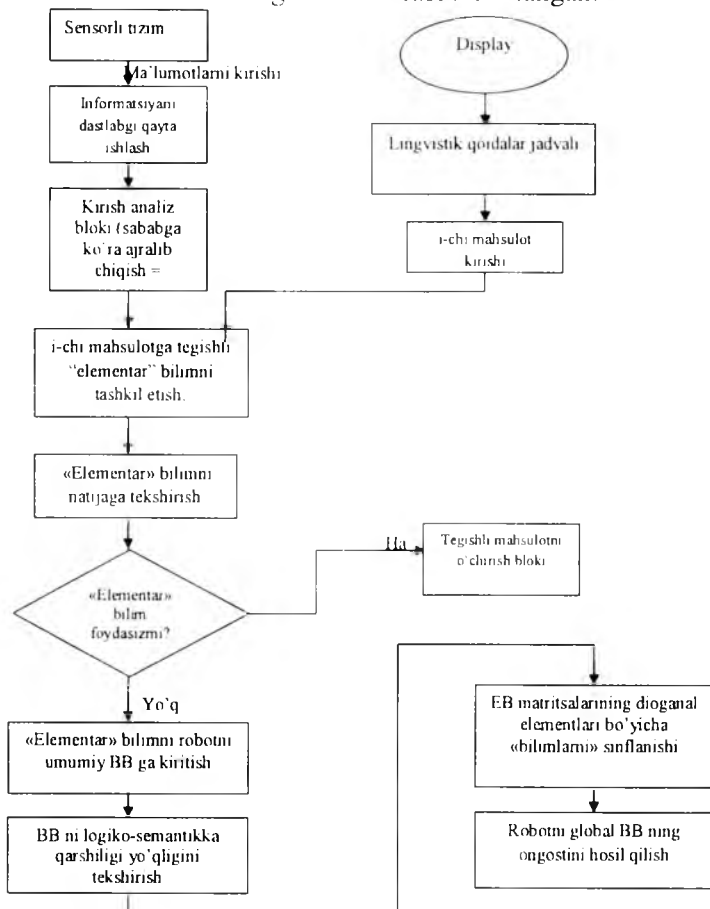
Adabiyotda ushbu muammoga bag'ishlangan masalalar, ko'pincha, intellektual tizimning BBsi "qarama-qarshiliklarga" sabr toqatli bo'lishini talab etadi [35]. Bizning holda, ushbu talabni bajarish

uchun OZ ning mantiqiy-semantik qarama-qarshiligini mantiqiy semantik qarama-qarshi emasligiga (MSSQQ) ajratishdan iborat:

$$J_{R_i} = Tr(R_i) - Tr(R_{-i})$$

$$sign J_{R_i} = \begin{cases} +1, Tr(R_i) - Tr(R_{-i}) > 0, \\ -1, Tr(R_i) - Tr(R_{-i}) < 0, i = 1, \overline{N}. \end{cases}$$

5.6.2-rasmdagi IR ni reflektor faoliyatining bilimlarni shakllantirishi mumkin bo'lgan strukturasi tasvirlangan.



5.6.2 – rasm. Intellektual robotning reflektor faoliyati qiymatlarini shakllantirish.

Bunda displeydan lingvistik qoidalar jadvali ko'rsatiladi va ular robotning sensor tizimi orqali yangilanadi. Bu yerda taklif qilingan strukturani amalga oshirish qiyinchiligi mavjudligini ta'kidlash lozim.

5.7. Boshqarish yechimlarini intellektual qo'llab-quvvatlash kompyuter texnologiyalari

5.7.1. Qarorlarni shakllantirish uslubiyatlarining umumiy tavsiflari

Har bir menejer ishining so'nggi mahsuloti – bu qaror va harakatdir. U tomonidan qabul qilingan qaror korxonani ilgarilab ketishiga yoki muvaffaqiyatsizlikka olib keladi. Qaror qabul qilish har doim bir nechta mumkin bo'lgan faoliyatidan aniq bir yo'nalishni tanlashdan iborat. Ikki jarayonni farqlash zarur: qarorni shakllantirish va qaror qabul qilish. Qaror qabul qilish – bu boshlang'ich ma'lumotlarni tayyorlash va ularni shunday qayta ishlash kerakki, bunda uni qabul qilishni oqibati ma'lum bo'lsin. Qaror qabul qilish – ularni oqibatlarining turli harakatlarini o'rganish va ulardan bittasi tasdiqlanishidan iborat.

5.7.1-rasmda turli sathdagi korxona rahbariyati tomonidan qabul qilingan qarorlar turlarining o'zaro bog'lanishi va boshqarish maqsadlari ko'rsatilgan [63].

Qarorlarning maqsadlari quyidagicha ifodalanadi:

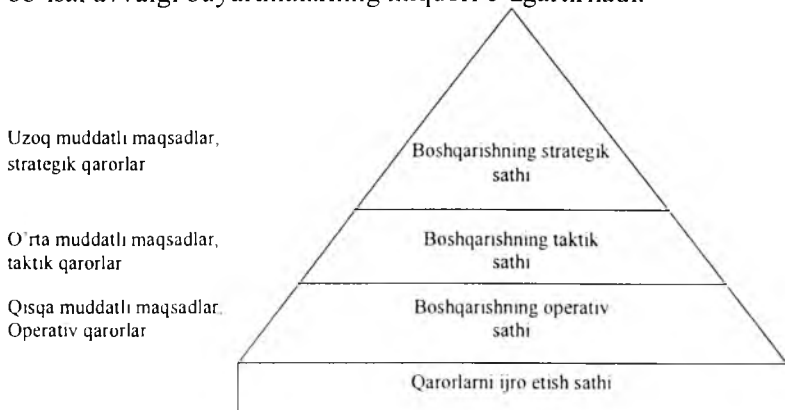
- Funksional maqsadlar (bajarish vaqtini kamaytirish, to'xtab turish vaqtini kamaytirish, mijozlarning qoniqish darajasini oshirish, mahsulot sifatini yaxshilash va b.);

- Moliyaviy maqsadlar (foydani oshirish, ishlab chiqarish harakatlarini kamaytirish, administrator xarajatlarini qisqartirish va b.);

- Ijtimoiy maqsadlar (ish o'rinlarini saqlab qolish, kadrlar malakasini oshirish, ish joylarini ergonomik tarzda tashkil etish va b.).

Aniqlik sharoitlarida tezkor qaror qabul qilinadi. Shuning uchun ularni qabul qilish jarayoni nisbatan qiyin va deyarli muammosiz. Qaror qabul qilish jarayonida foydalaniladigan ishlab chiqarish parametrlari (tavsiflari) aniqlangan, ularni baholash talab qilingan darajada ma'lum. Masalan, yetkazib berish bo'limini ishlari qaror qabul qilish uchun zaxiralarni, shartnomarni korxona talablariga mos

kelishini tekshiradi va agar omborda tayyor mahsulot hajmi kamaygan bo'lsa, avvalgi buyurtmalarning miqdori o'zgartiriladi.



5.7.1 - rasm. Boshqarish sathlari, maqsadlari va qaror turlari

QQQSh ning yuqori bo'g'ini tomonidan qo'yilgan maqsadga erishish uchun vositalar bilan ta'minlovchi shaxslar, odatda o'rta sathdagi boshqaruvchilar, tomonidan taktik qaror qabul qilinadi. "Ma'lum bir sinfdagi buyurtmachilar uchun kredit limitlari qanday bo'lishi kerak?"- bu o'rta sathda qabul qilinadigan taktik qarorlarga misollardir.

Strategik qarorlar korxonaning yuqori rahbarlari tomonidan aniqlangan bo'lib, kompaniyaning maqsadlari asosida qabul qilinadi va u korxona ustavida ko'rsatilgan bo'ladi.

Bu maqsadlar uzoq muddatli rejalashtirish hamda korxonaning kiritik faoliyati asosida aniqlanadi. Bunday qarorlar taktik va tezkor qarorlar qabul qilish asosini ta'minlaydi: "Boshqa firmalarga nisbatan raqobatbardoshli bo'lishi uchun qanday strategiyaga amal qilishimiz kerak: arzon yetkazib beruvchi yoki boshqa", "biz bozorni hammasini egallaymizmi yoki uni bir qismini?".

Qabul qilinayotgan qarorlarni quyidagi belgilar bilan tasniflash mumkin:

- aniqlik darajasi;
- kriterialligi bo'yicha;
- kollektivlik bo'yicha;

Aniqlik darajasi qaror qabul qilinayotgan sharoitlariga bog'liq. Aniqlikning uchta darajasi ma'lum: to'liq aniqlik, tavakkal qilish holati va noaniqlik.

A) Aniqlik sharoitlarida qaror qabul qilish.

Aniqlik tushunchasi ancha nisbiy, chunki u abstraktlashga asoslangan bo'lib, qabul qilinadigan qarorlar natijasida ta'sir qiladigan faktorlarni bilmaslik yoki uni hisobga olmaslikdan iborat. Aniqlik deb har bir qaror variantiga aniq bir natijalar to'plami mos kelishiga aytiladi. Hisoblar uchun ko'pincha determinatlangan bog'liqliklar qo'llaniladi va dastlabki ma'lumotlar yetarli darajada ishonchli bo'ladi. Bunda:

- masala yaxshi formallashtirilgan (qarorni modeli bor);
- qaror sifatini baholash mezonlari mavjud;
- qabul qilinadigan qaror natijalarini oldindan ko'rish mumkin.

B) Tavakkal qilish sharoitida qarorlar qabul qilish.

Bu holda qarorning har bir varianti bir nechta holatlar bilan xarakterlanadi, ular turli ehtimolliklar bilan kelishi mumkin va bunda har bir variant uchun natijalar to'plami olinadi.

Ehtimollikni hisoblash mumkin, buning uchun statistik ma'lumotlar bo'lishi zarur.

C) Noaniqlik sharoitida qaror qabul qilish.

Bu masala qaror qabul qilishda noaniq, to'liq bo'lmagan yoki kuchsiz strukturalanadigan axborot sharoitlarida paydo bo'ladi. Formal modellar bo'lmaydi yoki juda murakkab bo'lishi mumkin. Hodisani bo'lish ehtimolligi aniqlanmaydi.

Quyidagi belgi yordamida qarorlar qabul qilishni barcha masalalarini ikkita sinfga bo'lish mumkin:

- bir mezonli;
- ko'p mezonli.

Agar qaror qabul qilish jarayoni bir nechta mezonlar bilan xarakterlansa, u holda ularni muvofiqlashtirish usuli bo'lishi kerak. Bu, baholar orasidagi qaysi nisbat eng yaxshi bo'lishi mumkin degan savolga javob bo'ladi. Barcha qabul qilinayotgan qarorlar masalasini ikkiga bo'lish mumkin: odam tomonidan qabul qilinadigan qaror va jamoa tomonidan qabul qilinadigan qaror. Amaliyotda qaror qabul qilish masalasi bir nechta sanab o'tilgan belgilar tasnifining bir nechta qiymatlari bilan xarakterlanishi mumkin.

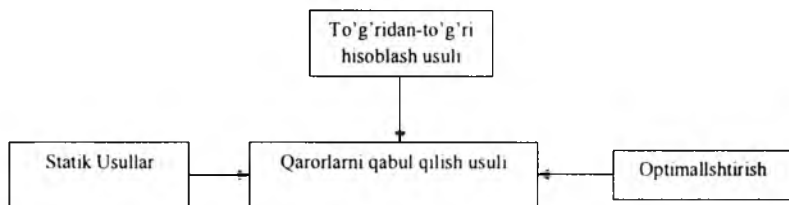
Qarorlarni shakllantirish usullari ularning tipiga mos ravishda yaratiladi.

“Qarorlarni shakllantirish usuli” tushunchasi ko‘p sathli bo‘lib, u o‘z ichiga turli xil yechimlarning asosiy va maxsus usullarni oladi. Asosiy usul keng qo‘llanilgan masalalarni yechish uchun mo‘ljallangan.

Maxsus usul esa maxsus masalalarning muhim jihatlarini aks ettiradi. Qarorlarni shakllantirish usuli, ko‘pincha, bir nechta masalalarni yechishning muhim usullarini o‘z ichiga oladi.

Turg‘un usul, yuoridagi usullarni birgalikda keng qo‘llanishga asoslanib, o‘zining nomiga ega bo‘lishi mumkin.

Masalan, turli rejalashtirish va boshqarishni optimallashtirish hamda yuk tashishni boshqarish usullari birgalikda “yuk tashishni tezkor tahlil qilish va boshqarish” usuli nomini oldi.

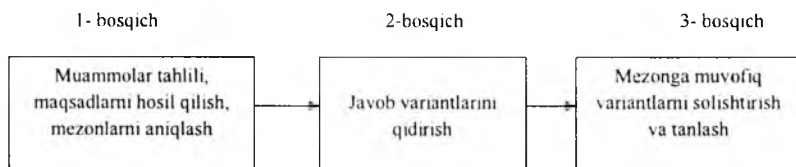


5.7.2 -rasm. To‘g‘ridan-to‘g‘ri olingan optimallashtirish, statik usul va muammolar usuli asosida qaror qabul qilishni shakllantirish usuli.

5.7.2. Qarorlarni qabul qilish bosqichlari va ularni baholash mezonlari (Saymon sxemasi)

Qaror qabul qilish amaliyoti turlicha, lekin barcha qarorlar ongli ravishda aniq bir sxema bo‘yicha amalga oshiriladi. Samarali qaror qabul qilish uchun alohida bosqichlar, amallar va operatsiyalardan iborat bo‘lgan bir qator ishlarni bajarish zarur.

Qarorlarni shakllantirishning ko‘p sonli usullari orasidan G.Saymonning (5.7.3-rasm) uch bosqichli modelini ajratib olamiz, u hozirgi kunda ma‘lum bo‘lgan ko‘plab texnologiyalarni amalga oshirishda asos hisoblanadi.



5.7.3 - rasm. Qarorlarni uch bosqichda shakllantirish.

Qarorlarni shakllantirishning har bir bosqichi mazmunini ko'rib chiqamiz.

Qarorlarni shakllantirishning birinchi bosqichi. Birinchi bosqichda asosan quyidagi norasmiy usullar qo'llaniladi:

- yechilishi kerak bo'lgan muammoni shakllantirish;
- qarorlarni qabul qilish maqsadini aniqlash.
- qaror qabul qilish natijalarini baholash mezonini shakllantirish.

Boshqarish jarayoni obyektiv tarzda paydo bo'luvchi muammoni ifodalaydi, uni yechish qaror qabul qiladigan shaxsni (QQQSh) qiziqishlariga bog'liq. Agar muammoni tushunilgan va miqdoriy ko'rsatkichlar yoki sifat belgilari bilan identifikatsiya qilingan bo'lsa, u holda maqsadni shakllantirish mumkin. Maqsad – bu muammoni antipodi. Agar QQQSh xohlagan narsa bu muammo bo'lsa, maqsad – bu unga uning intilishini bildiradi. Maqsadga erishishning turli yo'llari muqobillar orqali bo'lishi mumkin. Ularni baholash uchun foydalilik nazariyasidan foydalanish mumkin.

Qaror qabul qilishdan so'ng, o'rtacha natijani hosoblash uchun formula keltirib chiqarilgan. Agar ikkita muqobil bo'lsa, formula quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$R = px + (1 - p)y,$$

bu yerda R – qaror qabul qilish natijasining matematik kutilishi; n – x natijaning paydo bo'lish ehtimoli; $(1 - n)$ – natijaning paydo bo'lish ehtimoli; y – qaror qabul qilish muqobili.

Amaliyotda korxonaning rivojlanish yo'nalishi u yoki bu maqsadga erishish sathini moddiy jihatdan akslantiruvchi ko'rsatkich yordamida beriladi. QQQSh ni fikri bo'yicha boshqarish obyektini berilgan maqsadga mos kelishi eng ko'p darajada xarakterlasa, u qarorlar variantlarini baholash mezonida asosiy rol o'ynaydi. Mezon – bu qarorlar variantlarining eng qiziqtiradigan ko'rsatkich. Obyekt yoki

jarayon holatini eng afzal baholash uchun mezonni shunday shakllantirish kerakki, u istalgan qiymatni ko'rsatsin.

Ehtiyot bo'lib tanlash mezon. Bu mezon "eng yomon holat uchun hisobga ol" qoidasiga mos keladi:

$$Y^* = \min_i \min_j C_{ij},$$

bu yerda C_{ij} - j -holat uchun i -variant bo'yicha olinadigan natijalar.

Shu mezonga mos ravishda barcha holatlar uchun natijalarning minimal qiymatlarini topish operatsiyalari kema-ket bajariladi, so'ngra olingan variantlardan eng minimal qiymatga ega bo'lgani topiladi. Uning raqami eng yaxshi qarorni aniqlaydi.

Optimistik tanlash mezon. "eng yaxshi holga hisobla" qoidasiga mo'ljallangan. Eng yaxshi variant quyidagicha aniqlanadi:

$$Y^* = \max_j \max_i C_{ij},$$

$Y^* = \min_i \min_j C_{ij}$, va $Y^* = \max_j \max_i C_{ij}$, mezonlari ham keng tarqalgan.

O'rtacha yutuqning maksimum mezonidan, u yoki bu holatni paydo bo'lish ehtimoli ma'lum bo'lganda foydalaniladi. Har bir variantga o'rtacha yutuq quyidagicha hisoblanadi:

$$M_i = \sum_j P_j C_{ij},$$

bu yerda M_i - i -qaror qabul qilingan holdagi yutuqning matematik kutilishi; P_j - j -holatning paydo bo'lish ehtimoli; C_{ij} - j -holatda i -qarorni baholash.

Qarorlarni shakllantirishning ikkinchi bosqichida ularning turli variantlarini, muqobillarni qidirish amalga oshiradi. Variantlar turli shakllarda qidirilishi mumkin (harakatlar, holatlar, marshrutlar, narxlar b.). Ular ko'pincha sanab o'tish bilan (agar ular juda ko'p bo'lmasa), yoki ularni xossalarini tavsiflash bilan beriladi. Qarorlarning variantlarini generatsiya qilish ko'pincha turli ko'rinishdagi analitik modellar yordamida yoki ekspert tizimlarning bilimlar bazasi yordamida bajariladi.

Muqobillar bog'liq bo'lgan va bog'liq bo'lmagan holda bo'lishi mumkin. Agar birorta muqobil ustidagi amal boshqalarining sifatiga ta'sir qilmasa, bunday muqobil bog'liq bo'lmagan muqobil deyiladi.

Bog'liq bo'lgan muqobillarda ularning bittasini bahosi boshqalarini sifatiga ta'sir qiladi. Uchinchi bosqichda, birinchi bosqichda shakllantirilgan tanlash mezoniga asosan yechish mumkin bo'lgan natijalarni ranglash asosida taqqoslash, baholash va qarorni tanlash amalga oshiriladi.

5.7.3. Aniqlik sharoitlarida qarorni shakllantirish

Aniqlik tushunchasi nisbiy tushuncha hisoblanadi. Aniqlik tushunchasi deganda, biz har bir qarorni muqobiliga ma'lum natijalar to'plami mos kelishini tushunamiz.

Bu quyidagilarni bildiradi:

- masalaning yaxshi formallashtirilganligi (qarorni usuli mavjud);
- qarorni sifatini baholash mezonining mavjudligi;
- qaror natijasining ma'lumligini.

Boshqarish iyerarxiyasida boshqarishning aniq sathiga mos keladigan maqsadlar shakllantiriladi. Eng yuqori sathda direktiv xarakterga ega bo'lgan maqsadlar bo'ladi.

Bu maqsadlar trayektoriyasi deb ham ataladi. Bunday nom boshqarish obyektining vaqt bo'yicha o'zgarishini istalgan trayektoriyasini berilgan maqsadlarini akslantiradi. Boshqarish obyektining QQQSh salbiy hodisalarni yo'qotishga intiladi va aniq trayektoriyali istalgan hodisa bilan mos kelishiga erishadi.

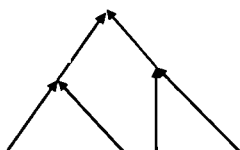
Trayektoriyali maqsadlarga ishchi maqsadlar bo'ysundirilgan bo'lib, ular paydo bo'ladigan aniq holatlarga mos ravishda o'zgaradi. Direktiv maqsadlar har doim detallashtiriladi. Detallashtirish jarayoni iyerarxik xarakterga ega. Natijada maqsadlar daraxti hosil bo'ladi. Maqsadlar daraxtining pastki qismi direktiv maqsadga erishish uchun bajarilishi kerak bo'lgan ishlarga aylanadi.

Agar masalani yechish maqsadini shakllantirish, uni maqsad ostiga dekompozitsiyalash, so'ngra har bir maqsad ostiga erishish sathini hisoblash uchun formula kiritilsa, u holda qaror qabul qilish jarayonini maqsadlar daraxti yordamida ifodalash mumkin, bu holda ikkita: to'g'ri va teskari hisoblashlar bajariladi.

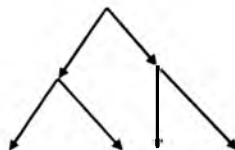
Maqsadlar daraxti yordamida qarorlar ikki bosqichda shakllantiriladi (5.7.4-rasm.):

– korxonani aniq holatini aniqlash uchun to'g'ridan-to'g'ri hisoblar bajariladi (bosh maqsadga erishish aniq sathi qanday);

- istalgan sathni bosh maqsadiga erishishi uchun qanday choralar ko'rish kerakligini bilish uchun teskari hisoblashlar olib boriladi:
- maqsadlar daraxtini terminal bo'g'inlariga cheklashlar (resurslarga cheklash) qo'yish;
- maqsadga erishishdagi ustuvorlik;
- maqsadlarga erishish sathini o'zgarishidagi yo'nalishlar (plyus yoki minus).



To'g'ridan-to'g'ri
hisoblashlar
(pastdan-tepaga)



Teskari hisoblashlar:
(yuqoridan-pastga)

5.7.4 - rasm. Teskari hisoblashlar asosida qarorlarni shakllantirish bosqichlari.

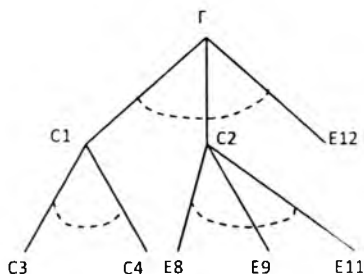
Maqsadlar daraxtining terminal bo'g'inlari to'plam qiymatlari masalalarining yechimi bo'ladi, ular aniq bir struktura bo'linmalari uchun boshqarish ta'sirlari sifatida xizmat qiladi.

5.7.4. Noaniqlik sharoitlarida qarorlarni shakllantirish

Faktlar yoki hodisalar to'g'risidagi yoki obyektning xossasi to'g'risidagi bo'limlarning to'liq emasligiga noaniq manbalari bo'lib xizmat qiladi, ularni o'lchashni iloji yo'q.

Investitsiyalash jarayoniga mo'ljallangan ekspert tizimi yordamida qarorlarni shakllantirish jarayonini ko'rib chiqamiz. Korxona rahbariyati oldida boshqa korxonaning aksiyasiga mablag' qo'yish to'g'risida qaror qabul masalasi paydo bo'ladi deb faraz qilamiz. Gipotezani quyidagicha shakllantiramiz. Ushbu korxonaning aksiyalari istiqbolli hisoblanadi. U holda masala 0 dan 1 gacha bo'lgan ko'lamda ushbu gipotezaning aniqlik koeffitsiyentini hisoblashdan iborat bo'ladi.

5.7.5-rasmda ifodalangan daraxtning chiqish fragmenti uchta qoidadan iborat. Qoidalar va ularni tushuntirish 5.7.1-jadvalda keltirilgan.



5.7.5 - rasm. Maqsadlar daraxti fragmenti.

5.7.1- jadval

Daraxtning chiqish qoidasi

Daraxt sathi	Qoida nomeri	Qoidalar jadvali	Aniqlik koeffitsiyentlari
1	1	Agar C_1 yoki C_2 yoki E_{12} , unda Γ	0,8
2	2	Agar C_1 va C_2 , unda C_1	0,7
2	3	Agar E_8 yoki E_9 yoki E_{11} , unda C_2	0,8

Daraxtni chiqishida ikkita YOKI bog'lovchili ikki qoida bor va u bog'lovchi bilan bitta qoida bor. C_1 , C_2 va Γ xossalar uchun aniqlanganlik koeffitsiyenti quyidagilarga teng:

$ct(C_1) = 0,4 \cdot 0,7 = 0,28$; $ct(C_2) = 0,7 \cdot 0,8 = 0,56$; $ct(\Gamma) = 0,56 \cdot 0,8 = 0,45$.

Shunday qilib, "ushbu korxonaning aksiyalari istiqbolli hisoblanadi" degan gipoteza aniqlanganlik koeffitsiyentlari ancha past, chunki 0 dan 1 gacha bo'lgan ko'lamda 0,45 ga teng.

5.7.2-Jadval.

Daraxtni chiqishidagi belgilarni tushuntirish

Tugunning belgisi	Xulosa daraxtidagi tugunning tarkibi	Aniqlanganlik koeffitsiyenti
Γ	Sotib oluvchi aksiyalari	
C_1	Joriy yilda korxona daromadi pastga tushmadi	
C_2	Vositalarni yo'qotish xavfi past	

C_1	Joriy yildagi tushum kamaymadi	0,4
C_4	Xarajatlari oshmadi	0,6
E_8	Korxona obro'si yuqori	0,7
E_9	Mablag'lardan olingan foyda inflyatsiya darajasidan yuqori	0,4
E_{11}	Aksiyalar bahosi	0,3
E_{12}	Aksiyaga bo'lgan aksionerlik kapitalining tannarxi uning bahosidan kam emas	0,5

Zamonaviy ekspert tizimlari qarorlarni shakllantirishda ko'pincha bilimlar bazasiga asoslanadi. Bunday tizimlar asosida ko'pincha daraxtning turli chiqishlari yotadi.

5.7.5. Tavakkal qilish sharoitlarida qarorlarni shakllantirish

Tavakkal qilish sharoitlarida, agar qarorlar variantlarini akslantiruvchi muqobillar bir-biriga nisbatan bog'liq holda bo'lsa, qarorlar daraxtidan foydalanish mumkin. Ko'pincha, muqobilni paydo bo'lish sharti sifat xarakteriga ega bo'lib, ular ehtimollik kattaliklari bilan aniqlanadi. Iyerarxiya nisbatlarini daraxt ko'rinishida ifodalash qulay: daraxtning yo'li muqobilning qisman yechimlarini, bo'g'inlar esa natijalarni akslantiradi.

Shunday qilib, yechimlar daraxti hosil bo'ladi, u yordamida shartlarning ehtimollik (chastotasi) xarakteristikalarini ifodalash mumkin. Bu daraxtning u yoki bu sathda matematik kutilishi yordamida qaror qabul qilish natijasini yetarli darajada oson aniqlashga imkon beradi:

$$E(\text{umumiy natija}) = \sum_{i=1}^n p_i d_i,$$

bu yerda E (umumiy natija) – umumiy yoki oraliq natijani matematik kutilishi; n – i - hodisani sodir bo'lish ehtimoli; d_i – natija (xususiy) i - hodisani sodir bo'lganda olinadi; n – umumiy natijaga ta'sir qiluvchi hodisalar miqdori.

5 – bob bo'yicha nazorat savollari

1. Operatsiyalarni tadqiq qilishda, qarorlar qabul qilishda qaysi bosqichlar asosiy hisoblanadi?
2. Boshlang'ich axborotning aniqlik chegaralarida modellashtirilayotgan obyekt va modelni monandlik darajasini o'rnatishda qanday ikkita hol bo'lishi mumkin.
3. Qarorlarni qabul qilish qachon ma'noga ega?
4. Qaror qabul qilish masalasining elementlarini aytib bering.
5. Fon Neyman va Morgenshternlarning kutilayotgan foydalilik nazariyasidan qanday foydalanish mumkin?
6. Afzalliklar to'g'risidagi taxminni akslantiruvchi qanday aksiomalar kutilayotgan foydalilik modeli asosida yotadi?
7. Subyektiv kutilayotgan foydalilik nima va bu tushunchalarni fanga kim kiritgan?
8. Itsiqbollar nazariyasi asosida nima yotadi?
9. Shoke bo'yicha kutilayotgan foydalilik nazaryasida nimadan foydalaniladi?
10. Istiqbollarni jamlangan nazariyasi kim tomonidan taklif qilingan?
11. "Elbergning ikki urna paradoksi" deb nimaga aytiladi?
12. Qanday masalalar ko'لامي uchun amaliyotda noaniq to'plam asosidagi algoritmlar yaxshi tavsiya oldi?
13. Muqobil A ni foydaliligi nimadan iborat?
14. Foydalanishning noaniq funksiyasi nima?
15. Intervalli noaniqlik nima?
16. Noaniq noaniqlik nima?
17. Subyektiv ehtimollik nima?
18. Noaniq o'lchash nima?
19. Lingvistik ehtimollik nima?
20. Lingvistik ehtimolliklarni to'liq taqsimlanishini berish mumkinmi?
21. Noaniq rezolyutsiya tamoyilini tushuntirib bering.
22. Bilimlar bazasini mantiqiy qarama-qarshi elementi nima?
23. Klassik va boshqa mavjud bo'lgan qaror qabul qilish nazariyalarining kamchiliklarini sanab o'ting.

5 - bobga doir adabiyotlar

1. <http://www.mathely.spb.ru/book1/1prog1.htm>
2. <http://www.mathely.spb.ru/book1/1prog4.htm>
3. Rafik Aziz Aliev. Fundamentals of the Fuzzy Logic-Based Generalized Theory of Decisions. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Volume 293. Springer, 2013. -319 p.
4. R.A. Aliev, O.H. Huseynov. Decision theory with imperfect information. 2014.
5. Savage L.J. The Foundations of Statistics. -New York: Wiley, 1954.
6. Billot A An existence theorem for fuzzy utility functions: a new elementary proof. Fuzzy Sets and Systems, 74. 1995. -p.p.271-276.
7. Kojadinovic I. Multi-attribute utility theory based on the Choquet integral: A theoretical and practical overview, 7th Int. Conf. on Multi-Objective Programming and Goal Programming, Loire Valley (City of Tours). - France, 2006.
8. Miyamoto J.M., Wakker P. Multiattribute Utility Theory Without Expected Utility Foundations. Operations Research. Vol. 44. No. 2: 1996. -p.p.313-326.
9. Schmeidler D. Subjective probability and expected utility without additivity. Econometrica 57(3): 1989. -p.p. 571-587.
10. Von J. Neumann and O. Morgenstern. Theory of games and economic behaviour (Princeton University Press, 1944.)
11. Wakker P.P. and Zank H. State Dependent Expected Utility for Savage's State Space. Mathematics of Operations Research 24(1): 1999. -p.p. 8-34.
12. Gilboa I. Theory of Decision under Uncertainty. -Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
13. Segal U. The Ellsberg paradox and risk aversion: An anticipated utility approach, International Economic Review 28, 1987. -p.p. 175-202.
14. Ramsey F.P. Truth and Probability. In The Foundations of Mathematics and Other Logical Essays. Braithwaite R.B and Plumpton, F. (Eds.) London: K. Paul, Trench, Truber and Co. 1931-p.p.
15. de Finetti B. Theory of Probability. Vol. 1. -New York: John Wiley and Sons, 1974.
16. Akerlof G.A., Shiller R.J. Animal Spirits. How Human Psychology Drives the Economy, and Why it Matters for Global Capitalism. Princeton University Press, 2009.
17. Kahneman D., Tversky A. Prospect theory: an analysis of decision under uncertainty. Econometrica 47: 1979. -p.p. 263-291.
18. Paolo P. Cumulative prospect theory and second order stochastic dominance criteria: an application to mutual funds performance.
19. Choquet G. Theory of capacities. Annales de l'Institut Fourier 5: 1953. - p.p. 131-295.

20. Quiggin J. A theory of anticipated utility. *Journal of Economic Behavior and Organization* 3: 1982. -p.p.323-343.
21. Yaari M.E. The Dual Theory of Choice under Risk. *Econometrica* Vol. 55, No. 1: 1987. -p.p. 95-115.
22. Birnbaum M.H. New tests of cumulative prospect theory and the priority heuristic: Probability-outcome tradeoff with branch splitting. *Judgment and Decision Making*. Vol. 3. No. 4: 2008. -p.p. 304–316.
23. Birnbaum MH, Johnson K and Long bottom Lee J Tests of Cumulative Prospect Theory with graphical displays of probability. *Judgment and Decision Making*. Vol. 3. No. 7: 2008. -p.p. 528–546.
24. Labreuche C., Grabisch M. Generalized Choquet-like aggregation functions for handling bipolar scales. *European Journal of Operational Research* 172: 2006. -p.p. 931-955.
25. Wu G., Markle A.B. An Empirical Test of Gain-Loss Separability in Prospect Theory. *Management Science*, vol. 54. № 7: 2008. -p.p. 1322-1335.
26. Neilson W., Stowe J. A Further Examination of Cumulative Prospect Theory Parameterizations. *The Journal of Risk and Uncertainty* 24:1: 2002. -p.p.31–46.
27. Baltussen G, Thierry P, van Vliet P. Violations of Cumulative Prospect theory in Mixed Gambles with Moderate Probabilities. *Management Science*. Volume 52, Issue 8: 2006. -p.p. 1288-1290.
28. Ellsberg D Risk, Ambiguity and the Savage Axioms. *Quarterly Journal of Economics* 75: 1961. -p.p. 643-669.
29. Camerer C, Weber M Recent Developments in Modeling Preferences. *Journal of Risk and Uncertainty* 5: 1992. -p.p. 325-370.
30. Gilboa I., Schmeidler D. Maximin Expected utility with a non-unique prior. *Journal of Mathematical Economics* 18: 1989. -p.p. 141-153.
31. Ghirardato P., Maccheroni F. and Marinacci M. Differentiating Ambiguity and Ambiguity Attitude. *Journal of Economic Theory* 118: 2004. -p.p. 133–173.
32. Klibanoff P., Marinacci M. and Mukerji S. A smooth model of decision making under ambiguity. *Econometrica* 73(6): 2005. -p.p. 1849–1892.
33. Chew SH, Karni E, Safra Z Risk aversion in the theory of expected utility with rank-dependent probabilities. *Journal of Economic Theory* 42: 1987. -p.p. 370-381.
34. Seo K. Ambiguity and Second-Order Belief. *Econometrica* 77(5): 2009. -p.p. 1575–1605.
35. Chateauneuf A., Faro J. Ambiguity through confidence functions. *Journal of Mathematical Economics* 45(9-10): 2009. -p.p. 535-558.
36. Eichberger J., Kelsey D. E-Capacities and the Ellsberg Paradox. *Theory and Decision* 46: 1999. -p.p. 107-138.

37. Hansen L., Sargent T. Robust Control and Model Uncertainty. *American Economic Review* 91: 2001. -p.p. 60-66.
38. Maccheroni F., Marinacci M., Rustichini A. Ambiguity aversion, Robustness, and the Variational Representation of Preferences. *Econometrica* 74: 2005. -p.p. 1447-1498.
39. Aliev R.A., Pedrycz W. and Huseynov O.H. (2012). Decision theory with imprecise probabilities. *Int. J. Inf. Tech. Decis.*, 11(2). -pp. 271-306.
40. Aliev R.A., Pedrycz W., Zeinalova L.M. and Huseynov O.H. (2014). Decision making with second-order imprecise probabilities, *Int. J. Intell. Syst.*, Volume 29, Issue 2. - pp. 137–160.
41. Hodges J.L., Lehmann E. The use of previous experience in reaching statistical decisions. *The Annals of Mathematical Statistics* 23: 1952. -p.p. 396-407.
42. Chateauneuf A., Wakker P. An Axiomatization of Cumulative Prospect Theory for Decision Under Risk. *Journal of Risk and Uncertainty* 18:2: 1999. -p.p. 137-145.
43. Epstein L.G., Schneider M. Ambiguity, information quality and asset pricing. *Journal of Finance* 63(1): 2008. -p.p. 197-228.
44. Ghirardato P., Klibanoff P., Marinacci M. Additivity with multiple priors. *Journal of Mathematical Economics* 30: 1998. -p.p. 405–420.
45. Becker J., Sarin R. Economics of Ambiguity in probability. Working paper, UCLA Graduate School of Management, 1990. -p.p.
46. Chen Z. and Epstein L.G. Ambiguity, Risk, and Asset Returns in Continuous Time. *Econometrica* 70: 2002. -p.p. 1403–1443.
47. Einhorn H., Hogarth R. Ambiguity and Uncertainty in Probabilistic inference. *Psychology Review* 92: 1985. -p.p. 433-461.
48. Epstein L.G., A Definition of Uncertainty Aversion. *Review of Economic Studies* 66: 1999. -p.p. 579–608.
49. Franke G. Expected utility with ambiguous probabilities and “Irrational Parameters”. *Theory and Decision* 9: 1978. -p.p. 267-283.
50. Ghirardato P., Marinacci M. Range Convexity and Ambiguity Averse Preferences. *Economic Theory* 17: 2001. -p.p. 599-617.
51. Ghirardato P., Marinacci M. Ambiguity Made Precise: A Comparative Foundation. *Journal of Economic Theory* 102: 2002. -p.p. 251-289.
52. Huettel S.A., Stowe C.J., Gordon E.M., Warner B.T. and Platt M.L. Neural signatures of economic preferences for risk and ambiguity. *Neuron* 49: 2006. -p.p. 765–775.
53. Karni E. Decision Making under Uncertainty: The case of state dependent preferences. Cambridge: Harvard University Press, 1985.
54. Gilboa I., Maccheroni F., Marinacci M., Schmeidler D. Objective and subjective rationality in a multiple prior model. *Econometrica* 78(2): 2010. -p.p. 755–770.

55. Walley P. Statistical Reasoning with Imprecise Probabilities, London: Chapman and Hall. 1991.
56. Walley P. Measures of uncertainty in expert systems. *Artificial Intelligence*: 83(1): 1996. -p.p. 1-58.
57. Walley P., de Cooman G. A behavioral model for linguistic uncertainty. *Information Sciences* 134 (1-4): 2001. -p.p. 1-37.
58. Zadeh L.A. Generalized theory of uncertainty (GTU) – principal concepts and ideas. *Computational statistics & Data Analysis* 51: 2006. -p.p. 15-46.
59. Guirimov B.G., Gurbanov Ramiz S., Aliev Rafik A. Application of fuzzy geometry in decision making. In: *Proc. of the Sixth International Conference on Soft Computing and Computing with Words in System Analysis, Decision and Control, (ICSCCW-2011), Antalya: 2011.* -p.p. 308-316.
60. Yager R.R. On global requirements for implication operators in fuzzy modus ponens. *Fuzzy Sets and Systems* 106: 1999. -p.p. 3-10.
61. <http://dit.isuet.ru/ivt/books../IS/Model/g113.htm>
62. Rafik Aliev, Oleg Huseynov, Vladik Kreinovich. Estimating mean and variance under interval uncertainty: dynamic case. In *Proc. of the Tenth International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing (ICAFS-2012).* - Lisbon, Portugal: b- Quadrat Verlag, Germany, 2012. -pp. 145-152..
63. http://www.elitazium.ru/2008/02/08/jeffekty_umstvenniji_bukhgalterii.html
64. Aliev, R. A., Pedrycz, W., Fazlollahi B., Huseynov O. H., Alizadeh A. V. and Guirimov, B. G. (2012). Fuzzy logic-based generalized decision theory with imperfect information, *Inform. Sciences*, 189. 2012. - pp. 18-42.
65. Aliev, R. A., Pedrycz, W., Alizadeh, A. V. and Huseynov, O. H. Fuzzy optimality based decision making under imperfect information without utility, *Fuzzy Optim. Decis. Ma.*, vol. 12, issue 4. 2013. - pp. 357-372.
66. <http://dudikin.narod.ru/isi/5a.htm>.

6.1.Noaniq chiziqli dasturlash

To'liq bo'lmagan aniqlik sharoitlarida, ko'p hollarda obyektning qulay va monand tavsiflash masalasi noaniq matematik dasturlash masalalari sifatida ko'rib chiqiladi.

Shunga o'xshash masalalarni yechishning matematik apparati turlicha va turli noaniq sharoitlarda optimallik tushunchasining qo'yilish variantlariga mos keladi.

Agar noaniqlik manbai maqsad funksiyasining parametrlari yoki cheklash parametrlari bo'lsa, u holda noaniq matematik dasturlashni dastlabki masalasini, mos matematik apparatni ko'p mezonli optimallashtirish masalasi sifatida ko'rib chiqish mumkin [1÷5]. Noaniq parametrli masalalarini yechish, ko'pincha, mos yechish usuliga ega bo'lgan intervalli dasturlash masalalariga keltiriladi [6].

Noaniq parametrlar sharoitida optimal qarorlar qabul qilishning chiziqli modellariга murojaat qilamiz.

Quyidagicha berilgan noaniq matematik dasturlash (NMD) masalasini ko'rib chiqamiz: maqsad funksiyasini maksimal qiymatiga, (6.1.2) cheklanishlarda erishish talab etilsin:

$$\tilde{q} = \sum_i \tilde{p}_i x_i \longrightarrow \max \quad (6.1.1)$$

$$\sum_i \tilde{h}_{ij} x_i \leq \tilde{d}_j, \quad \forall j. \quad (6.1.2)$$

Maqsad funksiyasining koeffitsiyentlari o'zi bilan birga $\tilde{p}_i \in [p_i^L, p_i^R]$ noaniq sonlarni ifodalaydi. Bu yerda va keyinchalik L va R indeksleri noaniq sonni tashuvchi chap va o'ng chegaralarni bildiradi. Noaniq koeffitsiyentlar ekspert yo'li bilan beriladi. Cheklash parametrlari esa oddiy sonlar sifatida beriladi: $x \in X \subseteq R_+^n$.

Dastlab, noaniq maqsad funksiyasini maksimallashtirishga bo'lgan talabni, ushbu funktsiyani α -sathlar bo'yicha olingan qiymatlar yig'indisini maksimallashtirish kabi aks ettiramiz:

$$q(x) = \sum_k [q_k^L(\alpha_k, x) + q_k^R(\alpha_k, x)] \alpha_k \longrightarrow \max, \quad (6.1.3)$$

bu yerda $q^*(\alpha_k) = \sum_i p_i^*(\alpha_k) x_i, \quad * \in \{L, R\}.$

(6.1.2) cheklanishda $\succ$ belgi «yomon emas» sifatida o'qiladi, ya'ni shunday x vektorni tanlab olish kerak-ki, u (6.1.1) shartni qanoatlantirish bilan bir vaqtda, (6.1.2) ifodaning chap qismini o'ng qismiga nisbatan «yomon emas» ligini ta'minlasin.

Noaniq cheklanishlarni bunday aks ettirish, to'plam cheklanishlarini aniq tavsiflash (yo'l qo'yilgan muqobillar) real sharoitga taxminiy yaqinlashishi va real masalalarda, muqobillar aniq cheklanishlar to'plamini tashqarisida bo'lmasligi hamda ushbu to'plam ichidagi muqobilga nisbatan qaror qabul qiluvchi shaxs uchun u yoki bu darajaga kamroq istalgan bo'lishi mumkinligini ifodalaydi.

« $\tilde{A}$ $\tilde{B}$ ga nisbatan yomon emas» degan nisbatni « $\tilde{A}$ $\tilde{B}$ ni tarkibida mavjud» deb aniqlash mumkin, ya'ni $\forall x \in X \quad \mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}$. Boshqacha qilib aytganda, « $\tilde{A}$ $\tilde{B}$ ni tarkibida» degan ifodani quyidagicha ko'rib chiqish mumkin $\tilde{A} \subseteq \tilde{B}$.

Ko'pincha (6.1.2) ifodaning chap qismini, ko'rilayotgan predmet sohasida, ekspert beradi. O'ng qismini esa QQQSH ifodalaydi. Bunday interpretatsiya qilinganda (6.1.2) ning to'g'ri yozilishi quyidagicha bo'ladi:

$$\sum_j \tilde{h}_{ij} x_i \subseteq \tilde{d}_j, \quad \forall j. \quad (6.1.4)$$

(6.1.1)-(6.1.2)-masalani yechilish usuliga murojaat qilamiz. (6.1.1) mezon (6.1.3) ko'rinishidagi maqsadni aniq funksiyasi ko'rinishida yoziladi. So'ng, [1] ishda tavsiflangan usulga mos ravishda, diskret α -sathlar, mezon va (6.1.4) cheklanishlar kiritiladi va har bir sath α_k ga ($k \in K$ - α -sathlar soni) mos ravishda ko'rib chiqiladi. (6.1.3) ning α_k sathga mos keladigan qo'shiluvchisi maksimallashtiriladi:

$$q_k(x) = q_k^L(\alpha_k, x) + q_k^R(\alpha_k, x) \xrightarrow{x} \max \quad (6.1.5)$$

(6.1.4) cheklanishlar har bir α_k - sathda intervalli cheklanishlar tizimi ko'rinishda yoziladi:

$$\sum_i [h_{ij}^L(\alpha_k), h_{ij}^R(\alpha_k)] x_i \subseteq [d_j^L(\alpha_k), d_j^R(\alpha_k)], \quad \forall j. \quad (6.1.6)$$

(6.1.6) ni oddiy chiziqli tengsizliklar tizimiga keltirish, chap va o'ng intervallar chegarasiga mos keladigan alohida tengsizliklar ko'rinishida yozib, amalga oshiriladi:

$$\sum_i h_{ij}^L(\alpha_k) x_i \geq d_j^L(\alpha_k),$$

$$\sum_i h_{ij}^R(\alpha_k) x_i \leq d_j^R(\alpha_k), \quad (6.1.7)$$

Shunday qilib, har bir α -sathda oddiy chiziqli dasturlash masalasi (CHDM) shakllantiriladi, uni yechimga tegishlilik darajasining mos qiymati, ya'ni α - sathlar yozib qo'yiladi. Dastlab, masalaning diskret noaniq yechimlar to'plami shakllantiriladi.

Noaniq to'plam ko'rinishida yechish, o'ziga yetarli darajada axborotlidir. Lekin an'anaviy yondashish, oddiy vektor x ko'rinishidagi aniq yechimni talab qilishi mumkin. Bu holda, ma'lum bo'lgan defazzifikatsiyalash usullarining bittasini qo'llab (masalan, maksimal tegishlilik funksiyasini yechish yoki «og'irlik markazi» usuli bo'yicha yechish orqali), aniq yechimni olish mumkin.

Taklif qilinayotgan usulini quyidagi misolda ko'rib chiqamiz.

Ikkita korxona orasidagi, keyingi ikki yil mobaynida, foyda olish maqsadida investitsion vositalarni dastlabki taqsimlanish masalasini ko'rib chiqamiz. Foydani, $\bar{\alpha}_{ij}$ - korxonani birlik investitsion vositalarini uchburchak noaniq sonlar bilan ekspertli baholab, quyidagiga ega bo'lamiz: $\bar{\alpha}_{11} = (1; 3; 5)$, $\bar{\alpha}_{12} = (1; 4; 6)$, $\bar{\alpha}_{21} = (2; 3; 4)$, $\bar{\alpha}_{22} = (0; 3; 6)$. Investorlarning maqsadi — ikkala korxonaning investitsiyalar yig'indisini minimallashtirishdan iborat, bunda har yilgi foydaga noaniq cheklash $\bar{d}_{ij}$ ni belgilaymiz. Bunda optimallik mezoni quyidagi aniq ko'rinishga ega bo'ladi:

$$x_1 + x_2 \longrightarrow \min. \quad (6.1.8)$$

Bu ko'rilayotgan uslubiyatni qo'llashga xalaqit bermaydi, chunki har bir α - sathda uni ifodasi o'zgarishsiz qoladi. Cheklashlar quyidagi ko'rinishni qabul qiladi:

$$\begin{aligned} \bar{\alpha}_{11}x_1 + \bar{\alpha}_{21}x_2 &\subseteq \bar{d}_1, \\ \bar{\alpha}_{12}x_1 + \bar{\alpha}_{22}x_2 &\subseteq \bar{d}_2, \\ x_1 &\geq 0, \quad x_2 \geq 0. \end{aligned} \quad (6.1.9)$$

QQQSH o'zining birinchi va ikkinchi yil foydasiga bo'lgan cheklashlarini uchburchakli noaniq sonlar $\bar{d}_1 = (2; 30; 60)$ va $\bar{d}_2 = (2; 30; 60)$ ko'rinishida belgilasin. Quyidagi α - sathlarni beramiz: 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1.0. α - sathlar bo'yicha optimal x^* yechimlar 6.1.1-jadvalda ko'rsatilgan. Qabul qilingan interpretatsiyaga asosan, barcha cheklashlar qat'iy ravishda bajarilishiga e'tibor qaratish kerak.

Defazzifikatsiya usullaridan foydalanib, kutilayotgan aniq optimal yechimlarni olish mumkin:

$$x_i = \frac{\sum_{k=1}^5 x_{ik} \alpha_k}{\sum_k \alpha_k}, \quad i = 1, 2, \dots \quad (6.1.10)$$

6.1.1- Jadval

α – sathlar bo'yicha optimal yechimlarning tavsiflari

α_k	$\tilde{\alpha}_{11}^L x_1 + \tilde{\alpha}_{12}^L x_2 \geq d_1^L$ $\tilde{\alpha}_{21}^L x_1 + \tilde{\alpha}_{22}^L x_2 \geq d_2^L$	$\tilde{\alpha}_{11}^R x_1 + \tilde{\alpha}_{12}^R x_2 \leq d_1^R$ $\tilde{\alpha}_{21}^R x_1 + \tilde{\alpha}_{22}^R x_2 \leq d_2^R$	x_1^* opt	x_2^* opt	$x_1^* + x_2^*$
0,2	7,6=7,6 7,6=7,6	23,0<54,0 28,5<54,0	4,5	0,6	5,1
0,4	13,2=13,2 13,2=13,2	27,4<48,0 34,5<48,0	5,1	1,7	6,8
0,6	18,8=18,8 18,8=18,8	28,8<42,0 36,0<42,0	4,5	3,4	7,9
0,8	24,4=24,4 24,4=24,4	29,2<36,0 34,5<36,0	3,0	6,0	9,0
1,0	30=30 30=30	30=30 30=30	0	10,0	10,0

Ushbu jadvaldagi ma'lumotlariga asosan, (6.1.10) formula bo'yicha $x_1 = 2,7$; $x_2 = 5,9$ ni olamiz. Investitsiyalarning berilgan qiymatlarida, birinchi va ikkinchi korxonaning ikki yildagi umumiy foydasi quyidagi noaniq son bilan ifodalanadi:

$$\tilde{q} = (\tilde{\alpha}_{11} + \tilde{\alpha}_{12})x_1 + (\tilde{\alpha}_{21} + \tilde{\alpha}_{22})x_2 = \tilde{b}_1 x_1 + \tilde{b}_2 x_2 = (2; 7; 11) \cdot 2,7 + (2; 6; 10) \cdot 5,9.$$

Avval, noaniq sonlarni ko'paytirish qoidalariga asosan, noaniq sonlarning har bir α -sathdagi aniq intervallarni olamiz (x , ning aniq qiymatlari, mos nuqta ko'rinishdagi α -intervalli noaniq sonning xususiy holi sifatida qaraladi). Intervallarning mos uchlarini ko'paytirib, 6.1.2-jadvalni ikkinchi va uchinchi ustunida berilgan noaniq son ko'rinishidagi α -intervalli noaniq sonning xususiy holi olinadi. Intervallarning mos uchlarini ko'paytirib, 6.1.2-jadvalning ikkinchi va uchinchi ustunida berilgan noaniq son ko'rinishidagi

foydani olamiz. 6.1.2-jadvalda 6.1.1-jadvalning α -sathlari bo'yicha optimal yechimlarda olinadigan foydaning qiymati hamda foydaga noaniq α -intervalli cheklashlarining chap va o'ng uchlaridagi qiymatlari ham keltirilgan.

Aniq yechimda olingan foyda, 6.1.1- jadvaldagi yechimdan farqli bo'lib, (6.1.9)-cheklashlar bilan to'liq mos kelmaydi. 6.1.2 – jadvaldan ko'rinib turibdiki, cheklanishlarni buzilishi α_k 0,8 va 1,0: $46,6 < 48,8$ va $54,0 < 60,0$ larga teng bo'lganda seziladi. Bu 6.1.1 – jadvaldan olingan noaniq optimal yechim, uning defazzifikatsiyalangan ma'lum analogi bilan tushuntiriladi.

Ko'rib chiqilgan noaniq chiziqli dasturlash masalasini yechish uslubi, optimal yechimni fazzifikatsiyalangan hamda defazzifikatsiyalangan ko'rinishda olishga imkon beradi, lekin oxirgi holda berilgan noaniq cheklanishlar paydo bo'lishi mumkin. Agar bu buzilishlar QQQSH nuqtai nazaridan mumkin bo'lsa va ko'rib chiqilgan mezonni optimumini investorni maqsadiga monand interpretatsiya qilsa, unda noaniq chiziqli dasturlash masalalarini yechishda ushbu uslubiyatni qo'llash mumkin.

6.1.2 -Jadval.

Noaniq son ko'rinishidagi foyda

Aniq yechimdagi foyda			6.1.1-jadvalda olingan yechimlardagi foyda		Foydaga bo'lgan chegara	
α_k	q_k^L	q_k^R	q_k^L	q_k^R	d_k^R	d_k^R
0,2	24,5	81,3	15,2	51,5	15,2	108,0
0,4	31,8	74,4	26,4	61,9	26,4	96,0
0,6	39,2	67,6	37,6	64,8	37,6	84,0
0,8	46,6	60,8	48,8	63,7	48,8	72,0
1,0	54,0	54,0	60,0	60	60,0	60,0

Ko'pincha, texnologik jarayonlarni matematik tavsiflash va optimallashtirish modellari tadqiq qilinayotgan tizimni soddalashtirilgan modellari bilan ifodalanadi, chunki amalda ularni noaniqlik va to'liq bo'lmagan axborot sharoitlarida ko'rishga to'g'ri keladi. Bu ishlab chiquvchiga noaniq bo'lgan tizimni ko'rsatkichlariga ta'sir qiluvchi omillar: modellarning qo'polliigi bilan, shu jumladan ularni chiziqlantirishda; kuzatish natijalarini buzadigan o'lchash

xatoliklarini borligi va shunga o'xshashlarning borligi bilan izohlanadi.

Bu talablarga, eng ko'p darajada, noaniq modellar mos keladi, ular ekspertlar tomonidan to'plangan bilimlarni tez va samarali tarzda ishga solishi mumkin.

Optimallashtirish masalasini vektorli shaklda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\max(\min)c^T x, Ax \leq b, x \geq 0 \quad (6.1.11)$$

Noaniqlikni hisobga olgan holda, masalani shartli – ekstremal ko'rinishida ko'rib chiqish mumkin: $\max(\min)L(x, \xi)$ quyidagi shartlarda:

$$\begin{aligned} v_j^- &\leq v_j(x, \xi) \leq v_j^+ \quad (j=1, \dots, r, \text{ bu yerda } r \leq m); \\ v_j(x, \xi) &\leq b_j \quad (j=1, \dots, q, \text{ bu yerda } q \leq m); \\ v_k(x, \xi) &= b_k \quad (k=1, \dots, l, \text{ bu yerda } l \leq m); \\ x_j^- &\leq x_j \leq x_j^+, \end{aligned} \quad (6.1.12)$$

bu yerda $r+q+l=m$, $L(x)$ va cheklanishlar v_j – ma'lum funksiyalar.

Matematik nuqtai nazardan noaniqlikni hisobga olgan holda, ushbu masalani ikki xil yo'l bilan yechish mumkin:

- mezonning modeli $f(x_1, \dots, x_n)$, ko'rinishidagi funksiya bilan emas, balki afzallikning ($\succ$) binar nisbati va x_j ning mumkin bo'lgan yechimlarni ($\approx$) farqsizlanishi bilan beriladi; bunda masalani yechilishi ekvivalent (model nuqtai nazaridan farqlanmaydigan) X_0 to'plam bilan ifodalanadi, ularning ichidan yagona yechim x^* ni tanlab olish ekspertning zimmasiga yuklanadi; bunda ekspert qo'shimcha talablar va shartlarni hisobga olib ishlaydi;

- ba'zi bir ma'noda masalani ekvivalent mezonning modeli va $f(x_1, \dots, x_n)$ va $g_j(x_1, \dots, x_n)$, funksiyalar ko'rinishidagi cheklashlar modeli ko'riladi, ular endi noaniq omillarga bog'liq bo'lmaydi: natijada noaniqlik sharoitlarida, dastlabki masalani determinantlangan ekvivalentiga kelinadi: quyidagi shartlarda $\max(\min)f(x)$:

$$\begin{aligned} g_j^- &\leq g_j(x) \leq g_j^+ \quad (j=1, \dots, p, \text{ bu yerda } p \leq m); \\ g_j(x) &\leq g_j \quad (j=1, \dots, q, \text{ bu yerda } q \leq m); \\ g_k(x) &= g_k \quad (k=1, \dots, l, \text{ bu yerda } l \leq m); \\ x_j^- &\leq x_j \leq x_j^+. \end{aligned} \quad (6.1.13)$$

Sanoatda, ishlab chiqarish hududlarini samarali avtomatlashtirish uchun operatorlarning qatnashishi minimal hajmda va real vaqt rejimida bo'lishi kerak, bunda noaniqlikni hisobga olishni ikki yo'li noaniq dasturlash apparatini jalb qiladi [7].

Sanoat ishlab chiqarishida cheklanishlarning noaniq to'plamida noaniq aniqlangan maqsadga erishish, quyidagi sharoitlarda paydo bo'ladi: dastlab, xomashyoni sifati va talab qilingan miqdori va so'ng mahsulotni sifatli ishlab chiqarish u yoki bu texnologiya bo'yicha ishlab chiqilganlik darajasiga bog'liq; oxirgi mahsulotning miqdori va sifati, umumiy holda, bashoratlarga bog'liq va direktiv xarakterga ega emas (talab qilingan miqdor yoki sifatga u yoki bu darajada yo'l qo'yiladigan cheklanishlar bo'lishi mumkin); buyurtmalarni bajarish vaqti, umumiy holda, qat'iy belgilangan kattalik bo'lmaydi, balki biror bir erkinlik darajasiga ega va shunga o'xshash.

Shunday qilib, maqsadlar noaniq holda aniqlangan. Boshqa tomondan, dastlabki komponentlarning va tayyor mahsulotning talab qilingan fizik – kimyoviy xarakteristikalari ba'zi bir diapazonda bo'lishi; uskunalarning real ish unumdorligi bir qator hisobga olinmagan omillarga bog'liqligi; to'plamlarning va omborlarning sig'imlilik aniq bir diapazonda beriladi.

Maqsad funksiyasini minimallashtirish o'rni uchun ba'zi bir berilgan qiymatga erishish masalasi qo'yiladi; shu bilan birga $f(x)$ funksiyani qiymatidan turli chetlanishlariga turli darajadagi yo'l qo'yishlar yoziladi.

Bu holda (6.1.12) – masala quyidagicha tavsiflanadi:

$$f(x) \leq z_0, g(x) \leq 0, x \in X \quad (6.1.14)$$

bu yerda $\leq$ tengsizliklar ularning noaniqligini bildiradi, z_0 esa maqsad funksiyasini berilgan qiymati, unga erishish, maqsadni bajarilishi uchun yetarli deb hisoblanadi.

Ikki chegaraviy sathlar a va b -lar aniqlangan bo'lsin, u holda $f(x) < z_0 - a$ va $g(x) > b$ tengsizliklar mos ravishda $f(x) \leq z_0$ va $g(x) \leq 0$ tengsizliklarning kuchli buzilishini bildiradi.

Noaniq maqsadlar G va cheklanishlar C ning tegishlilik funksiyalari quyidagi ko'rinishda aniqlanadi:

$$\mu_G(x) = \begin{cases} 0, & \text{agar } f(x) \leq z_0 - a \text{ bo'lsa,} \\ \mu_1(x, a), & \text{agar } z_0 - a < f(x) < z_0 \text{ bo'lsa,} \\ 1, & \text{agar } f(x) \leq 0 \text{ bo'lsa,} \end{cases} \quad (6.1.15)$$

$$\mu_c(x) = \begin{cases} 0, & \text{agar } g(x) \geq b \text{ bo'lsa,} \\ \mu_2(x, a), & \text{agar } 0 < g(x) < b \text{ bo'lsa} \\ 1, & \text{agar } g(x) \leq 0 \text{ bo'lsa.} \end{cases} \quad (6.1.16)$$

bund
tavsif
mum
ko'ri
Yoki

nda $\mu_1, \mu_2: X \rightarrow [0;1]$ – mos tengsizliklarni bajarilish darajasini
siflovchi funksiyalar.

Quyilgan masalaga Bellman-Zoda yondashishni qo'llash
imkin [7], bunda chiziqli dasturlash (6.1.13) masalasini quyidagi
‘rinishda ifodalash mumkin:

$$c^T x \lesseqgtr z_0, Ax \lesseqgtr b, x \geq 0, \quad (6.1.17)$$

ki ixchamroq holda – $\beta x \lesseqgtr d$, bu yerda

$$\beta \equiv \begin{bmatrix} c^T \\ \dots \\ A \end{bmatrix}, \quad d \equiv \begin{bmatrix} z_0 \\ \dots \\ b \end{bmatrix} \quad (6.1.18)$$

(6.1
anic

Natijada noaniq chiziqli dasturlash masalasi olinadi, bunda
1.14) va $x \geq 0$ shartlar bajarilishi uchun x ni aniqlash zarur.

Bu holda maksimallashtiruvchi yechim quyidagi ifodadan
iqplanadi:

$$\max_{x \in Y} \mu_D(x) = \max_{x \geq 0} \min_{j=1}^{m+1} \mu_j(x), \quad (6.1.19)$$

bu yerda $\mu_j(x) - j$ - tengsizlikning tegishlilik funksiyasi:

$$(\beta x)_j \leq d_j \quad (j = 1, \dots, m+1). \quad (6.1.20)$$

quy) Bir qator taxminlarda [8, 9] maksimallashtiruvchi yechim
yidagi shartdan aniqlanadi:

$$\max_{x \geq 0} \min_{j=1} (1 - ((Bx)_j - d_j) / p_j). \quad (6.1.21)$$

ma
qiym
ma
yo

Tavsiflangan masala, quyidagi tarzdagi oddiy chiziqli dasturlash
salasiga keltiriladi. $\lambda(x)$ – tengsizliklar to‘plamida $\mu_j(x)$ minimal
matga ega bo‘lsin. U holda $\lambda \leq \mu_j$ ($j = 1, \dots, m+1$) uchun
maksimallashtiruvchi qiymatni aniqlash masalasi quyidagicha
ziladi:

Quyidagi max λ shartlarda

$$\lambda p_j + (Bx)_j \leq d_j + p_j \quad (j = 1, \dots, m+1), \quad (6.1.22)$$

x^c
m: Agar vektor (λ^0, x^0) – ushbu masalaning yechimi bo‘lsa, u holda
qabul qilingan tegishlilik funksiyasi uchun dastlabki noaniq
salaning maksimallashtiruvchi yechimi bo‘ladi.

Noaniqlik ko'rib chiqilgan model bilan tugamaydi, chunki yana model parametrlarini noaniq tavsiflovchi hisobga olish masalasi paydo bo'ladi [10]. Bunda parametrlarning tegishlilik funksiyasi bor bo'lgan noaniqlik parametrlari xarakteri to'g'risidagi sifatli axborot taxminiy akslantirish usuli sifatida ko'rib chiqiladi. Noaniq o'zgaruvchilardan foydalanish shu bilan asoslangan-ki, bunda texnologik jihozlar modellarining ko'plab parametrlarini baholarini olish avtomatlashtirishda qiyinchilik tug'diradi va ko'p sonli subyektiv yoki hisobga olinmaydigan omillarga bog'liq.

Noaniq tavsiflangan parametrli chiziqli dasturlash modeli, parametrlarning to'plam qiymatlarini va ushbu noaniq to'plamlarning tegishlilik funksiyalarini o'z ichiga oladi. Eng soddalashtirilgan variantda, noaniq o'zgaruvchilarni ("taxminan α " markaz α va kengligi w) ularning model qiymatlari bilan almashtirish mumkin, ular yordamida modelning parametrlari ko'rsatiladi.

Agar $\mu_A(\alpha)=1$ bo'lsa, noaniq o'zgaruvchi A ni *model qiymati* deb haqiqiy son α ga aytiladi. Noaniq masalani determinantlangan ekvivalentga o'tishi quyidagi ko'rinishni qabul qiladi:

$$Ax \leq b, x \geq 0, \max(\min)c^T x, \quad (6.1.23)$$

bu yerda c, A, b - mos ravishda noaniq o'zgaruvchilarni model qiymatlari.

Model qiymatlar tegishlilik funksiyalarining ko'rinishiga bog'liq va umumiy holda ekspert tomonidan aniqlanadi.

6.2 Noaniq chiziqli dasturlash

Noaniq parametrlari bo'lgan ko'p mezonli nochiziqli dasturlash (KMND) masalalarining umumiy holiga murojaat qilamiz. Ularni yechish uchun ko'rilyotgan yondashishda α -sathni *Pareto-optimallik* tushunchasidan foydalaniladi.

α -sathni Pareto – optimalligi.

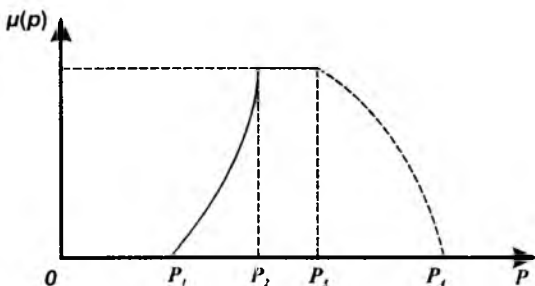
Umumiy holda KMND masalasini quyidagicha vektorli optimallashtirish: minimallashtirish ko'rinishida yozish mumkin

$$f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)], \quad (6.2.1)$$

quyidagi shartlarda

$$x \in X = \{x \in R^{(n)}, g_j(x) \leq 0, j = \overline{1, m}, \quad (6.2.2)$$

bu yerda x - yechim o'zgaruvchilarning n - o'lchamli vektori:
 $[f_1(x), f(x), \dots, f_k(x)]$ - k turlicha maqsad funksiyalari:
 $[g_1(x), \dots, g_m(x) \leq 0]$ - bo'lishi mumkin bo'lgan to'plam yechimlari
 (MBTY).



Rasm 6.2.1. Noaniq son uchun tegishlilik funksiyasini mumkin bo'lgan ko'rinishi.

Pareto-optimal yechimlar tushunchasi ko'p mezonli optimallashtirish masalalari uchun *fundamental tushuncha* hisoblanadi.

Eslatib o'tamiz, agar barcha $x \in X$ uchun $f(x) \leq f_i(x^*)$ bo'lsa va berilgan cheklanish faqat bitta i uchun qat'iy bajarilib, boshqa vektor bo'lmasa, vektor $x^* \in X$ MBTY masalalarining Pareto - optimal yechimi deyiladi, bunda $i = \overline{1, k}$.

Amaliyotda, ko'p hollarda, maqsad funksiyalarining parametrlari qiymatlari va cheklashlari bir qiymatli bo'lmagan hollar uchraydi, ular ekspertlarning real muhit to'g'risidagi bilimlari noto'liqligini aks ettiradi. U holda KMND ni, noaniq parametrlar bilan maqsad funksiyalarini va cheklanishlarni tavsiflashda ko'rib chiqish maqsadga muvofiq bo'ladi:

$$f(x, a) = [f(x, a_1), f(x, a_2), \dots, f_n(x, a_n)] \quad (6.2.3)$$

quyidagi shartlarda:

$$x \in X(b) = \{x \in E^n, g_j(x, b) \leq 0, j = \overline{1, m}\}$$

bu yerda $a_i = [a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ir}]$, $b_j = [b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{js}]$ - noaniq parametrlar vektori, ular mos ravishda maqsad funksiyasi $f_i(x, a_i)$ va cheklanishlar $g_j(x, b_j)$ ga kiritilgan.

Ta'rif 6.2.1 Noaniq son R - bu sonlar o'qidagi qavariq uzluksiz noaniq ostto'plam bo'lib, uni tegishlilik funksiyasi quyidagi tarzda aniqlanadi [11]:

- 1) $\mu(p): E_1 \longrightarrow [0;1]$.
- 2) $\mu(p) = 0$ barchasi uchun,
- 3) $\mu(p) = [p_1; p_2]$ oraliqda qat'iy o'suvchi funksiya;
- 4) $\mu(p) = 1$ barcha $p \in [p_2; p_1]$ uchun;
- 5) $\mu(p) = 0 - [p_3; p_4]$ oraliqda qat'iy kamayuvchi funksiya.
- 6) $\mu(p) = 0$ barcha $p \in (p_4; \infty)$ uchun.

Bu yerda: $p_1 - p_1 < p_2 < p_3 < p_4$ haqiqiy sonlar. Noaniq son uchun tegishlilik funksiyasining mumkin bo'lgan ko'rinishi 6.2.1 – rasmda keltirilgan. KMND (ko'p mezonli nochiqliq dasturlash).

Noaniq KMND da mos ravishda $\mu(a_{ir})$, $\mu(b_{js})$ lar tegishlilik funksiyali noaniq sonlar hisoblanadi. Belgilashni soddalashtirish uchun quyidagi vektor va matritsalarini aniqlaymiz:

$$a_i = [a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ir}]; \quad b_j = [b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{js}];$$

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_k]; \quad B = [b_1, b_2, \dots, b_m].$$

U holda α - sathli to'plamga a_{ir} va b_{js} noaniq sonlar kesimini kiritish mumkin.

Ta'rif 6.2.2 Agar barcha elementlar $i \in \alpha$ kattalikdan ortiq bo'lsa, $L_\alpha(a, b)$ noaniq sonlar $a_{ir} (i = \overline{1, k}, r = \overline{1, p_i})$ va $b_{js} (j = \overline{1, m}, s = \overline{1, q_j})$ ning α sathli to'plami deb ataladi, ya'ni

$$L_\alpha(a, b) = \left\{ \begin{array}{l} \mu(a_{ir}) \geq \alpha, i = \overline{1, k}, r = \overline{1, p_i} \\ \mu(b_{js}) \geq \alpha, j = \overline{1, m}, s = \overline{1, q_j} \end{array} \right\} \quad (6.2.4)$$

bunda: $\alpha_1 \leq \alpha_2$ bo'lganda $L_{\alpha_1}(a, b) \supseteq L_{\alpha_2}(a, b)$. Shunday qilib, ba'zi bir berilgan α ni qiymati – KMND noaniq masala quyidagicha ko'rinishdagi α - KMND masala ko'rinishida sharhlanishi mumkin.

$$x \in X(b) = \{x \in E^n | g_j(x, b_j) \leq 0, j = \overline{1, m}, (a, b) \in L_\alpha(a, b)\}. \quad (6.2.6)$$

sharti bo'yicha:

$$f(x, a) = [f_1(x, a_1), f_2(x, a_2), \dots, f_k(x, a_k)]. \quad (6.2.5)$$

minimallashtirilsin:

Shuni ta'kidlash kerakki, α - KMND masalasidagi (a, b) parametrlar konstanta sifatida emas o'zgaruvchilar sifatida qaraladi. Noaniq sonlar α - sathi to'plamidan foydalanib, noaniq α – KMND masalalari uchun Pareto – optimal yechimlar tushunchasini kiritamiz[7].

Ta'rif 6.2.3 Vektor $x \in X(b)$ ni (6.2.5), (6.2.6) larni masalani α Pareto – optimal yechimi deb qaraladi, qachonki

$$f_i(x, a_i) \leq f_i(x^*, a_i^*), i = \overline{1, k}. \quad (6.2.7)$$

bo'lsa, boshqa $x \in X(b), (a, b) \in L_f(a, b)$ mavjud bo'lmasa, va eng kamida bitta i uchun qat'iy tengsizlik bajarilsa, bu yerda (a, b) parametrlarning mos keladigan kattaliklarini α sathni optimal parametrlari deyiladi.

α sath to'plami xossalaridan quyidagi isbot kelib chiqadi.

x^1, x^2 – lar α va α_2 sathlarning mos ravishdagi Pareto – optimal yechimlari bo'lsin, $(a^1, b^1), (a^2, b^2)$ – KMND masalasidagi α_1 va α_2 sathlarning mos keladigan parametrlarini. Agar $\alpha_1 \geq \alpha_2$ bo'lsa, u holda x^2 va (a^2, b^2) lar istalgan x^1 va (a^1, b^1) uchun $f(x, a^1) \geq f(x, a^2)$ lar mavjud bo'ladi. Ushbu ta'rifdan ko'rinib turibdiki, odatda α – Pareto – optimal yechimlar cheksiz to'plam nuqtalaridan tashkil topgan va QQQSH o'zini kompromissini yoki α – Pareto-optimal yechimlar orasidan uni subyektiv mulohazalariga asoslangan qoniqarli yechimini tanlab olish kerak.

Qoniqarli yechimga “nomzod” ni topish uchun (u ham Pareto – optimal hisoblanadi) to'plam α sath uchun α ni darajasini, hamda maqsad funksiyasiga erishishning “etalon sathlar” deb ataladigan sathlarini aniqlash so'raladi.

Ko'rsatilgan QQQSH uchun α ni darajasi va α – Pareto – optimal yechimga mos keladigan etalon sathlar $\bar{f}_i$, y QQQSH ni talablariga javob beradi (yoki etalon sathlarga erishish mumkin bo'lgan, shartlarda ulardan yaxshi), quyidagi minimaks masalasini yechish yo'li bilan olinadi $f(x, a^1) \geq f(x, a^2)$ ayirma QQQSH uchun bir xil ahamiyatga ega deb taxmin qilinadi.

$$\min_{x \in X(b)} \max_i [f_i(x, a_i) - \bar{f}_i]. \quad (6.2.8)$$

yoki ekvivalent tarzda minimallashtirilsin:
quyidagi shartlarda

$$[f_i(x, a_i) - \bar{f}_i] \leq \vartheta, i = \overline{1, k}, \quad (6.2.9)$$

$$(a, b) \in L_\alpha(a, b), \quad x \in X(b) \quad (6.2.10)$$

Shuni ta'kidlash kerakki, minimaks masala α – Pareto-optimal yechimlarni generatsiyalash vositasi sifatida foydalaniladi, agar

QQQSH joriy α –Pareto-optimal yechim bilan qoniqmasa, u holda bu yechimni uni etalon sathlarini to'g'rilash yo'li bilan yaxshilash mumkin.

Minimaks masalasini optimal yechimlari va KMND masalasini Pareto – optimal yechimlari orasidagi bog'lanishlar quyidagi teoremlar bilan tavsiflanadi [7, 8, 10]:

Teorema 6.2.1. *Agar $(x^*, \vartheta^*, a^*, b^*)$ lar ba'zi bir $\bar{f} = [\bar{f}_1, \bar{f}_2, \dots, \bar{f}_k]$ uchun minimaks masalaning yagona optimal yechimi bo'lsa, u holda $x^* - \alpha$ (KMND) masalasi uchun Pareto-optimal yechimi bo'ladi.*

Isbot. x^* KMND masalasini α – Pareto-optimal yechimi emas deb faraz qilamiz. U holda $x \in X(b)$ mavjud (shuning bilan bir qatorda) $(a, b) \in L_a(a, b)$, –bundan $f_i(x, a_i) \leq f_i(x^*, a_i^*)$.

Bundan $\max_i [f_i(x, a_i) - \bar{f}_i] \leq \max_i [f_i(x, a_i^*) - \bar{f}_i]$ kelib chiqadi, bu esa $(x^*, \vartheta^*, a^*, b^*)$ minimaks masalasini yagona optimal yechimi degan taxminga qarama-qarshi. Bunda $x^* - \alpha$ – KMND masalasining Pareto-optimal yechimi.

Teorema 6.2.2. *Agar KMND masalasidagi α –sathda i (a^*, b^*) ning optimal parametrlarning Pareto-optimal yechimi $x^* - \alpha$ bo'lsa, u holda shunday vektor $\bar{f} = [\bar{f}_1, \bar{f}_2, \dots, \bar{f}_k]$ – mavjudligi, bunda $(x^*, \vartheta^*, a^*, b^*)$ – minimaks masalaning optimal yechimi bo'ladi.*

Isbot. $f_1(x^*, a_1^*) - \bar{f}_1 = \dots = f_k(x, a_k^*) - \bar{f}_k = \vartheta^*$ shartni qanoatlantiradigan istalgan $\bar{f}$ uchun minimaks masalasini $(x^*, \vartheta^*, a^*, b^*)$ optimal yechimi emas deb faraz qilamiz.

U holda $\tilde{x} \in X(b)$ va $(\tilde{a}, \tilde{b}) \in L_a(a, b)$ lar mavjud bo'lib, bunda

$$\max_i [f_i(\tilde{x}, \tilde{a}_i) - \bar{f}_i] < \max_i [f_i(x^*, a_i^*) - \bar{f}_i] = \vartheta^*.$$

Bundan $\max_{1 \leq i \leq k} \{f_i(\tilde{x}, \tilde{a}_i) - f_i(x^*, a_i^*)\} < 0$. Agar istalgan

$f_i(\tilde{x}, \tilde{a}_i) - f_i(x^*, a_i^*)$ ayirma musbat yoki 0 ga teng bo'lsa, u holda bu tengsizlik bajarilmaydi. Bundan $f_i(\tilde{x}, \tilde{a}_i) - f_i(x^*, a_i^*) < 0$ shart bajarilishi kerak, bu esa farazimizga teskari, ya'ni $x^* - \alpha$ - Pareto-optimal yechim va $(a^*, b^*) - \alpha$ –sathni optimal parametrlari.

Shunday qilib teorema isbotlandi.

Agar minimaks masalaning (x^*, g^*, a^*, b^*) optimal yechimi bir qiymatli bo'lsa, u holda quyidagi masalani yechib, x^* - uchun α – Pareto-optimallikni tekshirib ko'rish mumkin:
topish kerak

$$\max \sum_{i=1}^k \varepsilon_i, \quad (6.2.11)$$

quyidagi shartlarda

$$\begin{aligned} f_i(x, a_i) + \varepsilon_i &= f(x^*, a_i^*), \varepsilon_i \geq 0, i = \overline{1, k} \\ x &\in X(b), (a, b) \in L_k(a, b). \end{aligned} \quad (6.2.12)$$

$(\bar{x}, \bar{a}, \bar{b})$ – lar (6.2.11), (6.2.12) masalasining optimal yechimi bo'lsin. Agar $\varepsilon_i = 0$, bo'lsa, $x^* - \alpha$ – Pareto-optimal yechim bo'ladi. Agar bitta $\varepsilon_i \neq 0$ bo'lsa, u holda $x^* - \alpha$ – Pareto-optimal ekanligini ko'rsatish mumkin.

Kompromiss sathlari

Mos keladigan minimaks masalasini yechish yo'li bilan etalon sathlarning berilgan kattaliklari uchun α – Pareto-optimal yechimni aniqlab, QQSH joriy α – Pareto-optimal yechim bilan yoki qoniqishi mumkin, yoki uni to'g'rilash kerak. QQSH ga uni afzallik darajasini ifodalashda yordam berish uchun, joriy maqsad funksiyasi f_i va istalgan boshqa f_i orasidagi, hamda α ni darajasi va f_i ni qiymatlari orasidagi kompromiss to'g'risidagi axborotdan foydalaniladi.

Kompromiss to'g'risidagi bunday axborotni olish yengil bo'lishi mumkin, chunki u Lagranjni minimaks masalasini qat'iy musbat ko'paytuvchilari bilan yaqindan bog'langan.

Kompromiss to'g'risidagi (o'rin almashish) bu axborotni olish uchun avval (6.2.7)-(6.2.10) minimaks masalasi uchun Lagranj funksiyasini quyidagi ko'rinishda aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} L(x, g, a, b, \lambda_f, \lambda_g, \lambda_h, \bar{f}, \alpha) &= g + \sum_i \lambda_f^i [b_i(x, a) - \bar{f}_i - g] + \\ &+ \sum_i \lambda_{g_i} + \sum_{i=1}^k \sum_{r=1}^p \lambda_{g_r}^a (\alpha - \mu(a_{ir})) + \sum_i \sum_{s=1}^p \lambda_{g_s}^b (\alpha - \mu(b_{is})) \end{aligned}$$

Keyinchalik minimaks masalasini (6.2.7)-(6.2.10) yechishda qulay bo'lishi uchun uni komponentlarini (x, g, a, b) deb belgilaymiz. Minimaks masala bitta yagona lokal-optimal yechimga ega deb faraz qilamiz, u quyidagi farazni qoniqtiradi deb faraz qilamiz [12]:

1-yo'l quyish. Y^* - minimaks masalasini cheklanishlarini muntazam nuqtasi.

2-yo'l quyish. Y^* nuqtada ikkinchi tartibli yetarli shartlar qanoatlantiriladi.

3-yo'l quyish. Y^* nuqtada maxsus cheklanishlar yo'q.

U holda quyidagi teoremani mavjudligi to'g'ri [13].

Teorema 6.2.3. (1)-(3) farazlarni qoniqtiradigan, (6.2.8) – (6.2.10) minimaks masalasini $Y^* = (x^*, g^*, a^*, b^*)$ yagona yechimi bo'lsin.

$\Lambda^* = [\lambda_1^*, \lambda_a^*, \lambda_b^*, \lambda_g^*]$ (6.2.9), (6.2.10) mos keladigan cheklashlarda Lagranjni ko'paytuvchilarini bildirsin. U holda ba'zi bir $N(\alpha)$ atrofida aniqlangan, uzluksiz differensiallanuvchi vektor-funksiyalar $Y(\cdot)$ va $\Lambda(\cdot)$ mavjud bo'ladi, bunda $Y(\alpha^*) = Y^*$, $\Lambda(\alpha^*) = \Lambda^*$, bu yerda $Y(\alpha)$ – istalgan $\alpha \in N(\alpha^*)$ uchun (6.2.8) – (6.2.10) minimaks masalaning yagona optimal yechimi bo'ladi, u (1)-(3) va $\Lambda(\alpha)$ – Lagranj vektorining ko'paytuvchilari qoniqtiradi, (6.2.9), (6.2.10) cheklashlarni qoniqtiradi.

6.2.3-teorema

$$\min \left\{ g | f_i(x, a) - \bar{f}_i \leq g, i = \overline{1, k}, \right. \\ \left. (a, b) \in L_\alpha(a, b), x \in X(b) \right\}, \quad (6.2.13)$$

kattalikni istalgan $\alpha \in N(\alpha^*)$ uchun minimaks masalasida (6.2.8) – (6.2.10) maqsad funksiyasini optimal qiymati sifatida qaralishi mumkin.

Shuning uchun 6.2.3-teorema ham yuqorida ko'rsatilgan cheklanishlarda bajariladi.

Teorema 6.2.4. Agar 6.2.3 - teoremadagi barcha farazlar bajarilsa, u holda ba'zi bir $N(\alpha)$ atrofida quyidagi nisbat bajariladi

$$\frac{\partial g}{\partial \alpha} = \frac{\partial L}{\partial \alpha} = \sum_{i=1}^k \sum_{r=1}^p \lambda_{ir}^a + \sum_{j=1}^m \sum_{s=1}^q \lambda_{js}^b \quad (6.2.14)$$

(6.2.9) minimaks masalasining barcha cheklashlari faol bo'lsa, ya'ni aynan:

$g(\alpha^*) = f_i(x(\alpha^*), a_i(\alpha^*)) - \bar{f}_i$ barcha i -lar uchun, u holda quyidagi teorema ham o'rinli bo'ladi [7, 8]:

Teorema 6.2.5. 6.2.3 teoremani barcha farazlari bajarilsin. (6.2.9)-minimaks masalaning barcha cheklashlari faol deb faraz qilamiz. U holda quyidagi nisbat bajariladi

$$\left. \frac{\partial f_i(x, a_i)}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=\alpha^*} = \sum_{i=1}^k \sum_{r=1}^p \lambda_{ir}^{*a} + \sum_{j=1}^q \sum_{s=1}^q \lambda_{js}^{*b}. \quad (6.2.15)$$

barcha $i = 2, 3, \dots, k$, lar uchun $f_i(x)$ va $f_i(x)$ orasida o'rin almashinish sathini ko'rib chiqib, quyidagi teoremani haqqoniyligini isbotlash mumkin.

Teorema 6.2.6. 6.2.3-teoremani barcha farazlari bajarilsin. Yana (6.2.9)-cheklashlar faol deb faraz qilamiz. U holda quyidagi nisbat haqqoniy bo'ladi:

$$\left. \frac{\partial f_i(x, a_i)}{\partial f_i(x, a_i)} \right|_{Y=Y^*} = -\frac{\lambda_i^f}{\lambda_i^f}, i = 2, 3, \dots, k. \quad (6.2.16)$$

(6.2.15), (6.2.16)-ifodalarni o'rin olish to'g'risidagi axborotni olish uchun (6.2.9)-minimaks masalaning barcha cheklashlari faol bo'lishi kerak. Shuning uchun, agar nafaol cheklashlar bor bo'lsa, u holda nafaol cheklash uchun f_i ni $f_i(x^*, a^*)$ -nafaol cheklashlarga almashtirish zarur va Lagranjni ko'paytuvchilarini topish uchun mos keladigan minimaksli masalani yechish kerak.

Qidiruvning interfaol algoritmini KMND masalasini Kareto-optimal yechimlari

QQQSH ni qanoatlantiradigan, α -Pareto-optimal to'plamdan yechimlarni qidirish uchun interfaol algoritmi tavsiflaymiz.

1-qadam. $\alpha = 0$ va $\alpha = 1$ uchun berilgan cheklanishlarda har bir maqsad funksiyasi $f_i(x)$ uchun individual minimum va maksimumlar hisoblansin.

2-qadam. $\alpha(0 < \alpha < 1)$ da boshlang'ich qiymatni va boshlang'ich etalon sathlarni $\bar{f}_i, i = 1, 2, \dots, k$ QQQSH dan tanlashni so'rash.

3-qadam. Tanlab olingan α , $\{f_i\}$ qiymatlar uchun minimaks masalasini yechish va α -Pareto-optimallikka tekshirish testini bajarish.

4-qadam. QQQSH ga maqsad funksiyasi va α ni darajasi orasidagi o'rin almashish (almashish) sathini mos keladigan α - Pareto-optimal yechimini habar qilish. Agar QQQSH maqsad

funksiyasi joriy qiymati va α orasidagi o'rin olish (kattaliklari) sathlari bilan birgalikda ko'rib chiqib, 3-qadamga qaytish.

Quyidagilarni ta'kidlash kerak:

- 1) Istalgan bitta maqsad funksiyasini yaxshilash eng kamida bitta boshqa ba'zi bir cheklangan α uchun uni yomonlashishi hisobiga erishilishi mumkin;
- 2) α ni sathini oshirish etalon sathi $\bar{f}_i$ larni ba'zi bir cheklangan qiymatlarida maqsad funksiyasini qiymatlarini yomonlashishiga(kamayishiga) olib keladi.

KMND masalalarini yechish algoritmini eksperimental tadqiq qilish

KMND masalasini yechishni interfaol algoritmini eksperimental tadqiq qilish uchun quyidagi masala tanlab olingan:

$$\min f_1(x, \bar{a}_1) = (x_1 - \bar{a}_{11})^2 + (x_2 - \bar{a}_{12})^2 + 5(x_3 - \bar{a}_{13})^2 \quad (6.2.17)$$

$$\min f_2(x, \bar{a}_2) = (x_1 - 10)^2 \cdot \bar{a}_{21} + (x_2 + 5)^2 \cdot \bar{a}_{22} + 2 \cdot (x_3 - \bar{a}_{23})^2 \quad (6.2.18)$$

quyidagi cheklashlarda:

$$\bar{b}_1 x_1^2 + \bar{b}_2 x_2^2 + \bar{b}_3 x_3^2 \leq 100 \quad (6.2.19)$$

bu yerda $\bar{a}_{ij}, \bar{b}_i, i = \overline{1,3}$ p_1, p_2, p_3 , θ p_4 parametrlari bilan uchburchak ko'rinishidagi tegishlilik funksiya (TF) lari bilan, ularning qiymatlari 6.2.1 jadvalda keltirilgan.

$$\min f_1(x, \bar{a}_1) = (x_1 - \bar{a}_{11})^2 + (x_2 - \bar{a}_{12})^2 + 5(x_3 - \bar{a}_{13})^2$$

(6.2.8) - (6.2.10) ko'inishidagi minimaks masalasini yechimini topish uchun quyidagi to'siq yuzali usul (TYUM) dan foydalaniladi:

$$p(x, r_k) = r_k \sum_{i=1}^m \frac{1}{g_i(x_k, b_i)} \quad (6.2.20)$$

bu yerda k -joriy iteratsiyaning nomeri $\beta = 0,1, r_0 = 5$

Algoritmni to'xtatish sharti:

$$r_k \sum_{i=1}^m \frac{1}{g_i(x_k, b_i)} \leq \varepsilon \quad (6.2.21)$$

bu yerda $\varepsilon = 10^{-4}$; $x_k - k$ - iteratsiyadan keyingi optimal yechim.

To'siqli funksiyani optimallashtirishda o'zgaruvchan qadamli gradiyent usulidan foydalaniladi. Eksperimentlar α ning turli sathlarida o'tkazildi.

6.2.1- Jadval

KMND masalasi parametrlari

Noaniq parametrlar:	p_1	$p_2 = p_3$	p_4
a_{11}	3,80	4,0	4,30
a_{12}	48,50	50,0	52,00
a_{13}	1,85	2,0	2,20
a_{21}	18,20	20,0	22,50
a_{22}	2,90	3,0	3,15
a_{23}	4,70	5,0	5,35
b_1	0,90	1,0	1,10
b_2	0,80	1,0	1,20
b_3	0,85	1,1	1,15

Etalon sathlar sifatida QQQSH da berilgan f_1 va f_2 larning qiymatlaridan foydalanildi.

6.2.2 – jadvalda α ning variatsiyalari va etalon sathlarning qiymatlariga $f_1 = 2000$, $f_2 = 2500$ bog'liq holdagi eksperimental tadqiqotlarning natijalari 6.2.2- jadvalda keltirilgan.

6.2.2-jadval

KMND masalasini tadqiq qilish natijalari

α	F_1	F_2	$v = x_0$	x_1	x_2	x_2	N_{IT}
0.50	1635.4	2133.9	-364.2	1.542	9.807	1.136	177
0.60	1657	2156	-342.0	1.507	9.714	1.1402	113
0.80	1702	2200	-297.9	1.443	9.5339	1.1454	120

Keyingi eksperimentlarda $[b_i^*, \bar{b}_i^*] = L_{\alpha}(b_i)$ intervalidan noaniq parametrlar b_i ni tanlashni $\alpha = 0.5$ da kriterilarning erishilgan qiymatlariga ta'siri tadqiq qilingan va ruxsat etilgan yechimlar sohasi (REYS) da $b_i = b_i^*$ da maksimal (REYS) ni, $b_i^*, \bar{b}_i^*$ da uni minimal (REYS) ni olamiz.

Mos keladigan natijalar 6.2.3 – jadvalda keltirilgan.

REYS ga obyektning noaniq parametrlari ta'siri

Tajriba turi	F_1	F_2	v
REYS ni oshishi	1589	2089	-409.8
REYS ni kamayishi	1748	2248	-251.5

Keltirilgan eksperimental natijalarni tahlil qilib, quyidagi xulosalarga kelamiz.

α sathini oshishi F_1 va F_2 mezonlarning erishilgan qiymatlarini yomonlashishiga olib keladi, chunki qidirilayotgan $\min_{x \in X} f(x, \alpha)$ ni $L_\alpha(a)$ intervali qisqaradi.

REYS oshishi mezonlar qiymatlarini yaxshilanishiga, kamayishi esa – aksincha teskari samara beradi. $\bar{f}_1$ va $\bar{f}_2$, etalon sathlarni berilgan qiymatlarini kamaytirib, optimallashtirish natijasida mos keladigan mezonlarning qiymatini yaxshilashga erishish mumkin.

6.3.Noaniq nochiziqli va dinamik dasturlash

6.3.1. Noaniq cheklanishni noaniq nochiziqli masaladan topish

(6.3.2) shart bo'yicha quyidagini topish talab qilinsin:

$$y = f(x) \rightarrow \max \quad (6.3.1)$$

$$\varphi_i(x) \leq B_i, \quad i = \overline{1, m}; \quad x \in X \quad (6.3.2)$$

bu yerda $\leq$ ishora noaniq nisbatni bildiradi.

Qarorlarni qabul qilish masalasi uchun (6.3.1) – (6.3.2) yuqoridagi bo'limlarda taklif qilingan yondashish qo'llanilishi mumkin.

Faraz qilamiz, $y_0 - \bar{\sigma}_y f(x)$ maksad funksiyasining qiymati, unga erishish maqsadni bajarilishi uchun yetarli deb hisoblanadi;

d_0 esa l_1 – shunday chegaraviy sathlarni, ular uchun ushbu tengsizlik tug'ri:

$f(x) \leq y_0 - d$ va $\varphi_i(x) \geq B_i + l_i$. Bu quyidagi tengsizlikni kuchli ravishda buzilishini bildiradi.

$$f(x) \geq y_0, \varphi(x) \leq B.$$

Noaniq maqsad va noaniq cheklashlar tushunchasini kiritamiz

$$\mu_f(x) = \begin{cases} 0 & f(x) \leq y_0 - d, \\ \mu(x, d) & y_0 - d < f(x) < y_0, \\ 1 & f(x) \geq y_0. \end{cases}$$

$$\mu_{\varphi_i}(x) = \begin{cases} 0 & \varphi(x) = B_i + l_i, \\ \mu(x, l) & B_i < \varphi_i(x) < B_i + l_i, \\ 1 & \varphi_i(x) \leq B_i. \end{cases}$$

bu yerda $\mu(x, d)$, $\mu(x, l_i)$ $i = 1, m$, $X \rightarrow [0, 1]$ da aniqlangan noaniq funksiyalar, ular qaror qabul qiluvchi shaxsni nuqtai nazaridan mos keladigan tengsizliklarni bajarilish darajasini tavsiflaydi.

Alohida holda quyidagi bo'lakli-chiziqli tegishlilik funksiyasidan foydalanish mumkin

$$\mu_{\varphi_i}(x) = \begin{cases} 0 & \varphi(x) = B_i + l_i, \\ \mu(x, l) & B_i < \varphi_i(x) < B_i + l_i, \\ 1 & \varphi_i(x) \leq B_i. \end{cases}$$

$$\mu_{\varphi_i}(x) = \begin{cases} 0 & \varphi_i \leq 0, \\ 1 - [\varphi_i(x) - B] / l_i & 0 < \varphi_i(x) < l_i, \\ 1 & \varphi_i(x) \leq l_i. \end{cases}$$

Natijada, noaniq cheklashlarda aniqlangan, noaniq maqsadga erishish shaklida boshlang'ich masala ifodalanadi, va uni yechish uchun Bellman va Zoda yondashuvi qo'llanilishi mumkin.

Noaniq yechimni tegishlilik funksiyasi:

$$\mu_0(x) = \min \{ \mu_f(x), \mu_{\varphi_1}, \dots, \mu_{\varphi_m}(x) \},$$

yechimni maksimallashtiruvchi esa:

$$x^* = \arg \max_x \mu_0(x).$$

Noaniq cheklashlarda optimallashtirish

Noaniq cheklashlarda optimallashtirish masalasi quyidagi tarzda yoziladi:

(6.3/4) shartda quyidagi topilsin:

$$\max f(x). \quad (6.3.3)$$

$$\bar{\varphi}(x) \in \bar{B}, \quad i = \overline{1, m}, \quad x \in X, \quad (6.3.4)$$

bu yerda $x = (x_1, \dots, x_n) \in X \subseteq R^n, \quad f: R^n \rightarrow R$

Ushbu masalani yechish usuli noaniq to'plam α ni noaniq to'plamlar sathlari bilan almashtirishga tayanadi. U holda (6.3.3) - (6.3.4) masalalarni yechish uchun:

$$y = f(x) \rightarrow \max \quad \text{yechish yetarli} \quad (6.3.5)$$

quyidagi shartlarda

$$\varphi_i^\alpha(x) \leq B_i^\alpha, \quad x \in X. \quad (6.3.6)$$

Bu masala α - sathdagi nochiziqli matematik dasturlashni klassik masalasi bo'lib hisoblanadi.

Shunday qilib, boshlang'ich (6.3.5) - (6.3.6) masalasi optimallashtirishning klassik to'plam masalasini yechishga keltiriladi.

x_α (6.3.5) - (6.3.6) - masalaning yechimi hisoblanadi, deb faraz qilamiz. U holda (6.3.5) - (6.3.6) masalaning yechimi quyidagicha aniqlanadi:

$$x^*(x_\alpha) = \sup \{ \alpha / f(x_\alpha) / = \max f(x) \}.$$

Noaniq maqsadli optimallashtirish

Noaniq maqsadli optimallashtirish quyidagi tarzda ifodalanadi:

$$\bar{y} = \bar{f}(x) \rightarrow \max \quad \text{topilsin} \quad (6.3.7)$$

quyidagi shartda

$$\varphi(x) = 0; \quad x \in X. \quad (6.3.8)$$

Maqsad funksiyasi to'plam elementi bo'lib hisoblanishi ma'lum

$$F(R^n) = \{ f(x) / f(x): R^n \rightarrow R \}.$$

Optimallashtirish masalasida noaniq maqsad, tegishlilik funksiyali $F(R^n)$ noaniq to'plamdagi tegishlilik funksiyasi bo'ladi:

$$\mu_{\bar{F}}(f): F(R^n) \rightarrow [0, 1].$$

(6.3.7) - (6.3.8) - masalani yechish uchun noaniq maqsad funksiyasini α - sathni to'plamidan foydalaniladi. U holda har bir noaniq to'plam ruxsat berilgan sohadagi elementlar orasidagi afzalliklarning noaniq nisbati bo'lib hisoblanadi va noaniq nochiziqli dasturlash masalasini yechish ko'p mezonli qaror qabul qilish masalasini yechishga keltiriladi (mezonlar soni sathlar soni α ga teng,

$\alpha \in [0,1]$). Bu $\varphi(x)=0; x \in X$ shart bo'yicha (6.3.7) – (6.3.8) masalani yechish uchun $f^{\alpha}(x) \rightarrow \max$ masalani yechish yetarli ekanini bildiradi, bu yerda $\alpha \in [0,1], \mu_f \sim (f) \geq 1-\alpha$

Ko'rilayotgan masala optimallashtirishning ko'p mezonli masalasi hisoblanadi.

Noaniq maqsadli va noaniq cheklanishlarda optimallashtirish

$\mu_f \sim \in F[F(R_n)]$ noaniq maqsad , $\mu_f \sim \in F(R_n)$ – noaniq cheklanishlar deb faraz qilamiz.

U holda optimallashtirish masalasi quyidagicha bo'ladi:
topilsin

$$\bar{y} = \bar{f}(x) \rightarrow \max. \quad (6.3.9)$$

quyidagi shartlarda

$$\bar{\varphi}(x) \in \bar{B}; \quad x \in X. \quad (6.3.10)$$

(6.3.9) – (6.3.10) yechish uchun yuqorida ko'rsatilgan ikkita holni, ya'ni noaniq maqsadli optimallashtirish va noaniq cheklanishlar masalasini birga ko'ramiz, hamda noaniq maqsadli va noaniq cheklanishlari bo'lgan masalani ko'rib chiqamiz.

Quyidagi modelni olamiz:

$$\begin{aligned} f^{\alpha_i}(x) &\rightarrow \max, \quad i = \overline{1, k}, \\ \varphi^{\alpha_i}(x) &\leq B^{\alpha_i}, \\ x &\in X, \end{aligned}$$

bu yerda, $\alpha_i \in [0,1]$

$$\bar{f} = \sum_{i=1}^k \mu_i / f^{\alpha_i}, \quad \varphi = \sum_{i=1}^k \mu_i / \varphi^{\alpha_i}, \quad \mu_i \geq 1-\alpha.$$

Noaniq dinamik dasturlash usuli

Boshqariladigan obyekt holat tenglamasi bilan tavsiflanadi, deb faraz qilamiz [4]:

$$x_{t+1} = f(x_t, u_t) \quad t = 0, 1, \dots, N. \quad (6.3.11)$$

Boshqarish uchun har bir t qadamda noaniq cheklashlar mavjud:

$$u_t \in U_t = \{(\mu_{U_t}(u_t)/u_t)\}.$$

Boshqarishni shunday ketma-ketligini topish talab qilinadiki, bunda u noaniq maqsadga olib kelsin:

$$G^N = \{\mu_{G^N}(x_N) / x_N\}.$$

Ushbu masalani yechilishi quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$D = U_0 \cap U_1 \cap \dots \cap U_{N-1} \cap G^N. \quad (6.3.12)$$

yoki

$$\mu_D(u_0^*, \dots, u_{N-1}^*) = \max_{u_0, \dots, u_{N-1}} \min \{\mu_{u_0}(u_0), \dots, \mu_{u_{N-1}}(u_{N-1}), \mu_{G^N}(x_N)\}. \quad (6.3.13)$$

Bu masalani yechish uchun dinamik dasturlash usulini qo'llash Bellman va Zoda [9] lar tamonidan taklif qilingan.

(6.3.13) – tenglamani (6.3.11) – tenglamani hisobga olib, quyidagi shaklda yozish mumkin:

$$\begin{aligned} \mu_D(u_0^*, \dots, u_{N-1}^*) &= \max_{u_0, \dots, u_{N-1}} \min \{\mu_{u_0}(u_0), \dots, \mu_{u_{N-1}}(u_{N-1}), \mu_{G^N}(x_N)\}. \\ \mu_D(u_0^*, \dots, u_{N-1}^*) &= \max_{u_0, \dots, u_{N-1}} \min \{\mu_{u_0}(u_0), \dots, \mu_{u_{N-1}}(u_{N-1}), \mu_{G^N}(x_N)\} = \\ &= \max_{u_0, \dots, u_{N-3}} \min \{\mu_{u_0}(u_0), \dots, \mu_{u_{N-3}}(u_{N-3}), \dots, \max_{u_{N-2}} \min \{\mu_{u_{N-2}}(u_{N-2}), \\ &\max_{u_{N-1}} \min \{\mu_{u_{N-1}}(u_{N-1}), \mu_{G^N}(f(x_{N-1}, u_{N-1}))\} \dots\}. \end{aligned} \quad (6.3.14)$$

(6.3.14) – ni yechish uchun rekkurent tenglamalar quyidagicha keltirib chiqariladi.

Agar γ – o'zgarmas, g – esa u_{N-1} istalgan funksiya, u holda quyidagi ayniyatni olamiz:

$$\max_{u_{N-1}} (\gamma \wedge g(u_{N-1})) = \gamma \wedge \max_{u_{N-1}} g(u_{N-1}).$$

(6.3.14) da buni hisobga olib, hosil qilamiz:

$$\mu_D(u_0^*, \dots, u_{N-1}^*) = \max_{u_0, \dots, u_{N-2}} \min \{\mu_{u_0}(u_0), \dots, \mu_{u_{N-2}}(u_{N-2}), \mu_{G^{N-1}}(x_{N-1})\},$$

bu yerda

$$\mu_{G^{N-1}}(x_{N-1}) = \max_{u_{N-1}} \min \{\mu_{u_{N-1}}(u_{N-1}), \mu_{G^N}(f(x_{N-1}, u_{N-1}))\},$$

$\mu_{G^{N-1}}(x_{N-1})$ ($N-1$) vaqtda berilgan vaqt $t = N$ da maqsad G^N dan olingan noaniq maqsadni tegishlilik funksiyasi.

Bu teskari iteratsiyani qaytarib (klassik tizimlar uchun dinamik dasturlash usuliga o'xshash), quyidagi rekkurent tenglamalarni hosil qilamiz (dinamik dasturlashni rekkurent tenglamalarni noaniq analogi):

$$\begin{cases} \mu_{G^{N-v-1}}(x_{N-v}) = \max_{u_{N-v}} \min \{ \mu_{u_{N-v}}(u_{N-v}), \mu_{G^{N-v+1}}(f(x_{N-v+1})) \}, \\ x_{N-v+1} = f(x_{N-v}, u_{N-v}), \quad v = 1, \dots, N \end{cases} \quad (6.3.15)$$

u masalaning yechimini beradi.

Shuni ta'kidlash kerak-ki, (6.3.15) tenglamalar tizimini yechish "teskari yo'nalishda" amalga oshiriladi, u optimallikning asosiy prinsipining ketma-ketligi bo'ladi [11].

Misolga murojaat qilamiz. Misol. Faraz qilamiz, terminal rostlagichini sintez qilishning quyidagi masalasi berilgan:

$$J = X_T \rightarrow \max; \quad (6.3.16)$$

$$x_{t+1} = \frac{1}{2} x_t (5 - u_t), \quad (6.3.17)$$

$$u_t \in U_t, \quad (6.3.18)$$

$$x_0 = 20, \quad T = 4,$$

bu yerda $x_t \in I = \{20, 30, 40, 60, 80\}$, $u_t \in W = \{3, 4, 6, 7\}$, $t \in \{0, 1, \dots, 5\}$

$U_t = (U) = \{4 \text{ dan kam}, 6 \text{ atrofida}, 6 \text{ atrofida}, 7 \text{ dan yuqori}\} \pm$,

(6.3.17) – tenglamani quyidagi holatlarga o'tish jadvaliga o'zgartiramiz:

x_{t+1}		x_t				
		20	30	40	60	80
u_t	3	40	60	80		
	4			20	30	40
	6			20	30	40
	7	40	60	80		

Optimal boshqarish masalasini ko'p bosqichli qaror qabul qilish masalasiga o'zgartirish uchun, (6.3.16) mezonni istalgan maksimal qiymatini aniqlaymiz, bu qiymat quyidagicha:

$$G^T = X_T^{\max} = 0.4/20 + 0.6/30 + 0.7/40 + 1.0/60 + 0.8/80.$$

Noaniq cheklashlar

$$U_0 = 1.0/3 + 0.7/4 + 0.4/6 + 1.0/7,$$

$$U_1 = 0.9/3 + 1.0/4 + 0.6/6 + 0.5/7,$$

$$U_2 = 0.5/3 + 0.6/4 + 0.8/6 + 0.6/7,$$

$$U_3 = 0.4/3 + 0.7/4 + 1.0/6 + 0.8/7. \quad (6.3.19)$$

(6.3.19) – noaniq cheklashlarni hisobga olganda, G^T ($k = \overline{4, 6}$) noaniq maqsadlarga erishish masalasi cheklangan boshlang'ich holatli terminal rostlagichning masalasi bo'ladi. Bellman-Zoda yondashishiga

muvofig, uni yechimi noaniq maqsadlarni va cheklashlarni agregatlash sifatida aniqlanadi:

$$D = U_0 \cap U_1 \cap U_2 \cap U_3 \cap G^4.$$

(6.3.19) – masala dinamik dasturlash usuli bilan yechiladi. Yechim teskari yoʻnalishda $t = 0$ dan $t = 4$ qadamida bajariladi. Yechimni oxirgi qadamdan boshlaymiz.

Qadam $t = 4$:

$$G^3 = U_3 \cap G^4,$$

+

$$G^3 = 0.4/20 + 0.6/30 + 0.7/40 + 0.8/60 + 1.0/80;$$

$$P_3(20) = 3 \text{ yoki } 7,$$

$$P_3(30) = 7,$$

$$P_3(40) = 4 \text{ yoki } 6,$$

$$P_3(60) = 6,$$

$$P_3(80) = 6.$$

Qadam $t = 3$:

$$G^2 = 0.4/20 + 0.6/30 + 0.7/40 + 0.8/60 + 1.0/80.$$

$x_3 = f(x_2, u_2)$		x_2				
		20	30	40	60	80
u_2	3	0.4	0.6	0.7	0	0
	4	0	0	0.7	0.8	1.0
	6	0	0	0.7	0.8	1.0
	7	0.4	0.6	0.7	0	0

$$G^2 = U_2 \cap G^3 = \{(\mu_{u_2}(u_2), u_2)\} \cap \{(\mu_{G^3}(x_3), x_3)\} = \{(\mu_{G^3}(f(x_2, u_2), f(x_2, u_2)))\}$$

$$\mu_{G^2} = |0.5 \ 0 \ 6 \ 0.8 \ 0 \ 6| \cap \begin{vmatrix} 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0.8 & 1.0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0.8 & 1.0 \\ 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0 & 0 \end{vmatrix} = |0.4 \ 0 \ 6 \ 0.7 \ 0.8 \ 0 \ 8|$$

$$G^2 = 0.4/20 + 0.6/30 + 0.7/40 + 0.8/60 + 0.8/80.$$

$$P_2(20) = 3 \text{ yoki } 7,$$

$$P_2(30) = 7,$$

$$P_2(40) = 6 \text{ yoki } 6,$$

$$P_2(60) = 6,$$

$$P_2(80) = 6$$

Qadam t = 2

$$G^2 = 0.56/20 + 0.6/30 + 0.8/40 + 0.8/60 + 0.8/80,$$

$$U_1 = 0.9/3 + 1.0/4 + 0.6/6 + 0.5/7.$$

$x_2 = f(x_1, u_1)$		x_1				
		20	30	40	60	80
u_1	3	0.4	0.6	0.7	0	0
	4	0	0	0.7	0.8	0.8
	6	0	0	0.7	0.8	0.8
	7	0.4	0.6	0.7	0	0

$$G_1 = U_1 \cap G^2 = \{\mu_{u_1}(u_1), u_1\} \cap \{\mu_{G^2}(x_2), x_2\} =$$

$$= \{\mu_{u_1}(u_1), u_1\} \cap \{\mu_{G^2}(f(x_1, u_1), f(x_1, u_1))\}$$

$$\mu_{G^1} = |0.9 \ 1.0 \ 0.6 \ 0.5| \cap \begin{vmatrix} 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0.8 & 0.8 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0.8 & 0.8 \\ 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0 & 0 \end{vmatrix} = |0.4 \ 0.6 \ 0.7 \ 0.8 \ 0.8|$$

$$P_1(20) = 3 \text{ yoki } 7,$$

$$P_1(30) = 3 \text{ yoki } 4,$$

$$P_1(40) = 4,$$

$$P_1(60) = 4,$$

$$P_1(80) = 4$$

$$G^1 = 0.4/20 + 0.6/30 + 0.7/40 + 0.8/60 + 0.8/80.$$

Qadam t = 1:

$$G^0 = U_0 \cap G^1 = \{\mu_{u_0}(u_0), u_0\} \cap \{\mu_{G^1}(f(x_0, u_0), f(x_0, u_0))\}$$

$$\mu_{G^0} = |1.0 \ 0.7 \ 0.4 \ 0 \ 1| \cap \begin{vmatrix} 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = |0.8 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0|$$

$$G^0 = 0.8/20 + 0/30 + 0/40 + 0/60 + 0/80.$$

$$P_0(20) = 3,$$

$$P_0(30) = 0,$$

$$P_0(40) = 0,$$

$$P_0(60) = 0,$$

$$P_0(80) = 0$$

Shunday qilib, boshqarish qadamlari bo'yicha maksimalashtiruvchi yechim quyidagicha bo'ladi:

$$x_0 = 20, \quad D = 3 \text{ yoki } 7, 3 \text{ yoki } 7, 3 \text{ yoki } 7$$

$$x_0 = 30, \quad D = 3 \text{ yoki } 7, \quad 7, \quad 7$$

$$x_0 = 40, \quad D = 4, \quad 6 \text{ yoki } 7 \quad 4 \text{ yoki } 6$$

$$x_0 = 60, \quad D = 4, \quad 6, \quad 6.$$

$$x_0 = 80, \quad D = 4, \quad 6, \quad 6.$$

6.4 Ko'p mezonli qaror qabul qilishni noaniq usullari

6.4.1 Masalani noaniq quyilishida ko'p mezonli optimallashtirish masalalarini yechish va qarorlar qabul qilish

Amaliy muhim masalalarni yechishda, shunday hollar yuzaga keladiki, bunga birlamchi axborotni zarur datchiklari bo'lmaydi, yoki jarayonni borishi bo'yicha talab qilingan axborot mavjud bo'ladi. Bunday hollarda axborot texnologiyalarning usullarini jalb qilish maqsadga muvofiq, ular obyekt to'g'risidagi sifatli yoki noaniq axborotni, boshqarish maqsadida, agar maqsadlar juda ham murakkab tushunchalar bilan ifodalansa, ularni ancha oddiy tushunchalar iyerarxiyasi kabi ko'rinishi mumkin. Iyerarxiyani elementlari, ya'ni maqsadlar va muqobillar noaniq to'plamlar hisoblanadi, ular G_j , $j = 1, \dots, m$ lar bilan belgilanadi, bu yerda m -maqsadlar va X_p , $P = 1, \dots, l$, l - muqobillar miqdori.

Iyerarxiyalarni tahlil qilish usuli, iyerarxik strukturali murakkab sharoitda ko'p mezonli masalalarni yechish usuli hisoblanadi, u ifodalanmagan elementlarni [2], o'z ichiga oladi va noaniq to'plamli tegishlilik funksiyasini aniqlashni sun'iy usuli sifatida foydalaniladi [3].

Ba'zi bir apparat tushunchasini aniqlaydigan noaniq, to'plam $D(x)$ ni tegishlilik funksiyasi $D(x)$ ni aniqlash talab qilinsin. Buning uchun QQQSH ni ushbu sifat tushunchasiga ularni moslik darajasi bo'lgan o'zaro universal to'plam X ning miqdori elementlarini taqqoslash talab qilinadi. $A = \{a_j\}$ materialni juftlab taqqoslab, to'ldirish kerak, uni elementlari a_j lar $a_j \in X$ elementlari bilan taqqoslanganda, noaniq to'plam $D(x)$ $a_j \in X$ elementlarining tegishlilik darajasini baholash hisoblanadi. Tengliklar funksiyasi A materialning xususiy

vektori sharoitida topiladi va uni maksimal xususiy qiymati $\lambda_{\max}$ ga mos keladi:

$$A \cdot \omega = \lambda_{\max} \cdot \omega. \quad (6.4.1)$$

Iyerarxik arxitekturalari obyektlar ko'rinishida ifodalangan murakkab tizimlarni ishlash vaqtida olishga imkon beradi [11-13].

Maqsadlar muqobillari (harakatlar) va natijalari noaniq berilgan, lekin uning afzallik nisbatlari, ya'ni foydalilik aniq berilgan holda, ko'p mezonli optimallashtirish masalasini ko'rib chiqamiz. Qo'yilgan optimallashtirish masalasini yechish uchun ko'rilayotgan muqobillarning foydalilik funksiyasini aniqlash va maksimallashtirish kerak:

$$\max\{U(z_1, z_2, \dots, z_k)\}$$

Bu yerda $z_i = f_i(x \in S), i = 1, \dots, k$ — mezonlar vektorlarini tiklovchilar, C - mumkin bo'lgan yechimlarning to'plami.

Qo'yilgan masalani, bu tegishlilik funksiyasi uni matematik tavsifini olish muommasi hisoblanadi [1]. Nazariyada funksiya Y ehtimollik kattaligi sifatida ko'riladi va hisoblab chiqiladi; lekin ko'p murakkab qarorlarni qabul qilish formallashtirilgan masalalar ehtimollikni ko'p o'lchamli taqsimlashli baholash juda qisqa va ba'zi hollarda yechib bo'lmaydi.

Ushbu ishda foydalilik funksiyasi ehtimollik sifatida emas, balki noaniq kattalik sifatida ko'rib chiqiladi, shuning bilan birga noaniq to'plamlarning tegishlilik funksiyalari qarorlar qabul qiluvchi subyektiv shaxs (QQQSH) sifatida qaraladi.

Ko'p mezonli optimallashtirish masalasini iyerarxik dekompozitsiya ko'rinishida ifodalash mumkin, bu yerda to'plam usullari G orqali, muqobillar to'plami esa X orqali belgilanadi.

Agar maqsadlar juda ham murakkab tushunchalar bilan ifodalansa, ularni ancha oddiy tushunchalar iyerarxiyasi sifatida ko'rish mumkin. Iyerarxiya elementlari, yani maqsadlar va muqobillar $G_j, j = 1, \dots, m$, m -maqsadlar soni va $X_p, p = 1, \dots, l$, l — muqobillar soni noaniq to'plamlar bo'ladi.

Tasvirlangan yondashish tahlil qilinayotgan xossalarni ushbu murakkab xossaga moslik darajasini taqqoslashda foydalaniladi. T.Soati tomonidan iyerarxik hol uchun quyidagi teorema isbotlangan [2].

Teorema. Yuqoridagi 0-chi sathda va X sathlarda B elementi X to'liq iyerarxik bo'lsin. B_n - n -chi sathli materiallari bo'lsin $n=1, \dots, x$. Agar $W'_x - (n-1)$ - sathda ba'zi bir Z elementlarga nisbatan n -chi sathni istiqbollar vektori bo'lsa, u holda istiqbollar vektori W'_x -sathda $(n < k)z$ ga nisbatan aniqlandi:

$$W = B_q \cdot B_{q+1} \cdot \dots \cdot B_{p-1} \cdot W' \quad (6.4.2)$$

Shunday qilib, B elementiga nisbatan eng quyi sathdagi istiqbollar vektori quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$W = B_h \cdot B_{h+1} \cdot \dots \cdot B_2 \cdot W' \quad (6.4.3)$$

(6.4.2) ning yechimini (6.4.1) ning yechimi deb hisoblash mumkin emas. Undan tashqari, fizik kattaliklarning sifat xarakteristikalarini ifodalash talab qilinadigan texnik masalalar uni klassik tarzda qo'yilishida iyerarxiyalarni tahlil qilish usuli bilan egallanishi mumkin emas.

Ushbu teorema, birinch iyerarxiyaning quyi sathida universal to'plam bilan noaniq to'plam sifatida, iyerarxiya elementlari esa noaniq to'plam sifatida ko'rib chiqiladi.

Muqobillardan foydalanib, funksiyaning muqobillar to'plamidagi global maqsadni tegishlilik funksiyasi sifatida ko'rib chiqish mumkin, shuning bilan birga tegishlilik funksiyasi ehtimolligi kattaligi sifatida emas, subyektiv kattalik sifatida qaraladi.

Har bir mezonni ifodalovchi, noaniq to'plamlarning tegishlilik funksiyalari (iyerarxiya ko'rinishida ifodalangan murakkab yoki oddiy) muqobillar to'plamidan aniqlanadi, bunda to'plam muqobillar noaniq to'plami mezonlari uchun asosiy hisoblanadi. Har bir sathda biz, tartibga keltirilgan turli aniq to'plamlarga ega bo'lamiz. ular noaniq (strukturali) bo'lgan elementlardan tashkil topgan va ularning har biri o'zining tegishlilik funksiyasi bilan aniqlanadi. Har bir sathning elementlari aniq tartibli to'plamning noaniq ostto'plami hisoblanadi va aynan shu ma'noda aniqlanadi.

Iyerarxiya L_n , $n=1, \dots, h$ sathlarining yig'indisi hisoblanadi. Iyerarxiya istalgan n -sathli L' holda elementlar yig'indisi hisoblanadi, bu yerda $J = 1, \dots, m$, m bo'lgan sathning elementlari miqdori l'_n ni elementlar to'plami quyi $(n+1)$ - sathning elementlari uchun noaniq xossalari hisoblanadi, yani l'_n - bu noaniq to'plamlar to'plami.

Ushbu noaniq birliklarning quyi sathlari to'plamning universal to'plamlari hisoblanadi. Har bir sath elementlarini yozib chiqamiz.

$$\text{Sath } L_{n-1} : I_{n-1}^1, I_{n-1}^2, I_{n-1}^3, \dots, I_{n-1}^{m(n-1)},$$

$$\text{Sath } L_n : I_n^1, I_n^2, I_n^3, \dots, I_n^{m(n)},$$

$$\text{Sath } L_{n+1} : I_{n+1}^1, I_{n+1}^2, I_{n+1}^3, \dots, I_{n+1}^{m(n+1)}.$$

Iyerarxiyalarining qo'shish, sathlar bilan bog'lanishli vektor materiallarda, yani B istiqbollar matritsasi bilan aniqlanadi:

$$B_{n+1} = \begin{matrix} I_{n+1}^1 \\ I_{n+1}^2 \\ I_{n+1}^3 \\ \vdots \\ I_{n+1}^{m(n+1)} \end{matrix} \begin{bmatrix} I_n^1 & I_n^2 & \dots & I_n^{m(n)} \\ \omega_{11} & \omega_{21} & \dots & \omega_{1m(n)} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \dots & \omega_{2m(n)} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \dots & \omega_{3m(n)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{m(n+1)1} & \omega_{m(n+1)2} & \dots & \omega_{m(n+1)m(n)} \end{bmatrix} \quad (6.4.4)$$

Bu yerda B_{n+1} sathning xususiy vektorlari matritsasi, $(n-1)$ – sathning elementlari soni, $m(n)-n$ – sathning elementlari soni. L_{n+1}^i elementini I_{n+1}^i elementga bo'lib, hisoblanadigan noaniq tenglik darajasi.

$$\mu_{I_{n+1}^1}(I_n^1) = w_{11} = \mu_{I_{n+1}^1}(I_{n+1}^1) \quad (6.4.5)$$

I_{n+1}^1 elementi uchun hisoblangan noaniq to'plamni tegishlilik funksiyasi:

$$\mu_{I_{n+1}^1}(L_n^1) = [w_{11}, w_{12}, w_{13}, \dots, w_{1m(n)}]^T \quad (6.4.6)$$

Asosiy to'plam sathi L_n da aniqlangan $(m+1)$ - elementining I -elementi tegishlilik funksiyasi. Elementi I_n^1 bo'lgan noaniq to'plamni tegishlilik fuksiyasi L_n^1

$$\mu_{I_{n+1}^1}(L_{n+1}^1) = [w_{11}, w_{12}, w_{13}, \dots, w_{1m(n+1)}]^T \quad (6.4.7)$$

Asosiy n to'plam sathida (ustunda) aniqlangan n -sathning I -elementining tegishlilik funksiyasi. A ortidan, matritsa B_{n+1} n va $(n+1)$ - sathlarga tegishli bo'lgan, noaniq to'plamlari orasidagi noaniq binarga nisbatan beriladi:

$$B_{n+1} \equiv R_{n+1, n} : L_{n+1}^0 \rightarrow [0,1] \quad (6.4.8)$$

Iyerarxiyalarni tahlil qilish, $\mu_{l_1}(L_{n+1})$ ni topishga, ya'ni asosiy to'plam sathda $(n+1)$ aniqlanadigan iyerarxiyaning tegishlilik funksiyasini topishga olib keladi.

$(n+1)$ – sathlar iyerarxiyasini ham L_1 sathi bitta elementdan tashkil topgan deb hisoblaymiz.

Yuqori sohadagi noaniq qo'yilgan L_1 av L_{n+1} sathiga tegishli noaniq to'plamlar orasidagi aniqlash zarur bo'lsin.

$$R(L_{n+1}, L_1) : L_{n+1}^0 L_1 \rightarrow [0,1]. \quad (6.4.9)$$

Matritsa B_{n+1} L_n va L_{n+1} noaniq sathning noaniq nisbatlari matritsasi.

$$B_{n+1} = R(L_{n+1}, L_n). \quad (6.4.10)$$

$\mu_{l_1}(L_{n+1})$ tegishlilik funksiyasining noaniq korrelyatsiya apparati quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$R(L_{n+1}) = \mu_{l_1}(L_{n+1}) = R(L_{n+1}, L_n)^0 \mu_{l_1}(L_n) \quad (6.4.11)$$

Bu ifodani boshqacha yozish munkun:

$$\mu_{l_1}(L_{n+1}) = \bigcup_{j=1}^{m_n} \mu_{l_{n+1}^{(j)}}(L_n) \bigcap_{k=1}^n \mu_{l_{n-1}^{(k)}}(L_n), \quad (6.4.12)$$

Bu yerda $i = 1, \dots, m_n - n$ – sathdagi elementlar miqdori, $j = 1, \dots, m_{n+1} - (n+1)$ – sathning elementlari miqdori.

Bu yozuv (6.4.2) ifodaga ekvivalent.

Shunday qilib, oxirgi sathdagi muqobillar istiqbollari global vektorlari masalasini yechish maqsadini tegishlilik funksiyasi sifatida ko'rib chiqish to'g'riligi isbotlandi.

Bu o'z navbatida noaniq holda qo'yilgan ko'p mezonli masalalarni yechishda foydalilik funksiyasi sifatida ko'rib chiqish mumkin.

Ushbu isbot, miqdorli shkalalarda iyerarxiyalarni olish usulini [12] fizik kattaliklarining sifat qiymatlari ifoda qilinadigan murakkab tizimlarning noaniq modellarini baholash sifatida qo'llash imkonini beradi.

6.5. Qarorlarni guruhli qabul qilish usullari

6.5.1. Qarorlarni guruhli qabul qilishning o'ziga xosliklari

Hozirgi vaqtda murakkab tizimlarni dinamik tashqi muhitda ishlashiga imkonini beradi, qarorlar qabul qilish jarayoniga yangicha sifatli yondashishni talab qiladi. Hozirgi tashqi mehnat kompleks muammolarni keltirib chiqaradi, ularni aynan qarorlarni, individual yondashishdan farqli holda, guruhli qabul qilishni ta'minlaydigan tizim yondashish yordamida yechish mumkin [14].

Guruhning barcha a'zolari uchun umumiy bo'lgan masalani yechishda o'zaro axborot almashish sharoitida guruh tomonidan qator muqobillardan tanlab, amalga oshiradigan qarorlar guruhli qarorlar deyiladi.

Qarorlarni guruhli qabul qilish amali, guruh bo'lib muhokama qilishdan farqli holda, guruh a'zolarining fikrlari bilan albatta kelishishni taklif qiladi.

Guruh bo'lib muhokama qilish, guruh bo'lib qaror qabul qilishni dastlabki fazasi sifatida qaraladi. Alohida hollarda, guruhli qaror qabul qilish axborotlar almashinishi cheklangan sharoitda foydalaniladi, bunda guruh a'zolari o'zlarini boshlang'ich qarorlari to'g'risida ma'lumot berishlari mumkin.

Guruhli ishlash usulidan anchadan beri foydalaniladi va yaxshi natijalar beradi. Individual yechimga nisbatan birgalikdagi yechim qator afzalliklarga ega, ya'ni bu muammoni jamoaviy tarzda qidirib yechish mumkin bo'lgan ko'p muqobillarni ko'rib chiqishga imkon beradi; guruh bo'lib yechishda yuqori kreativlik, intellektuallik, ratsionallik va boshqalar bilan xarakterlanadigan fikr paydo bo'ladi.

Ushbu alohidaliklari tufayli guruhli qaror qabul qilish murakkab, ba'zida esa to'siqli holatlarda, eng optimal variantni tanlashga imkon beradi.

Guruhli qaror qabul qilish masalasi ko'p hollarda bu jarayonni obyekt va manba sifatida qarash mumkin. Ushbu holda gap qandaydir muammoni guruh bo'lib muhokama qilish to'g'risida ketadi. natijada guruh ma'lum bir qarorni qabul qiladi.

Guruhli masalalarning eng umumlashgan tasnifi D. Hakmen va Ch.Morrislar tomonidan ishlab chiqilgan. Unga ko'ra guruhli masalalar quyidagi tiplarni o'z ichiga oladi:

- mahsuldor, ularni yechish original ijodiy mahsulotlarni olishga olib keladi (masalan yangi g'oyalarni generatsiya qilishga) ;
- munozarali, guruh a'zolaridan aniq masalani yechish bo'yicha muhokama o'tkazishni va kelishilgan qarorlarni qabul qilishni talab qiladi.

- muammoviy, ular ba'zi bir muammoni yechish maqsadida jarayonning o'ziga xos xossalarini ochishni talab qiladi.

Guruh masalasi (Shov M ga muvofiq) quyidagi o'lchamlarga ega: qiyinligi (masalani yechish uchun talab qiladigan kuchni kattaligi), yechimlarning to'plami (mumkin bo'lgan qarorlar to'plamini, masalani bajarishni muqobillariga muvofiq yechimlarni verifikatsiyalash darajasi), masalaga ichki qiziqish (bundan masala o'z-o'ziga guruh a'zolari uchun qiziqish tug'diradi va ularni faolligini oshiradi), koperatsiyalash zarurligi (masalani yechish uchun guruh a'zolarini harakatlarini integratsiyalash darajasi), intellektual manipulyativ talablar (masalani yechishda talablar ko'lam: faqat aqliy xarakterdan, sof harakatlanish xarakterigacha).

Populyatsion tanishish (bunda guruh a'zolari shunga o'xshash masala bilan hayotlarida duch kelishgan).

Oxirgi yillarda psixologlar individual va guruhli yechish samaradorligini taqqoslash bilan bandlar. Qarorlarni guruhli qabul qilish jarayoni qarorlarni individual qabul qilish jarayoniga o'xshash. Bu va boshqa hollarda bir-biriga o'xshash bosqichlar ishtirok etadi, ya'ni muammoni aniqlash, ma'lumotlarni yig'ish muqobillarni baholash va ularni bittasini tanlash. Ammo guruhli qaror qabul qilish jarayoni ancha murakkab, chunki bu bosqichlarning har biri guruh a'zolari orasidagi o'zaro harakatlanish bilan kuzatiladi va mos ravishda turli qarashlarning to'qnashuvi bilan kuzatiladi.

O'z-o'ziga guruh a'zolarini o'zaro harakatlanishi psixolog Mitchin ta'kidlaganidek, quyidagilarda namoyon bo'ladi:

- ba'zi bir individlar boshqalarga nisbatan ko'proq gapiradi;

- yuqori statusli individlar, quyi statusli individlarga nisbatan, qarorga katta ta'sir ko'rsatadi;

- guruhlar ko'pincha o'zlarining vaqtlarini o'zaro kelishmovchiliklarni bartaraf qilishga sarflaydi;

- guruhlar o'zlarini maqsadidan chetlashishi va noto'g'ri xulosalar bilan cheklanishlari mumkin;

-guruh a'zolari ko'pincha ularni kompromissga intiladigan, kuchli bosimni o'zlarida sinashadi.

- guruh bo'lib muhokama qilish, o'sha odamlarni alohida ishlagan hollarga qaraganda ikki barovar ko'p g'oyalar tug'iladi;

- guruh tomonidan qabul qilingan qarorlar katta aniqligi bilan farq qiladi, bu shunday tushuntiriladi, guruh umuman olganda katta miqdordagi bilimlarga ega, bitta individga nisbatan;

- axborot ancha har tomonlama bo'ladi, bu o'z navbatida muammoni yechishda turli yondashishlarni ta'minlaydi.

Guruh bo'lib qaror qabul qilish jarayonida guruh a'zolarining shaxsiy alohidaliklari, guruhning o'lchami va uning bir jinslilik darajasi muhim rol o'ynaydi.

Guruh a'zolarining shaxsiy alohidaliklari, guruh bo'lib ishlashni samaradorligiga ham ijobiy ham salbiy tomondan ta'sir qilishi mumkin.

Shaxsning xususiyatlari guruhli samaradorlik bilan, axloqiy muhit va jipslilik bilan ijobiy tarzda korrelyatsiyalanadi. Shaxsni salbiy baholanadigan xususiyatlarini (avtoritarlik, dominantlik, moslanuvchanlikni yo'qligi) guruh ishiga salbiy ta'sir qiladi [8,15]. Alohida shaxsni xarakteristikalarini ta'sir samarasi uncha katta bo'lmasligi mumkin, lekin o'xshash xarakteristikalarining yig'indisi ko'pincha guruh faoliyatida hal qiluvchi omil bo'lib qolishi mumkin.

Guruhni o'lchami – guruh xulqini muhim determinanti bo'lib hisoblanadi. Operativ masalalarni bajarish uchun taxminan yetti kishidan tashkil topgan guruh ancha samarali bo'ladi. O'n ikki va undan ortiq sonli katta guruhlar kompleks va murakkab masalalarni bajarish uchun samarali bo'ladi. Toq sonli ishchilari bo'lgan guruhlar, juft miqdordagi guruhlarga nisbatan afzalroq. Beshta va yettita odamdan iborat guruhlar o'zida katta va kichik guruhlarini afzalliklarini ancha to'liq tarzda mujassam qiladi. Guruhdagi a'zolarining ushbu miqdori yetarli deb hisoblanadi.

Guruh a'zolarining bir xil emasligi guruhni samaradorligiga yaxshi ta'sir qiladi. Shaxsiy alohidaliklari nuqtai nazaridan guruh a'zolari bir xil bo'lmasa (bilimlari, qobiliyatlari, ko'nikmalari), u holda katta ehtimollik bilan aytish mumkin, guruh istalgan masalani bajarishi mumkin. Bir xil bo'lmagan Guruh, ko'pincha, ancha nizoli; lekin amaliyot shuni ko'rsatadiki u bir xil guruhdan ko'ra ancha samarali bo'ladi.

Guruhni tarkibi masalasini o'rganish bilan Xoffman shug'ullangan. U tomonidan olingan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, geterogen (turli) malakasi va tajribasi bo'yicha farq qiladigan, guruhlar, ancha yuqori darajadagi masalalarni, gomogen Guruhlarga nisbatan oson hal qilganlar. Lekin malakasi va tajribasi o'xshash bo'lgan gomogen guruh a'zolari boshqa afzalliklari bilan farq qilgan. Bunday guruhlar o'z a'zolarining qoniqish hosil qilishga va konfliktlarni kamayishiga olib kelgan. Guruhning faoliyati jarayonida ularning a'zolarining bittasi ham ustunlikka ega bo'lmasligi katta kafolat ekanligi ko'rsatib o'tilgan.

Guruhning o'zaro ishlashini alohidaliklari asosida interfaol va nominal guruhlarga ajratiladi. Odatdagi munozara qiladigan guruh, masalan, u yoki bu komissiya (uni a'zolari qaror qabul qilish maqsadida bir-birlari bilan o'zaro birga ishlaydilar), interfaol deb ataladi. Nominal guruhda aksincha, ular bir binoda bo'lsa ham, a'zolarining har biri nisbatan alohida ishlaydi. Oraliq bosqichlarda bu shaxslar bir-birlarini faoliyatlari bilan fikr almashadilar va o'z fikrlarini o'zgartirish imkoniyatiga ega bo'ladilar. Bu holda bilvosita o'zaro ta'sirlashish to'g'risida gapirish mumkin. Dunkan ta'kidlaganidek, nominal guruhlar interfaol Guruhlardan barcha bosqichlarda ham afzalliklarga ega, faqat sintez bosqichidan tashqari, bunda guruh a'zolari tomonidan aytilgan g'oyalar taqqoslanadi, muhokama qilinadi va kombinatsiyalanadi. Natijada nominal va interfaol shakldagi guruhlarni birga qo'shish kerak degan xulosaga kelingan, chunki bu ancha yuqori darajadagi qarorlarni ishlab chiqishga olib keladi.

Guruh bo'lib qaror qabul qilish muammosini ko'rib chiqishda shaxsni deindividuellashtirish hodisasiga e'tibor berish kerak, uni natijasida guruhdagi alohida shaxslar shunday qarorlar qabul qilishi mumkinki, ular juda konservativ yoki juda ham tavakkal bo'lishi mumkin.

Ba'zi vaqtlarda guruh bo'lib qaror qabul qilish shu darajada bo'lishi mumkinki, bu alohida holda ko'rilayotgan ko'pchilik guruh a'zolariga xos emas. Guruhdagi shaxsni *deindividuellashtirish* natijasida "tavakkalni siljishi" – ya'ni guruh tomonidan qabul qilinayotgan qarorlarni tavakkal qilish darajasi yoki "javobgarlik diffuziyasi" ortadi, chunki guruhning birorta a'zosi ham so'nggi qaror

uchun to'liq javobgarlikni olmaydi (bunda individ javobgarlik guruhning hamma a'zolariga tegishli bo'lishini biladi.)

Ba'zida guruh, turli asoslanmagan qarorlar qabul qilishi mumkin. Asosan bu hamjihatlik darajasi yuqori bo'lgan guruhlar uchun xarakterli. Ba'zida guruh a'zolari konsensusga intiladilar (guruh bo'lib qaror qabul qilishda to'liq rozilik bildiriladi), bu o'z navbatida o'zlarini qarorlarini va ularning realistik baholarini tan olmaydilar.

Bunday guruh a'zolari yuqori sotsial statusga ega bo'lishi mumkin, va ularning qarorlarini qiymati juda ham yuqori bo'ladi. Hammani roziligi ko'pincha muammoga kritik yondashish ustidan g'alaba qozonadi. Natijada konsensusga erishib, guruh a'zolari samarasiz qarorni qabul qiladilar.

Psixolog Jons bu hodisani "fikrlashni guruhlash" deb nomladi. Uning simptomlari orasida-guruh a'zolarining mustaqilligi illyuziyasi va qarorlarini anonimligi, juda ham yuqori optimizm, tavakkalga moyillik (bunda guruh muqobillarining minimal sonini muhokama qiladi), raqibiga stereotip tarzda qarash-raqiblar juda ham qahrli qarash sifatida qaraladi (ular bilan muzokara olib borish uchun) yoki juda ham kuchsiz va aqliga to'g'ri kelmaydigan (o'zlarini ular rejalashtirayotgan harakatlardan himoya qilish uchun). Shunday qilib, guruh a'zolari qanchalik birlik ruhida bo'lsalar, xabar shunchalik kuchli, bunda bog'liq bo'lmagan, kritik fikrlar "guruhlashtirish bilan" o'rin almashinadi.

Muvaffaqiyati qarorlar qabul qilish tajribasini umumlashtirib, Jons tavsiyalar ishlab chiqdi, ular guruhdagi individual "fikrlarni guruhlashtirishni" oldini oladi:

- loqayd bo'lmaslik – e'lon qilingan pozitsiyalarining birortasini ham so'zsiz qabul qilmaslik;

- vaziyatni kritik baholashni har tomonlama yoqlash;

- vaqti-vaqti bilan guruhni ancha mayda kichik guruhlariga bo'lish, so'ngra qarama-qarshi fikrlarni birgalikda muhokama qilish;

- mustaqil ekspertlar va hamkasblar tomonidan qilingan tanqidni yaxshi qabul qilish;

- qabul qilingan qarorlarni bajarishdan oldin "oxirgi shans yig'ilishini" o'tkazish, mumkin bo'lgan ikkilanishlarni muhokama qilish.

Guruh bo'lib baholash, individual baholashdan so'zsiz yaxshi, lekin bunda guruh yechimining aniqligi turli omillarga: masalaning

tabiati va murakkabligiga, guruh a'zolarining komponentligiga, muhokama usuliga bog'liq. Ba'zi bir tadqiqodchilar (R. Xeysti, G. Xill va boshqalar) mantiqiy masalalarni guruh bo'lib yechish individual yechimdan ko'ra ustunroq, lekin guruhning eng aql-zakovatli vazni yolg'iz tarzda barcha guruhdan ko'ra yaxshiroq ishlaydi deyishgan. Murakkab masalalarni yechishda guruh bo'lib ishlash bahssiz ustunlikka ega, chunki guruh, a'zolari fikrlari bilan almashinishlari va bir-birlarini xatolarini to'g'rilashlari mumkin. Guruh bo'lib ishlashni samaradorligiga guruh a'zolari o'zaro qay tarzda ishlashlari ham sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Guruh bo'lib qaror qabul qilishning samaradorligi

Guruh bo'lib qaror qabul qilish jarayonlari umumiy holda struktura- sathli prinsipiga asoslangan va quyidagi asosiy sathlarni o'z ichiga olgan ma'lum bir iyerarxiyani tashkil qiladi. Kvazi guruhli, muqobil guruhli, lokal- guruhli , interfaol- guruhli, imeta guruhli [6].

Ko'rsatilgan sathlarni differensiyasi asosida qarorlarini "subyektiv bazasi" struktura va hajmda ya'ni qaror qabul qilishni guruh subyektlarini xarakteristikalarida sifat farqlari bor. Guruh bo'lib qaror qabul qilish sathini oshishida strukturalanganlik va qarorni subyektiv bazasi hajmi ham ortadi. Kvazi guruhli sath qachonki guruh umumiy qarorga kelolmaydi, yoki uni ko'pchilik a'zolari buni maqsadga muvofiq emas deb hisoblaydi. Guruhda formal a'zolik fonida, gohida "umumiy" qabul qilish fonida lekin formal hech nimaga mas'uliyat bermaydigan real individual faollik paydo bo'lgan situatsiyadan chiqishni avtonomlashtiradi. Bu hollarda guruh yaxlit bir holda ishlashni to'xtatadi, tanlashni jamoa subyekt statusni yo'qotadi.

Bunday qarorlarni surunkali takrorlashda referektlik reduksiya hodisasi paydo bo'ladi, bunda indivlar sezilarli darajada umumguruh normalarini, qimmatliligini, qoidalar va boshqalarni real tashuvchisi bo'lmay qoladi, unga formal tarzda birlashganini saqlaydilar.

Agregativ-guruhli sath, aksincha, aynan kollektiv (guruhni) subyektni tanlash borligi bilan xarakterlanadi. Guruh yaxlit tarzda ishlaydi, o'zi uchun qarorlar ishlab chiqishga harakat qiladi va o'zini aynanligini saqlashga, lekin uni subyekt sifatida qaror qabul qilishi nisbatan oddiy bo'ladi; u guruh a'zolarini agregativ to'plami sifatida "ha" va "qarshi" pozitsiyalarda ifodalangan. O'zining ko'rinib turgan

mukammal emasligiga qaramasdan, guruh bo'lib qaror qabul qilish usulini maksimal tarzda demokratik bo'lib, qatnashchilarini tengligiga va tanlashda guruh a'zolari fikrlarini hisobga olishga asoslangan.

Guruh bo'lib qaror qabul qilish jarayonini tashkil qilishni lokal-guruh sathi asosiy farq qiluvchi alohidalik bo'lib hisoblanadi, bunda qonuniy tarzda (shu bilan birga yetarli darajada muhim) yechimlar jarayonida guruhini strukturalanishini umumiy prinsipi o'zgaradi, demak ushbu strukturani o'zi ham o'zgaradi. Strukturalanishni agregativ prinsipi integrativ prinsipiga o'zgaradi: bu yerda qarorlar "ha" va "yo'q" ovozlari soni nisbati asosida emas, balki boshqa ancha mukammal protseduralar va mexanizmlar asosida qabul qilinadi. Bu sathning asosiy alohidaliklari quyidagilar:

- lokallik (qarorni qabul qilishda hamma guruh emas, ko'pincha unga qiziqishi bo'lgan ancha kompetentli a'zolar qatnashadi);

- ixtisoslashtirish (ushbu qarorlarda qarorlar qatnashchilarni rolini differensiallanishi mexanizm yorqin ifodalangan (qarorini qabul qilish jarayonida u yoki bu rolni qabul qilishi va amalga oshirishi);

- selektivlik (qaror qabul qiluvchi kichik guruh qarorni qabul qiluvchi determinantlar ta'siri ostida guruhning umumiy tarkibida differensiallanadi, ya'ni ekspressiv emas, instrumental);

- erkin qarorni tayyorlash va qabul qilishni reglementlanmagan xarakteri.

Ko'rsatilgan jihatlar asosida tarkibli argumentlar va determinantlar asosida yakunlovchi qaror qabul qilinadi.

Navbatdagi interfaol – guruhli sathda qarorni subyektiv bazasi yana sezilarli transformatsiyalarga uchraydi. Gap shundaki, ushbu qarorlarda qandaydir guruhning kichik tarkibi emas, balki barcha guruh birgalikda faol qatnashadi. Bu yerda tanlov sintez asosida (muhokama qilish, "chamalab ko'rish", variantlarni ko'rib chiqish) keng tarzda ma'lum bo'lgan konsensus ko'rinishida amalga oshiriladi.

Konsensus to'rtta asosiy turga ajratiladi: parsial, destruktiv, konsensus – kompromiss, integral (yoki sinergetik). Ushbu sathda ikkita avvalgi sathlar bo'lib o'tadi.

Beshinchi – mega guruhli sath – guruhli tanlovni murakkab obyektiv holda guruhli tanlov uni amalga oshiruvchi guruhning imkoniyatlaridan ortiq bo'ladi.

Guruhning boshqa guruhlarga yoki shaxslarga yordam so'rab murojaat qilishi tabiiy hol bo'lib, bu o'z navbatida qonuniy tarzda

qarorlarni subyektiv bazasini mazmuni va strukturasi o'zgarishi bilan ko'rsatiladi: guruh yoki ongli ravishda va oldindan o'zini dastlabki subyektivligi chegarasidan chiqada yoki tanlov subyektidan uni obyektiga aylanadi (agar u ushbu huquqini boshqa guruhga yoki shaxsga bermasa).

Guruhning rivojlanish darajasi qanchalik yuqori bo'lsa, u tomonidan tanlangan tashkiliy struktura uni ishlashida to'laroq jipslashgan, hamda uning strategiyasidan foydalaniladigan qarorlarni jamoa bo'lib qabul qilish usullari shunchalik turlicha bo'ladi [6, 17].

Guruh bo'lib qaror qabul qilish jarayoni quyidagi bosqichlardan tashkil topgan:

- dalillarni o'rnatish (guruhli intervyu);
- dalillarni baholash (o'rnatilgan dalillar bo'yicha fikrlar);
- yechimni qidirish (breynstorming);
- qarorlarni qabul qilish.

Dalillarni o'rnatish bosqichni asosiy vazifasi – ma'lumotlarni to'plash. Dalillarni o'rnatish dalillik va obyektiv xarakterga ega. Bu bosqichda birgalikda muhokama qilish qatnashchilari to'planayotgan dalillarni o'rnatishda o'zlarini chetga olib turadilar.

Guruhdagi fikrlarning barchasini to'plash eng ko'p tarqalgan usul bo'lib, ushbu masala bo'yicha guruhli intervyu hisoblanadi. Guruhli intervyuni o'tkazish samaradorligi unga yaxshilab tayyorgarlik ko'rilganiga bog'liq.

Buning uchun guruhli muhokama qilishni maqsadlari to'g'risida barcha guruh a'zolarini ogohlantirib qo'yish, hamma uchun qulay vaqtni tanlash, uni davomiyligini belgilash, fizik va psixologik qulaylikni ta'minlash zarur.

Intervyu oluvchining vazifasi bir tomondan guruh dinamikasini nazorat qilish, boshqa tomondan esa qo'yilgan maqsadga erishishga guruhni yo'naltirishdan iborat. Buning uchun u qo'yilgan masalalarni muhokama qilishda guruhning har bir a'zosini faol qatnashishiga harakat qilishi kerak. Intervyu oluvchi guruhni fikrini bo'lmasligi, guruh faoliyati bo'yicha o'zining xususiy fikrini bildirmaslikka harakat qilishi kerak. U qatnashchilarni chiqishlarini kerakli oqimga yo'naltirishi va ularga aniqlik kiritishi kerak.

Dalillarni baholashni ikkinchi bosqichi baholash va diagnostik xarakterga ega. Qatnashchilar muhokama qilinayotgan ma'lumotlar

bo'yicha o'z fikrlarini bildirish imkoniyatiga egalar. Rahbar faqat bildirilayotgan fikrlarni ro'yxatga oladi.

Uchinchi bosqich – muammolar yechimlarini qidirish (breynstorming yoki aqliy hujum). Bu bosqichda olib boruvchi ham, qatnashchilar ham boshqa qatnashchilarning fikrlarini tanqid qilmasligi kerak. Guruh bitta aniq muammo bo'yicha maksimal miqdordagi g'oyalarni aytishlari kerak.

Breynstorming o'tish jarayoni uchta fazani o'z ichiga oladi [18]: kirish (olib boruvchi usul, qoidalar to'g'risidagi axborotlarni xabar qiladi va yechim talab etadigan savolni aniq izohlaydi), asosiy (ancha ijodiy bosqich bo'lib, bunda qatnashchilarning faolligi maksimal va g'oyalar erkin tarzda bildiriladi) va oxirgi (olib boruvchi aytilgan g'oyalarni mutaxassislar hukmiga havola qilinadi, ular real qo'llash mumkinligi nuqtai nazardan yechimlarga baho beradilar; agar keyinchalik qatnashchilarda yana qandaydir g'oyalar paydo bo'lsa, ular g'oyalarni yozma ravishda etishlari mumkin).

To'rtinchi bosqich – qaror qabul qilish bosqichi. Guruh taklif qilingan qarorlarni taqqoslaydi, o'ziga xos yechim variantlari tanlash amalga oshiriladi va ularning ichidan eng optimali tanlab olinadi. Olib boruvchi muhokama rejasini belgilaydi, tushayotgan barcha takliflarni, hamda har bir taklifni alohida muhokamaga qo'yadi [19].

Guruhli qarorlarni qabul qilish samaradorligi ularni baholash uchun qanday mezonlardan foydalanilishiga bog'liq. Ko'pincha guruhli yechimlar ichonchliroq bo'ladi. Dalillar shuni tasdiqlaydiki, guruhlar, alohida odamlarga nisbatan, o'rtacha qaralganda, ko'proq muvaffaqiyatli qarorlar qabul qiladi. Guruhli qarorlar deyarli har doim alohida shaxs tomonidan qabul qilingan qarorlardan ustun bo'ladi.

Agar qarorni samaradorligi uni qabul qilish tezligi nuqtai nazardan aniqlansa, bu holda alohida odam g'olib bo'ladi, chunki guruh bo'lib qaror qabul qilish – bu har doim fikrlar bilan almashish bo'lib, ko'proq vaqtni talab qiladi.

Samaradorlikni, qaror qabul qilish jarayonida ijodiy boshlanish ishtirok etishiga qarab ham baholash mumkin. Bu mezon orqasida ham yana guruhlar ancha samarali bo'ladi, lekin bitta muhim variantni esdan chiqarmaslik kerak: guruh a'zolarini o'z shaxsiy fikrlaridan qaytarishga majbur qiladigan vositani oldini olish kerak. Samaradorlikning oxirgi mezoni, bu bo'lajak ijrochilarning so'nggi qarorni qabul qilishi va ma'qullash darajasi hisoblanadi.

Guruhli qarorlarni qabul qilish jarayonining samaradorligiga guruhning o'lchami ham ta'sir qiladi. Guruh qancha ko'p bo'lsa, fikrlar ham shunchalik ko'p bo'ladi. Boshqa tomondan, katta o'lchamli guruh o'zining hamma a'zolari fikrini bilishi uchun ko'proq vaqt talab qilinadi. Shuning uchun guruhlar juda ham katta bo'lishi shart emas, optimal o'lcham bu besh-o'n besh odam. Eng samarali guruhlar besh – yetti kishidan iborat bo'ladi (besh yoki yetti toq sonlar ekanligiga e'tiborni qaratish lozim, shuni hisobiga ovoz berishda to'liqli hollar istisno bo'ladi). Bunday o'lchamdagi guruhlar, ularning a'zolari o'z rollari bilan almashinishi yoki istalmagan majburiyatlarini bajarishdan bosh tortishlari mumkin, lekin bunda guruhning eng kamtar a'zolari ham muhokamada faol qatnashishlari kerak. Guruh faoliyatini natijaviyligini, uning samaradorligini hisobga olib, baholash kerak. Umuman olganda, guruhlarning alohida odamlarga nisbatan natijaviyligi kam. Shuning uchun guruhdan foydalanish to'g'risidagi masalani yechishda, birinchi navbatda samaradorlikdagi yo'qotishni to'ldirish va birinchi navbatda, uning natijaviyligi yetarli darajada yuqori ekanligini baholash lozim.

Guruhli qarorlarni qabul qilishning afzalliklari va kamchiliklariga murojaat qilamiz:

Quyidagilarni guruhli qarorlarining afzalliklari sifatida ajratish mumkin:

- axborotni ancha to'liq hajmi tahlil qilinadi (guruh qaror qabul qilish jarayoniga tajriba va nuqtai nazarining turliligini kiritadi, agar bitta odam qaror qilayotgan bo'lsa buni iloji yo'q).

- ancha ko'p miqdordagi variantlar ishlab chiqiladi (chunki guruhlar o'zlarini ixtiyorlarida ko'p hajmdagi va ancha turli shakldagi axborotga ega, ular bitta odamga nisbatan muhokamaga ko'p miqdordagi foydali variantlarni olib chiqishlari mumkin);

- qabul qilingan qarorlarni boshqa xodimlar tomonidan ma'qullanish ehtimolligi to'plami: (ko'plab qarorlar ularni ishlab chiqishni oxirgi bosqichida muvaffaqiyatsizlikka duch keladi, chunki odamlar ularni qabul qilish va bajarishdan bosh tortadilar, bunda ishchilar, uni amalga oshirish kerak bo'lsa, uni qabul qilish jarayonida qatnashadilar, ular qarorni ma'qullaydilar va buni boshqalar qilishiga erishishga harakat qiladilar);

- katta qonuniylik (guruh bo'lib qaror qabul qilish jarayoni, odamzotni demokratik g'oyalarga mos keladi).

Guruh bo'lib qaror qabul qilish bir qator kamchiliklarga ham ega [20].

Bu eng avvalo – vaqtni ko'p sarflanishi.

Guruhlarga har doim bitta odamga nisbatan ko'proq vaqt kerak bo'ladi. Navbatdagi kamchilik, bu kamchilikning idorasi. Guruh a'zolari hech qachon holat bo'yicha absolyut teng bo'lmaydi. Ular ko'pincha tashkilotga turli statusga ega, muammoni bilish va tajriba darajasi turlicha, guruhning boshqa a'zolariga ta'sir darajasi turlicha, hamda o'ziga ishonchi ham turlicha, o'zlarini fikrlari va g'oyalarini ifodalashdagi qobiliyatlari turlicha. Bunday tengsizlik shunga olib keladiki, bunda bitta yoki bir nechta guruh a'zolari o'zlarining afzalliklaridan foydalanadilar va boshqalarga ta'sir ko'rsatadilar. Natijada hukmronlik qilayotgan kamchilik ko'pincha guruhni oxirgi qaroriga nomonand tarzda katta ta'sir o'tkazadi. Yana bitta kamchilik guruhga bosim o'tkazishdan iborat. Guruhlarda ishlayotganda ularning alohida a'zolari bosimga uchraydi, bu esa o'z navbatida guruhli (yoki shablonli) fikrlash nomi bilan tanish bo'lgan hodisaga olib keladi, bu esa o'z navbatida odamni, ko'pchilikning fikrini hisobga olgan holda o'z fikridan qaytarishga olib keladi. Guruhli (shablonli) fikrlash kritik yondashishga halaqit beradi va natijada guruh qarorlarini sifatiga salbiy ta'sir qiladi. Yana bitta kamchilikni ko'rsatib o'tamiz – bu javobgarlikni noaniq taqsimlanishi. Guruh a'zolarining hammasi qabul qilingan qarorga javobgar bo'ladi, lekin hech kim oxirgi natija uchun shaxsiy javobgarlikni olmaydi. Jamoaviy ravishda qaror qabul qilishni yana bitta kamchiligi – uning nisbatan tezkorligini pastligi (bunday qarorni qabul qilish ma'lum bir vaqtni talab qiladi). Buni tushunish uchun uchta asosiy omillarni hisobga olib, qaror qabul qiluvchi guruh ishini tahlil qilishi zarur: yechilayotgan masalaning xarakteri, guruhni xarakteristikalari, guruh faoliyatining protseduralari.

Guruh tomonidan yechiladigan masalalarni xarakteri bo'yicha, ular determinantlangan va ehtimolli, holati aniq, statik va dinamik (to'liq axborotni) va noaniq (tavakkal) bo'lishi mumkin va shunga o'xshash. Qaror qabul qiluvchi guruh shaxslari qatnashchilari miqdori, ularning kompetentligi, harakat motivlari va boshqalar. Jamoa bo'lib qaror qabul qilish amali turlicha bo'lishi mumkin: yoki rasmiy usullar – qat'iy algoritm bo'yicha, yoki norasmiy – erkin tarzda muhokama natijasida.

6.5.2. Guruhli qarorlarni qabul qilish usullari. Guruhli qarorlarni qabul qilish usullari tizimi

Guruhda qarorni qabul qilishni mohiyati individual qarorlardan, uni har bir a'zosi tomonidan qabul qilinadigan qarorlar jamoa qarorlariga o'tishi, bunda guruhning hammasini nuqtai-nazari hisobga olinadi. Bunga o'xshash o'tishlarning bir nechta tiplarini ajratish mumkin, ular guruh qarorlarini ishlab chiqish strategiyasi deb nomlanadi.

Birinchi navbatda, bu oddiy to'plam strategiyasi, ya'ni oddiy ko'pchilik ovoz bilan qarorlar qabul qilish. Ushbu strategiyani afzalligi uni soddaligi va shubhasizligida: guruhning ko'pchilik a'zolari tomonidan ma'qullangan qarorga mos keladi. Ushbu strategiyaning kamchiligi unchalik shubhasiz emas. Bu yerda kamchilikning fikri tanlashga umuman ta'sir etmaydi, lekin yangi g'oyalar ko'pincha kam odamlarda paydo bo'ladi. Bundan tashqari, oddiy ko'pchilik strategiyasida alohida shaxslarda muqobilning afzalliklarini kelishilganligi mavjud emas. Turli guruhning a'zolari, turli motiv bo'yicha faqat bitta qarorga kelishi mumkin, va tanlov hada tavakkallik sathi ratsional qarordan ancha uzoq bo'ladi. Guruhli qarorni ishlab chiqishning ikkinchi yo'li ranglar strategiyasining yig'indisini olishdan iborat. Ushbu strategiyani mohiyatini misolda ko'rib chiqamiz. Tavakkal bilan bog'liq bo'lgan qaror uch kishidan iborat kichik guruh tomonidan qabul qilingan deb faraz qilamiz. Bunda 4 ta muqobil yechimlar bo'lishi mumkin: a_1 , a_2 , a_3 , a_4 . Eng avval ranjirovka o'tkaziladi – guruhning har bir a'zosi qarorlarini afzalligi tartibida qo'yib chiqiladi. Har bir qaror bo'yicha ranglar quyidagicha qo'shiladi: a_1 bo'yicha $4+3+1=8$, a_2 bo'yicha $3+2+2=7$, a_3 bo'yicha $1+1+4=6$, a_4 bo'yicha $2+1+4+3=10$. Ranglarning yig'indisi eng kam bo'lgan muqobilga guruhning rangi mos keladi (rang qanchaligi past bo'lsa afzallik shuncha ko'p). Ushbu misolda, a_3 yechim hisoblanadi. Guruhli qarorni ishlab chiqishni uchinchi yo'li – chetlanishlarni minimallashtirish strategiyasi. Uning ma'nosi shundaki, guruhning afzalliklari va a'zolarining individual qarorlari orasidagi izlanishlar iloji boricha kam bo'lishi kerak. Guruhli qaror strategiyasini yana bitta variant – optimal oldindan ko'rish strategiyasi hisoblanadi, uning mohiyati shundan iboratki, bunda guruhli qaror individual afzalliklarni hisobga olishga imkon beradi. Guruhli qaror asosida qilingan istalgan muqobil juftliklari orasidagi afzallik haqiqiy afzallikka mos kelishi

kerak. Me'yoriy hujjatlarni ishlab chiqishda rahbarlar qaysi vaqtda ba'zi bir tavakkalga borishi mumkin va qaysi holda yo'q degan qaror guruh tomonidan qabul qilingan deb faraz qilamiz. Agar rahbarlar o'zlarining haqiqiy qarorlarida guruhli tanlov strategiyasi eng yaxshi deb tan olishsa, ko'zlangan tanlovga iloji boricha ko'proq murojaat qilishlari kerak [20]. Natijaviy guruhli qarorni ishlab chiqishning quyidagi uslublari mavjud:

- “Konsensus” – datlabki individual variantlarni ochiq muhokama qilish yo'li bilan guruhni yagona qarori ishlab chiqiladi;

- “Dealitlik” – bunda variantlar emas, balki ularni aniqlovchi omillar muhokama qilinadi;

- “Dektatura” – muhokama, qaysi qatnashchini fikri guruhni fikriga mos kelsa, tanlov shu bilan tugallanadi;

- “Delfi” usuli – ko'p marotaba anonim tarzda va bir-biridan izolyatsiyalangan holda yozma ravishda fikrlarni aytish va muhokama qilish. Bir nechta rounddan so'ng umumiy qarorga kelishga erishiladi;

- “Jamo” uslubi – natijani o'rtachasini olish, bu barcha ta'sirlarni istisno qiladi.

Uslublarning samaradorligi bir-biridan farq qiladi, bu to'g'risida faqat ehtimollik ko'rinishida gapirish mumkin[21]. O'rtalashtirilgan natijalar ko'pincha eng kichik aniqlikni beradi ya'ni jamoa uslubidan foydalanilganda ba'zi bir hollarda olingan baholarni taqsimlanish xarakteri bo'yicha o'rtalashtirish usulini tanlab olish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Quyidagi yo'nalishlar mavjud:

- barcha baholar ham, ularning ba'zi qismi ham hisobga olinishi mumkin (masalan, ba'zi bir hollarda chekkadagi nuqtalar tashlab yuboriladi);

- baholar bir xil qiymatga ega bo'lishi yoki ega bo'lmasligi mumkin;

- nafaqat o'rtacha arifmetik, o'rtacha geometrik qiymatlar ham ishlatilishi mumkin. Har bir usullarda birgalikda ishlaganda ularning afzalliklari turlicha bo'ladi.

Afzalliklarni to'rtida guruhga ajratish mumkin.

Birinchi guruh - “Aqliy hujum”, senektika usuli, assotsiyasiyalar usuli va utopik o'yinlar usuli-ijod erkinligi prinsipi, fantaziya va “o'topizim”. Ushbu usullarda o'zini tutib turish,

o'ylanmasdan qilingan tanqid istisno qilinadi, bu samarali ishlashni aynan guruh fikrini shakllanishini va "bahoni obyektivligini" ta'minlaydi. Guruhni ishi kommunikatsion tarmoqqa bog'liq emas, chunki komanda a'zolari axborot bilan bevosita almashinadilar. Aynan ushbu usullar taklif qilinayotgan qaror ancha tavakkal ekanini yorqin namoyish etadi. Bu o'z navbatida odamlarni "Ijodiy zararlanishi" bo'lib, buni natijasida pragmatizm yo'qoladi va loyihani murakkabligi hech kimni qo'rqitmaydi.

Ikkinchi guruh: o'zaro fikr almashinuvchi guruhlar usuli, nominal guruhlar usuli, "ha" va "yo'q" deb ovoz berish usuli-guruh bo'lib qarorlar qabul qilishni barcha sifatlarini namoyon bo'lishiga imkon bermaydi, bu esa muqobillarni baholash bilan bog'liq bo'lib, u ko'pincha ijodiylik va ko'p variantlilikni yo'qqa chiqaradi (konformizm tufayli). Lekin ular birinchi guruh usullari asosida ishlab chiqilgan variantlarni tahlil qilishda yaxshi natijalar beradi.

Uchinchi guruh: "Delfi", "635", kundaliklar Gordon, Dalbik usullari avvalgi usullarga o'xshab unchalik universal emas va ularni spetsifikatsiyasiga bog'liq holda uni qo'llash sohasi ancha cheklangan. "Delfi" va Dalbikning usullari yetarli darajada formallashtirilgan. Kundaliklar va Gordon usullari vaqtni talab qiladi, u ko'pincha yo'q. "635" usuli axborotni og'zaki almashinishini istisno qiladi.

Oxirgi to'rtinchi guruh – morfologik usul va yangi intellektual manbalarni qo'shish usullari – ular intuitiv ijodiy usullar hisoblanmaydi, ulardan foydalanish nisbatan tashqi odam muhitiga bog'liq bo'lib, bu o'z navbatida birgalikda ishlanish bir qator afzalliklarni pasaytiradi. Nazariy o'yin usulida imitatsion modeli katta rol o'ynaydi. Morfologik usul formallashtirilgan elementlarni o'z ichiga oladi, bu ijod va tavakkalni istisno qiladi. Ustozlik usuli va tashqi maslahatchilar bilan ishlash usuli komandani ruhini shakllantirish uchun vaqtni talab qiladi. Yangi intellektual manbalarni qo'shish usullari yetarli darajada qimmat. Jamoa bo'lib qaror qabul qilishni ba'zi usullariga to'liqroq murojaat qilamiz "Breynstorming" ("aqliy hujum"). Ushbu plandagi munozarani mohiyati shundaki, bunda jamoa bo'lib qaror ishlab chiqish uchun rahbar tamonidan guruh ikki qismga bo'linadi: "G'oyalar generatori" va "tanqidchilar".

Birinchi bosqichdagi munozarada "G'oyalar generatori" ishga tushadi, ularning vazifasi iloji boricha muhokama qilinayotgan muammoni yechishga nisbatan ko'proq takliflar ishlab chiqish.

Takliflar absolyut tarzda argumentlanmagan, fantastik bo'lishi mumkin, lekin asosiy shart bu bosqichda ularni hech kim tanqid qilmaydi. Maqsad – eng turlicha bo'lgan takliflarni iloji boricha ko'p massivini olish. Bu bilan bog'liq holda juda ham muhim masala ko'tariladi, ya'ni qaror qabul qilish chog'ida shaxsni tanqidiylik mohiyati. An'anaviy holda pozitsiyani tanqidiylik mohiyati. An'anaviy holda pozitsiyani tanqidiyligi ijobiy xususiyat sifatida qaraladi. suggestivlik ta'siriga qarshilik qiladi [20,21,22]. Lekin eksperimental tadqiqotchilar tomonidan shu aniqlanganki, bunda o'ta tanqidiylik guruh qarorini qabul qilish fazalarida ijobiy emas, balki salbiy rol o'ynaydi.

Ikkinchi bosqichda “tanqidchilar” ishga kirishadi, ular kirishadi, kelib tushgan takliflarni sortlarga ajratadilar: ya'ni butunlay yaroqsizlarini tashlab yuboradilar, bahslilarini chetga olib qo'yadilar, yaxshilarini qabul qiladilar. Takroriy tahlil qilishda bahsli takliflar muhokama qilinadi, va ulardan iloji boricha ko'prog'i ushlab qolinadi. So'nggi natijada guruh muammoni yechishni turli variantlarini yetarli darajada keng to'plamini oladi.

“635” usuli. Besh minut mobaynida oltita odam ko'rilayotgan masala bo'yicha uchtdan g'oyani aytishadi. So'ngra ularni fikri yozilgan varaqlar (masalan, soat strelkasi bo'yicha uzatib boriladi). Keyingi besh minut mobaynida har bir qatnashchi o'zini qo'shnilarini barcha takliflari bilan tanishishi va ularni detallashtirishi kerak. Shu tarzda har bir qatnashchi guruhni barcha g'oyalari ustida ishlab bo'lmaguncha davom etadi. Yarim soatdan keyin, maksimum sifatida 18 ta ishlab chiqilgan takliflar tayyor bo'ladi. Keyingi yarim soat ularni muhokama qilish, to'ldirish va eng yaxshi variantlarni tanlashga beriladi.

Sinektika usuli – turli g'oyalarni birlashtirish usuli. Asosiy g'oya birinchi bosqichda iloji boricha ko'p turli-tuman va qarama-qarshi, o'zaro bir-birini istisno qiladigan takliflarni ishlab chiqishdan iborat.

Buning uchun guruhda “sipektorlar” ajratiladi,

Ular munozaraga chorlaydi. Ular munozarani guruhning barcha ishtirokchilariga olib boradilar. Sinektorlar-guruhida o'z pozitsiyasiga ega bo'lgan eng faol odamlar.

Tajribada ularning optimal soni 5-7 kishi ekanligi aniqlangan. Ular munozarani boshlaydilar. Keyinchalik unga guruhning boshqa

aʼzolari ham qoʻshiladilar. Senektorlarning hozirgacha qarama-qarshi kirish fikrlarini juda aniq qilib ifodalaydilar: Guruh muammoni yechishda paydo boʻlgan ikkita chetki holatlarni koʻrish ularga har tamonlama baho berish kerak. Munozarani borishida ushbu chetki holatlar chiqarilib yuboriladi va qoniqtiradigan qaror qabul qilinadi. [23].

Toʻlov matritsasi-qarorlarning statistik nazariyasini usullaridan bittasi u maqsadga erishishda qaysi strategiya eng koʻp oʻlchamda yordam berishini aniqlash uchun foydali. Qarorni aqlga toʻgʻri keladigan cheklangan muqobillar soni bor boʻlganda va nima boʻlishi toʻliq aniq boʻlmaganda toʻlov matritsasi foydali; qabul qilingan qarorni natijalari aynan qanday muqobilga va aynan qanday hodisalar boʻlishiga bogʻliq. Undan tashqari *reli-vaqt* hodisalarni ehtimolligini obyektiv baholash va shunday kutilayotgan ehtimollikni qiymatini hisoblash imkoniyatiga ega boʻlish kerak. Guruh juda kam hollarda toʻliq aniqlikga yoki toʻliq noaniqlikga ega boʻladi. Qaror qabul qilishda barcha hollarda ehtimollikni yoki hodisani boʻlishini aniqlash qonunga toʻgʻri keladi.

Qarorlar daraxti oʻzgaradigan variantlardan eng yaxshi harakat yoʻnalishini tanlash uchun foydalaniladigan usul. Qarorlar daraxti qaror qabul qilish muammosini sxematik tasvirlash. Toʻlov matritsasiga oʻxshab qarorlar daraxti guruhga qarab, xarakterning turli yoʻnalishlarni ular bilan moliyaviy natijalarni hisoblashni ularga mos ravishda yozilgan ehtimollik bilan korrektilash, soʻngra asimmetriklarni taqqoslash imkoniyatini beradi. Kutilayotgan qiymatni konsepsiyasi qarorlarni daraxt usulini ayrilmas qismi boʻlib hisoblanadi.

“Odam mashinasi” dialogida qarorlar ishlab chiqarish. Bu usul oʻzi bilan birga evristik (odam tomonidan bajariladigan) formallashtirilgan (hisoblar mashinasi bilan boshqariladigan bosqichlarni koʻp marotaba tahqirlashidan iborat. “Odam mashinasi” dialogi jarayonida ishlab chiqarish vaziyatni oʻzgarishi boʻyicha, ketma-ket optimallashtirish usuli) ketma-ket muhim dalillar kiritiladi, yaʼni qarorning algoritmi oldindan, EHM da hisoblash jarayonida shakllantiriladi.

“Odam mashina” dialogidan samarali foydalanish quyidagi shartlarni bajarilishini koʻzda tutadi:

-muloqotning qulayligi (odamni mashinaga kirishi);

-odamni EHM bilan muloqat qilishiga psixolik tayyorligi;

-mashina bilan ishlash intellektini yetarli darajadali.

Ko'rib chiqilgan usullar qarorlarni tizimli tarzda qabul qilishga imkon beradi, ular ancha samarali hisoblanib, bu boshqarishning mukammal tizimlarida muhim rol o'ynaydi.

Morfologik usul va muammolar doirasida tahlil qilish usuli.

Usullar boshlang'ich muammoni yoki paydo bo'ladigan muammolarni komponentlarga ajratishni, so'ngra ularni bo'lib, muqobil usullarda amalga oshirishdan tashkil topgan. So'ngra barcha mumkin bo'lgan variantlar tuziladi. Ularning har biri uchun yoki eng istiqbolli variantlar uchun mos keladigan loyiha tuziladi.

O'xshashlik (analogiya) usuli. Usulning g'oyasi, paydo bo'lgan muammoni bo'laklarga ajratishdan va uni yechimini hayotning va fanning boshqa sohalaridagi g'oyalar yordamida yechishga harakat qilishdan iborat. O'z vaqtida, u asosida yangi – sinektika fani paydo bo'lgan. Texnik g'oyalar boshqa sohalarda, masalan, biologiyada bo'lsa, u *bionika* deb ataladi.

Analogiya usulidan foydalanish uchun keyinchalik sabablarni ajratib ko'rsatish zarur, boshqa soha mutaxassislari tushunadigan darajada iloji boricha faollashtirish zarur, bo'lajak qarorni maqsadini va obyektiv cheklashlarni tavsiflash, o'zini mazmuni bo'yicha unga yaqin bo'lgan yechimlar sohasini ajratish, tanlab olingan sohadan mutaxassislar komandasini tanlab olish, aqliy hujumni tashkil qilish va o'tkazish, olingan yechimlar variantlarni dastlabki soha uchun sharhlash va ulardan eng samarali va amalga oshirish mumkin bo'lganlarini tanlashdan iborat

Tasodifiy impuls. Bizning fikrlash apparatimiz o'ziga ko'payib boradigan eslab qoluvchi tizim ko'rinishida ishlaydi. E'tiborni hajmi cheklanganlik va assotsiativligi bilan farqlanadi. Boshqacha qilib aytganda, maxsus yaratilgan sharoitlarda miyaga ikkita signal barobar kimganda, ularni orasida mantiqiy zanjir o'rnatilishi kerak, u har bir signalni qabul qilishni sezilarli darajada o'zgartirishi mumkin.

Moderatsiyalar usuli. Qatnashchilar bor bo'lgan muammolarni qisqacha tavsifi bilan uchtdan kartochkalarni to'ldiradilar. Moderator olingan kartochkalarni joylaydi va navbati bo'yicha ularni mazmuni bilan tanishtiradi, hamda ularni ma'lum bir guruhlariga tegishli qilishni taklif qiladi. Agar qatnashchilarning fikri bir joydan chiqmasa, qaror ushbu kartochkaning muallifiga tegishli bo'ladi. Natijada barcha

muammolar guruhlarga (klasterlarga) bo'linadi. Klasterlarning har biri muhokama qilinadi. Imkoniyatlar taklif qilinadi: undan qandaydir muammolarni istisno qilish, qo'shish, bir nechta ancha mayda guruhlarga bo'lish yoki aksincha, ularni yiriklashtirish. Klasterlarning umumiy nomlari ishlab chiqiladi. Ularning nisbatan muhimligi aniqlanadi.

Yana qaror qabul qilishni yapon "kingisyo" (halqasimon) tizimi bor, uni mohiyati shundaki, ko'rib chiqish uchun yangilik loyihasi tayyorlanadi. U ro'yxat bo'yicha shaxslarga muhokama qilish uchun beriladi, ro'yxat rahbar tomonidan tuziladi. Har bir qatnashchi taklif qilingan qarorni ko'rib chiqishi va yozma ravishda o'z fikrini berishi kerak. Shundan so'ng, majlis o'tkaziladi. Ko'pincha rahbarga qaysi mutaxassisni fikri qisman tushunarsiz bo'lsa, shu mutaxassislar taklif qilinadi. Ekspertlar o'zlarining qarorlarini individual afzalliklariga mos ravishda tanlab oladilar. Va agar ular mos kelmasa, unda afzalliklar varianti paydo bo'ladi, u quyidagi tamoyillarning biri yordamida aniqlanadi:

-ko'pchilik ovozida – eng ko'p tarafdorlarga ega bo'lgan qaror tanlab olinadi;

-diktatorni – bitta shaxsni fikri asos sifatida olinadi (bu tamoyil harbiy tashkilotlar uchun xarakterli, hamda favqulotda holatlarda qaror qabul qilishda);

-Kurno tamoyili – koalitsiyalar bo'lmaganda foydalaniladi, ya'ni ekspertlar soniga teng bo'lgan qarorlar soni taklif qilinadi (bu holda shunday qarorni topishi kerakki, u har bir qatnashchini qiziqishini kamsitmasdan, individual ratsionallik talabiga javob bersin);

-Pareto tamoyili – bunda barcha ekspertlar butun yagona, bitta koalitsiyani tashkil qilsa (bu holda shunday qaror optimal bo'ladiki, bunda uni birdaniga guruhni barcha a'zolariga o'zgartirish qulay emas, chunki u ularning umumiy maqsadga erishishida birlashtiriladi);

-Ejvort tamoyili – agar guruh bir nechta koalitsiyalardan tashkil topgan bo'lsa, ularning har biriga qarorni bekor qilish noqulay bo'lsa, shunday holda undan foydalaniladi.

Koalitsiyalarni afzalliklarini bila turib, bir-biriga ziyon yetkazmasdan, optimal qaror qabul qilish mumkin.

Elektron majlislar – kompyuter texnologiyalariga mo'ljallangan, guruhli qarorlarni qabul qilish usuli. Kompyuterlar

qo'yilgan etaplarga o'n beshtaga yaqin odam o'tiradi. Displeylarga qatnashchilar muhokama uchun savollarni ko'radilar va o'zlarini javoblarini klaviaturada terib kiritadilar. Individual kommentariylar va har bir variant bo'yicha ballarning umumiy miqdori shu binoda joylashgan proyeksiyalanuvchi ekranda akslantiriladi. Mutaxassislarning fikricha, elektron yig'ilishlar, an'anaviylariga nisbatan, taxminan 55% tezroq o'tadi.

Nominal Guruhlar usuli – guruh bo'lib qaror qabul qilish usuli bo'lib, unda muhokama qilish ma'lum doiralarda cheklanadi. Guruhning barcha a'zolari ishtirok etadi, lekin ular bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda ishlaydilar. Guruh a'zolari bitta binoga yig'iladi. Ularga muammo tushuntiriladi. Muhokamadan oldin guruhning har bir a'zosi boshqalardan mustaqil holda o'zini g'oyalarini yozadi. Muammoni yechishda hech kim gapirmaydi, so'ngra guruhning har bir a'zosi navbati bilan (doira bo'ylab) Guruhga o'zlarini g'oyalarini beradi.

Bu barcha g'oyalar taqdim etilib, yozib bo'linguncha davom etadi. Shundan so'ng guruh, g'oyalarni muhokama qilishga kirishadi, so'ngra esa guruhning har bir a'zosi gapirmasdan va bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda taqdim etilgan g'oyalarni tasniflaydi. Natijada, jamlangan holda eng ko'p miqdordagi ball olgan g'oya tanlab olinadi.

Delfi usuli – bu nom Gretsiyadagi Delfi shahrining nomi, u yerda kelajakni oldindan aytib beradigan odamlar yashagan. Usulning boshqa nomlari: "Delfi usuli", "Delfi orakula usuli" O.Xolmer, T.Gordon va boshqalar (AQSH) usulni mualliflaridir. Usul ancha murakkab va vaqt bo'yicha uzoq hisoblanadi. U muammoni shakllantirish bosqichlarida va uni yechishni turli usullarini baholashda qo'llaniladi. Ekspert guruhlar qatnashchilari orasida anonim tarzda fikrlar bilan almashinish jarayonida yuqori darajada ishonchli bo'lgan kelishilgan axborotni olish maqsad hisoblanadi.

Delfi usuli – ekspertlar baholarini tizimli tarzda umumlashtirish usuli. U ishga barcha muammolar bo'yicha kompetent bo'lmagan, uni ba'zi tashkil etuvchilari bo'yicha kompetent bo'lgan ekspertlarni jalb qilishda qo'llaniladi. Ko'rilayotgan usulni qo'llashda situatsiyani to'liq ko'rib chiqish muhim hisoblanadi. Avvalo bir qator savollarni berish zarur:

-ekspertizani kim o'tkazadi va uni qatnashchilari qayerda bo'ladi;

- mavjud muammoni ko'rib chiqish jarayonida ular bilan muloqot qanday bo'ladi;

- qanday muqobil uslublar mavjud va ularni qo'llashdan qanday natijalar kutish mumkin;

Delfi usulidan foydalanilganda tayyorlab qo'yilgan quyidagi ish rejasini amalga oshirish zarur:

- ekspertlar fikrlarini to'plash va umumlashtirish uchun ishchi guruhni shakllantirish;

- muhokama qilinayotgan mavzu bo'yicha masalalarni biladigan mutaxassislardan ekspert guruhini shakllantirish;

- qo'yilgan muammoni ko'rsatib, masalalarni aniqlaydigan anketa tayyorlash; ifodalashlar aniq va bir xilda tushuniladigan, bir xil javoblarni taxmin qiladi;

- zarur bo'lganda protseduralarni takrorlashni ko'zda tutadigan, uslubga mos ravishda ekspertlar so'rovini o'tkazash;

- olingan javoblar keyingi bosqich savollarini shakllantirish uchun asos bo'lib hizmat qiladi;

- ekspert xulosalarini umumlashtirish va qo'yilgan muammo bo'yicha tavsiyalar berish. Birinchi tur argumentlashtirishsiz o'tkaziladi, ikkinchi turda boshqalardan farqli holda, javob argumentlashtirilgan bo'lishi yoki ekspert bahoni o'zgartirish mumkin. Baholar stabillashgandan so'ng, so'rov to'xtatiladi va ekspertlar tomonidan qilingan taklif yoki to'g'rilangan qaror qabul qilinadi.

Bu usul quyidagi qadamlarni xarakterlaydi :

- muammo aniqlanadi; guruh a'zolariga e'tibor bilan to'zilgan anketaga javob berish yo'li bilan mumkin bo'lgan yechimlar beriladi ;

- birinchi anketaga guruhning har bir a'zosi bog'liq bo'lmagan va anonim holda javob beradi;

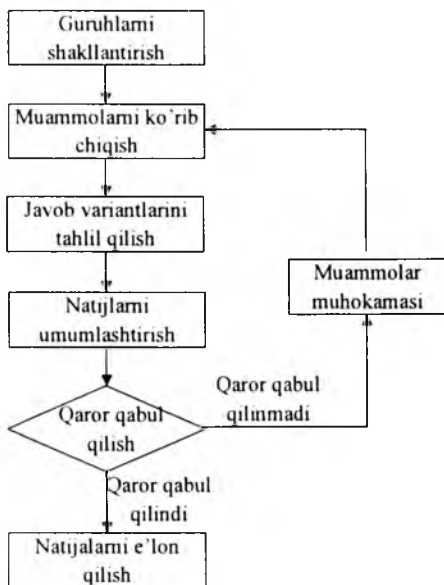
- birinchi anketaning natijalari yig'iladi, shifrdan yechiladi va umumlashtiriladi ;

- guruhning har bir a'zosi natijalarni nusxasini oladi;

- ekspertlar natijalarni ko'rib chiqqandan so'ng, yana o'zlarining qarorlarini berilishi so'raladi;

- qarorlarning yangi variantlari beriladi yoki dastlabki pozitsiyada o'zgarishlar paydo bo'ladi;

- ko'rsatilgan qadamlar zarur bo'lsa, shunda qaytariladi.



6.5.1-rasm. Delfi usuli bo'yicha ekspertiza o'tkazish.

Usulning afzalliligi bir-biridan uzoqda bo'lgan ekspertlarning fikrlarini bog'liq emasligi, guruh a'zolarining fikrlarini mustaqilligi, muammoni tinch va obyektiv tarzda o'rganishdan iborat.

Usulning kamchiligi: baholarning juda ham subyektivligi, qarorlar qabul qilish vaqtining uzoqligi va ekspertizani tayyorlash va o'tkazish uchun talab qilinadigan tashkiliy kuchlarning zarurligi.

Aqliy hujum usuli bilan qaror qabul qilish

Muammoni oddiy yo'l bilan yechish mumkin bo'lmasa, bunday holda ko'pincha aqliy hujum usulidan foydalaniladi.

Aqliy hujum – bu yangi g'oyalarni guruhli jamoa tarzda hosil qilish. Undan turli sohalarda – ilmiy texnik, boshqaruv, ijodiy masalalardan tortib, murakkab ijtimoiy yoki hayotiy situatsiyalarda yechim variantlarini qidirib topishgacha foydalaniladi. Bunda ko'rsatish jarayonini, g'oyalar, takliflar ularni kritik baholash va tanlab olish jarayonidan ancha uzoq.

Aqliy hujumni amalga oshirish variantlari turlicha. Bitta holda aniq bir tor sohaning mutaxassislaridan guruh yig'iladi, boshqa holda esa turli soha mutaxassislarini birlashtirish zaruriyati paydo bo'ladi. Guruhga turli sohada faoliyat olib borayotgan odamlar taklif qilinadi.

Qatnashchilarning optimal miqdori 5-10 kishi. Bundan tashqari fasilitator-guruh muhokamasi jarayonini olib boradigan va qo'llab quvvatlaydigan odam.

Aqliy hujum jarayoni ishni ma'lum bir qoidalarini taxmin qiladi: hech qanday tanqid; iloji boricha ko'proq g'oyalarni to'plash muhim - ular real bo'lmasa ham; metofardan foydalanish, shunga o'xshash boshqa situatsiyalar bilan parallellar o'tkazish.

Ish faqat alohida, izoliyatsiyalangan binoda bo'lsa samarali bo'lishi mumkin. Qatnashchilarni tengligini tanlash maqsadga muvofiq.

G'oyalar istalgan qulay usul bilan operativ tarzda yozib borilishi kerak. Olib boruvchi ish vaqtini nazorat qilishi kerak. Bitta muammoni qo'yilishida – generatsiyalash jarayonini optimal vaqti 40 minut. Bir nechta masalalarni yechish zarur bo'lganda har biri uchun taxminan 15 – 30 minut.

Yaxshi ijodiy qobiliyatli, yuqori kreativlikka ega bo'lgan, fikrlash jarayonlarini tezligi katta bo'lgan, yangi situatsiyalarga yengil qo'shila oladigan, moslashuvchan, e'tiborni bitta aspektdan boshqasiga tez ko'chirish qobiliyatiga ega bo'lgan odamlarni jalb qilish maqsadga muvofiq. O'rganib kelingan qoidalardan, psixologik cheklanishlardan chetga chiqishni bilish har bir aqliy hujum qatnashchilarini imkoniyatlarini kengaytirishga imkon beradi.

Axborotga juda nozik assotsiyalariga sezgirliги yuqori bo'lgan odamlar kutilmagan, original, ba'zida esa ijodiy topilmalarni produsserlaydi.

Aqliy hujumni olib boruvchilarni boshqa odamlar tomonidan bildirilgan g'oyalarga nisbatan yuqori ijodiy faollikka va yaxshi fazilatlariga ega bo'lgan odamlar orasidan tanlab olinadi [27]. Undan tashqari, olib boruvchi o'zida generatorlik qobiliyati va g'oyalar analitigi kabi qobiliyatlarni o'zida mujassam qilishi kerak. Uning muhim sifatlaridan – reaksiyani tezligi, assotsiativ aloqalarning boyligi, yaxshi analitik qobiliyati bilan bir qatorda yumorga sezgirliги bo'lishi kerak.

Olib boruvchiga quyidagilar yuklanadi:

- aniq bir masala bilan ishlash uchun aqliy hujumni qo'llash maqsadga muvofiqligi to'g'risida;
- qatnashchilarni tanlab olishda;
- qatnashchilarni ishlashni zarur bo'lgan turlariga qatnashchilarni o'qitish;
- g'oyalarni generatsiyalash bosqichida qatnashchilarning masalasi va shaxsiy sifatlarini hisobga olib, muammoni ifodalash.

G'oyalarni klassifikatsiyalash, aqliy hujumni natijalarini tahlil qilish.

"Aqliy hujum" usulini prinsiplari: maqsad yoki masalalar va cheklanishlarni aniq ifodalash, qatnashchilarga maksimal erkinlikni ta'minlash, qatnashchilar tarkibini yaxshilab shakllantirish va ularga psixologik kamfort yaratib berish; takliflarni ajrata bilish va munozarani borishini yo'naltirish (grek usuli).

Aqliy hujumni o'tkazish amalini quyidagi modifikatsiyalari mavjud

Shaxsiy aqliy hujum usuli

Barcha rollarni (fasilator, fiksator, g'oyalarni generatori va baholovchi) bitta odam bajaradi. Seansning muddati 3-10 minut. G'oyalarni baholash kelishib olingan bo'lishi kerak. Kamchiligi – sinergetik samaraning yo'qligi. Afzalligi – aqliy hujumni operativligi.

Yozma aqliy hujum. Qatnashchilar turli joylarda bo'lganda foydalaniladi. Ekstra – klassdagi mutaxassislarni to'plab olish imkoniyati bo'ladi. Kamchiligi – sinergetik samaraning yo'qligi jarayonni davomiyligi.

To'g'ridan-to'g'ri aqliy hujum usuli. Aqliy hujumning klassik usullardan farqi (maqsadlar, genlanishlar va h.k.) muammoni ifodalash jarayoni ham aqliy hujum usuli yordamida o'tadigan ish bilan birga qatnashchilarning tarkibi o'zgarishsiz bo'ladi.

Ommaviy aqliy hujum usuli. Global muammolarni ham hal qilishda foydalaniladi. Komponent guruh tuziladi, u boshlang'ich masalani ikki qismga bo'ladi. So'ngra har bir blok bo'yicha aqliy hujum usuli o'tkaziladi. Keyingi bosqich – guruh rahbarlarini yig'ish va barcha g'oyalarni muhokama qilish. Ikkita juft aqliy hujum usuli. G'oyalarni tanqid qilish. Bosqichlari: to'g'ridan-to'g'ri aqliy hujum,

muhoqama qilish, g'oyalar berishni davom ettirish. G'oyalarni baholab aqliy hujum usuli. Bu ikkita individual va teskari usulni birlashtirish usuli. O'ta tez muammolarni yechishda bajariladigan qarorlarni yechish uchun foydalaniladi. Qatnashchilarga juda yuqori talablar klassifikatsiyasi, o'zini tuta bilishi, aqliy hujumda qatnasha olishi. Bosqichlari: g'oyalarni generatsiyalash, qatnashchilarni g'oyalar variantlari va komentariylari bilan tanishtirish va variantlarni baholash, bir nechta variantlarni ularni afzalligi va kamchiliklarni ko'rsatib tanlash, yaxshi variantlar ro'yxatini toraytirish, bunda ularning afzal va kamchilik tomonlarini aniqlash, yaxshi variantlarni prezentatsiya qilish va ularni jamoa tarzda ranglarga ajratish. Kamchiliklari: nagruzkani to'plami va komfliktligi. Afzalliklari: "Yagona aql" samarasini olib tashlash, konstruktiv tanqidni tashkil qilish imkoniyati. Teskari aqliy hujum. Ko'p bosqichlardan (elementlardan) tashkil topgan loyihalarni amalga oshirishda foydalaniladi. Bitta bosqich muvaffaqiyatsiz bo'lsa-hamma jarayon buziladi. Demak, har bir elementni to'g'riligiga ishonch hosil qilish – eng muhimdir. Aqliy hujumda barcha kamchiliklarni maksimal darajada aniqlash: bor bo'lgan, kelajakda potensial va bo'lishi mumkin bo'lgan kamchiliklar ro'yxatini tuzish: ularni ranglash.

Karabel maslahat usuli. Iyerarxiyaga mos ravishda fikrlar bildiriladi. Kamchiligi: o'zini navbati o'tgandan keyin g'oya paydo bo'lsa, uni aytilmaydi.

G'oyalar konferensiyalari usuli. Bu aqliy hujum usuli, lekin ancha erkin holda o'tadi. "Brengstorming" usuli ko'pincha turli texnik yechimlarni ishlab chiqishda keng tarqalgan. Lekin, usulni ba'zi bir tomonlari qayta baholangan. Bu o'z navbatida uni imkoniyatlariga nisbatan skentitsizmni tug'diradi. Aniq situatsiyalarda u ma'lum bir foyda keltiradi [24]. Aqliy hujum qachonki barcha mumkin bo'lgan muqobillar tanqidiy nuqtai nazardan qaralganda g'oyalarni generatsiyalash jarayoni sifatida qo'llaniladi. Konsepsus usuli bilan qaror qabul qilish, bunda shunday qaror qabul qilinadiki, uni jarayonni barcha qatnashchilari ma'qullaydi. "Konsepsus" atamasi odatda qaror qabul qilish jarayonini belgilash uchun hamda xususiy qarorda ham qo'llaniladi. Shunday qilib konsepsus – qaror tushunchasi jarayonni o'zi bilan uzviy bog'liq. Boshqa usullarga o'xshamagan qaror qabul qilish usulidan ko'p hollarda foydalaniladi. Ba'zi bir mamlakatlarda

ovoz berishga eng oxirgi usul sifatida murojaat qilinadi konsepsus esa qaror qabul qilishni afzal usuli bo'lib hisoblanadi.

Konsepsus guruh qarorlarini qabul qilish sifatida quyidagiga intiladi: qo'shiluvchi (iloji boricha ko'proq qatnashchilar qatnashishi kerak), umumiy (konsepsus barcha qaror qabul qiluvchilarni faol qatnashishini talab qiladi), birgalikda (qatnashchilar guruh uchun, uni barcha a'zolar uchun eng yaxshi qarorga kelishga harakat qilishlari zarur), teng huquqli guruhning barcha qatnashchilari jarayonga bir xil xissalarini qo'shishlari kerak, hamma taklif kiritishi uchun uni to'ldirishga, uni blokirovka qilishga bir xil imkoniyatga ega. (qatnashchilar hamma uchun ma'qul bo'lgan samarali qarorga kelishiga intiladilar, kompromiss va boshqa usullardan foydalanadilar).

Konsensus usuli bilan qaror qabul qilish jarayoni unchalik formallashtirilmagan bo'lgani uchun, uni qo'llash usuli turli guruhlarda farq qiladi. Shunga qaramasdan hamma hollar uchun umumiy asosiy sxema mavjud.

Kun tartibi belgilangandan so'ng va umumiy qoidalar alohida qabul qilgandan so'ng, kun tartibini har bir punkti navbatga qo'yiladi. Ko'pincha, kun tartibi e'lon qilingandan so'ng, har bir qarorni qabul qilish quyidagi sxema bo'yicha olib boriladi:

- punktni muhokama qilish (barcha fikrlarni bilish va ushbu mavzu bo'yicha axborot olish maqsadida muhokama o'tkaziladi; muhokama vaqtida ko'pincha guruhning asosiy kayfiyati va potensial takliflar aniqlanadi;)

- takliflarni ifodalash: muhokamadan kelib chiqib, (masalani yechish taklifi) bildiriladi;

- konsensusga erishish (guruhning fasilitatori taklif bo'yicha konsensusni ta'minlaydi; guruhning har bir a'zosi takliflar bilan o'zini roziligini aniq belgilashi kerak, bunda muhokamaga qo'shilmaslik yoki hech narsa qilmaslik rozilik sifatida baholanishi mumkin, shuning uchun bu hollar bo'lmasligi uchun);

- muhokama qilinayotgan taklifga munosabatni tadqiq qilish (agar konsensusga erishilmagan bo'lsa, har bir taklifga rozi bo'lmagan qatnashchi o'zini bu taklifga munosabatini bildiradi, shu tarzdan boshlab, o'zini shubhasini boshqalarga bildiradi);

- taklifni o'zgartirish (qabul qilinayotgan qarorga munosabatga qarab, taklif korrektlanadi; so'ngra guruh yana chaqiriqqa

(konsensusga) qaytadi, vassikl barchani qanoatlantiradigan qaror topilguncha takrorlanadi).

Konsensus usuli bilan qaror qabul qilish jarayonini samaradorligini oshirish uchun, bir nechta funksiyalarni kiritish qulay bo'ladi [25]: fasilitatorni, taymkiperni, empadni va sekretorni (nout-taykerni).

Fasilitatorning funksiyasi konsensusga erishib qaror qabul qilish jarayonini yengillashtirish. Fasilitator ajratilgan vaqtga mos ravishda kun tartibini savolidan savoliga o'tishni birgalikda qaror qabul qilish prinsipini bajarilishi kuzatiladi, hamda qo'shimcha munozarani taklif qiladi. Ba'zi guruhlar ikkita fasilitatordan foydalanadilar bu harakat ko'pincha markazlashishdan chetlashish va agar fasilitator o'zini shaxsiy pozitsiyasi bilan muhokamada qatnashmoqchi bo'lsa, o'zini vazifasini boshqa odamga berish imkoniyatiga ega bo'ladigan tizimni yaratish kerak.

Taym-kiperning vazifasi – kun tartibidagi masalalarni muhokamasi ma'lum bir vaqtda o'tishini ta'minlash.

Empad yoki bu funksiyani ko'pincha “vayb-votch” deb ataladi, u majlisni “emotsional klimati – monitoringgiga” javob beradi. U bo'lishi mumkin bo'lgan kanorliklarni oldini olishi, hamda destruktiv holatlarga qarshilik qilishi kerak.

Nout-tayker yoki sekretarning funksiyasi – muhokamalarning asosiy momentlarini yozib borishdan iborat.

6-bob bo'yicha nazorat savollari

1. Ko'p mezonli chiziqli dasturlash masalasini Parito – optimal yechimi deb nimaga aytiladi?
2. Qoniqarli qarorga “nomzod” qidirib topish uchun nima qilish zarur (u ham Parito-optimal bo'lishi uchun)?
3. Minimaks masalasini lokal optimal bitta yagona yechimi qanday farazlarni qoniqtirishi kerak?
4. To'plam Parito-optimal yechimlardan qarorlarni qidirish uchun interfaol algoritmi qanday qadamlardan tashkil topadi?
5. Guruh bo'lib qarorlarni qabul qilish muammolarni ko'rib chiqishda e'tiborni nimaga qaratish kerak?

6. Masalani noaniq qo'yilishida optimallashtirish va qaror qabul qilish masalasini yechishda paydo bo'ladigan asosiy qiyinchiliklar nimadan iborat?

7. Guruh bo'lib qaror qabul qilish jarayoni nechta bosqichdan iborat?

8. Guruh bo'lib qaror qabul qilishni afzalliklarini aytib bering.

9. Guruhli qarorni ishlab chiqish strategiyalarini aytib bering.

10. Natijaviy guruhli qarorni ishlab chiqishning qanday usullari mavjud?

11. "Breynstorming" nima?

12. Delfi usulidan foydalanilganda, qaror qabul qilishdan oldin qanday protseduralar zarur?

13. Qanday sharoitlarda noaniq chiziqli dasturlashni qo'llash zarur?

14. Noaniq chiziqli dasturlash masalalarini yechish uchun qanday usullar mavjud?

15. Parito-optimal sohaga ta'rifi bering.

16. Bellman-Zoda qarorlarni qabul qilish usulining mohiyatini tushuntiring.

6-bobga doir adabiyotlar

1. Мелькумова Е.М. О решении некоторых задач нечеткого математического программирования / Вестник Воронежского государственного университета. Серия: «Системный анализ и информационные технологии». №2. 2009.
2. Семенов Б. А., Леденева Т. М. Многокритериальная оптимизация на основе нечеткой логики / Системы управления и информационные технологии. – Воронеж: Науч. кн., 2009. - №1(35).
3. Aliev, R. A., Fazlollahi, B. and Aliev, R. R. (2004) Soft Computing and its Application in Business and Economics. (Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg).
4. Aliev R.A., Mamedova G.A., Aliev R.R. Fuzzy Sets Theory and Its Application. -Tabriz: Tabriz University Press, 1993.- 244 p.
5. Aliev, R. A. and Aliev, R. R. (2001) Soft Computing and Its Application. (World Scientific, New Jersey, London, Singapore, Hong Kong).
6. Юсупбеков Н.Р., Игамбердиев Х.З., Гулямов Ш.М., Марахимов А.Р., Зарипов О.О. Нечетко-множественные модели задач принятия решений, -Т.: Вестник ТашГТУ, №4, 2013. -С. 19-25.
7. Габасов Р., Кириллова Ф.М. Методы оптимизации. – Мн.: Изд-во

- БГУ, 1981.
8. Вошинин А.П., Сотиров Г.Р. Оптимизация в условиях неопределенности. – М.: Изд-во МЭИ, 1989.
 9. Bellman R.E., Zadeh L.A. Decision making in a fuzzy environment // Management Sci. 1970. Vol. 17. - № 1.
 10. http://sibac.info/files/2012_01_18_Nauka_i_Tehnika/10_starodu
 11. <http://iasa.org.ua/lections/iso/9/9.8.htm>
 12. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, расчет и приложения. Пер. с англ. -М.: Радио и связь, 1992.
 13. <http://inftech.webservis.ru/it/conferense/scm/2000/session1/demenkov.htm>
 14. <http://works.doklad.ru/view.qgFrmV9jGbI.html>
 15. Т. Саати. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1993.
 16. Карпов А.В. Структурно-функциональная организация процессов принятия групповых решений / А.В. Карпов // Вопросы психологии. - 2007. - №1. – 264 с.
 17. Клегг Б. Как мотивировать людей. – СПб., 2007. -315 с.
 18. Цыгичко В.Н. Руководителю – о принятии решений. -М., 2006. -198 с.
 19. Эдлоус М., Стенсфилд Р. Методы принятия решений / Пер. с англ., Под ред. И.И.Елисеевой. – М., 2009. -231 с.
 20. Литвак Б.Г. Особенности менеджмента персонала. Учебник. – М.: Дело, 2004. – 341 с.
 21. Бодди Д., Пэйтон Р. Основы менеджмента: Пер. с англ. - СПб., 2007. -415 с.
 22. Иванов А.И., Малявина А.В. Разработка управленческих решений: Учебное пособие. – М.: МАЭП, ИИК Калита, 2008. – 205 с.
 23. Фатхутдинов Р.А. Разработка управленческого решения. -Москва, 2005. – 542 с.
 24. Иванилов Ю.П., Лотов А.В. Математические модели в экономике. – М.: Наука, 1979.
 25. Никуленко Т. Г. Психология менеджмента. -Ростов на Дону: Феникс, 2007.

7.1. Murakkab ko'p o'lchamli texnologik obyektlarni boshqarish tizimlarini kompleks va noaniq rostlagichlari

Murakkab ko'p o'lchamli texnologik obyektlarni boshqarishning matematik modellarini ishlab chiqish tizimning rostlanadigan va g'alayonlantiruvchi parametrlari dinamikasi bilan bog'liq [1,2]. Masalan, bug' generatoridan keyin o'ta qizdirilgan bug'ning haroratini rostlash texnologik uchastkasidagi uzatish funksiyasidagi vaqt doimiysi va uzatish koeffitsiyenti yuklamaga bog'liq ravishda 2-3 marta o'zgaradi. Ushbu sinfdagi obyektlar uchun tipik rostlagichlarning sozlash parametrlarini ma'lum bo'lgan usullar bilan hisoblash obyektga ta'sir qilayotgan shovqinlar va g'alalayonlar tufayli ishga tushirish-sozlash ishlarida va obyektning nostatsionar ishlash sharoitlarida korreksiyalashni talab qiladi. Rostlagichlarni sozlashni avtomatik tarzda korrekktirovka qilishni va ularni sozlashda optimal parametrlarini tanlashga imkon beradigan yetarli miqdordagi usullar mavjud. So'nggi vaqtlarda tarkibiga Kalman filtrlri kuzatuvchi kiradigan kompleks rostlagichli avtomatik rostlash tizimlari keng tarqaldi. Bular jumlasiga noaniq rostlagichli avtomatik rostlash tizimlari (ARS) ni kiritish mumkin. Murakkab texnologik obyektlarni boshqarishda kompleks va noaniq rostlagichlarni ishlash samaradorligini taqqoslab tahlil qilamiz.

ARS ni modellash qulay bo'lishi uchun NCD Simulink (Matlab) dasturiy paketidan foydalanamiz. Rostlash obyekti (Plant and Actuator) (7.1.1-rasm) ketma-ket ulangan bloklarni: cheklash funksiyali nochiqizlikni (Saturation), kuchaytirish koeffitsiyentini dinamik tarzda cheklovchi nochiqizlik (Rate Limiter) bloki va chiziqli dinamik zveno (Plant) ni ifodalaydi, ularning holat o'zgaruvchilari orqali tavsifi quyidagi ko'rinishda berilgan:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

bu yerda $x(t)$ – holat ustuni vektori; A – obyektning matematik tavsifi koeffitsiyentlari matritsasi; B – kirish matritsasi; $u(t)$ – boshqarish signali; y – chiqish vektori; C – chiqish matritsasi; D – kirishni

bevosita tizimni chiqishiga ta'sir qiluvchi matritsa ($D=0$ deb qabul qilinadi).

Tizimning holat tenglamasi yoyilgan holda quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} -1,03 & 0,98 & -0,94 & 0,09 \\ -1,29 & -1,09 & 2,89 & 4,79 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 6,64 \end{bmatrix}, \\ \dot{x} &= \begin{bmatrix} 0,18 & -3,82 & -2,08 & -0,98 \\ 0,41 & -4,16 & 2,54 & -1,42 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} u, \\ y &= [-1,78 \quad 1,14 \quad 0 \quad -1,03]x. \end{aligned}$$

Tizimning boshqariluvchanlik matritsasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$V = [B; AB; A^2B; \dots; A^{n-1}B].$$

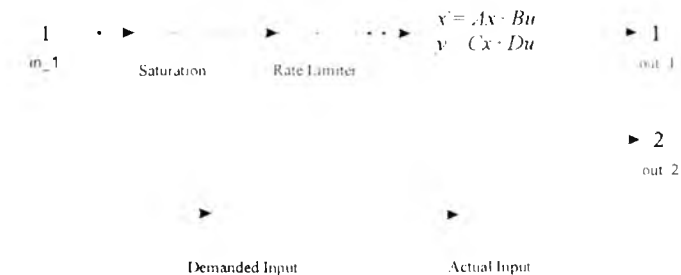
Boshqariluvchanlik matritsasi Matlabda `ctrb` funksiyasi yordamida qurilishi mumkin: $V = \text{ctrb}(A, B)$, determinant esa $\det(V)$ funksiyasida aniqlanadi. Matritsaning determinanti $V = 30800$ va noldan farqli bo'lgani uchun tizim boshqariluvchan bo'ladi. Modal boshqarish usulida holat vektori X ning barcha komponentlari o'lchanishi mumkin deb taxmin qilinadi. Ammo amaliyotda ba'zi bir komponentlar quyidagi ikkita sabab bo'yicha noma'lum bo'lishi mumkin:

- o'lchash asboblari yetarli darajada bo'lmasligi;
- X vektorining ba'zi bir komponentlari fizik ma'noga ega emasligi.

Ammo, agar tizim kuzatuvchan bo'lsa, u holda X vektorini barcha komponentlari Y vektorini kuzatilishi bo'yicha tiklanishi mumkin. A va C matritsalar bilan tavsiflanadigan tizim faqat berilgan boshqarish $u(t)$ da chiqish o'zgaruvchisi $y(t)$ kuzatish natijasida boshlang'ich holat $X(0)$ ni aniqlaganda va so'nggi vaqt T mavjud bo'lganda kuzatiluvchan bo'lish mumkin. Kuzatiluvchanlik matritsasining determinanti $N = [C; CB; C^2B; \dots C^{n-1}B]$ noldan farqli bo'lganda tizim bo'ladi. Kuzatiluvchanlik matritsasi *obsv* yordamida qurilishi mumkin, u ham $N = \text{obsv}(A, C)$ komandasi yordamida chaqirilishi mumkin, matritsaning determinanti $N = -20057$ bo'lib, u noldan farqli, ya'ni tizim kuzatiluvchan va kalman filtri samarali bo'ladi [2].

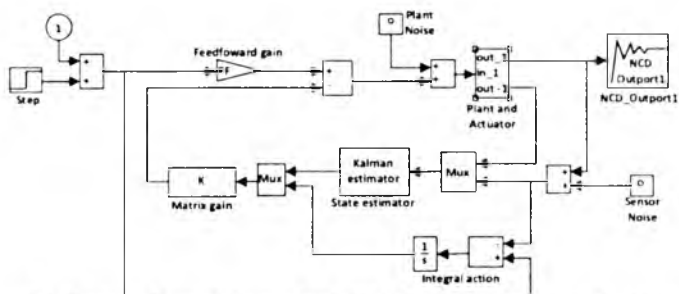
Ishlab chiqarish sharoitlarida kompleks rostlagichni sozlash (7.1.2-rasm) oddiy masala emas, chunki rostlagich murakkab strukturaga ega:

uning tarkibiga: I-rostlagich (Integral action), Kalman filtri (Kalman estimator), hamda matritsali kuchaytirish koeffitsiyenti K ga ega ko'p o'lchamli proporsional zveno (Matrix gain) kiradi.



7.1.1- rasm. Rostlash obyekti.

Tezkorlikni ta'minlash uchun tizimga qo'shimcha ravishda ta'siridan to'g'ri aloqa (*FF* kuchaytirish koeffitsiyentli *feed forward gain* proporsional zveno) kiritilgan. Tashqi g'alayonlar ta'siri modelga shovqin signallar (*Plant Noise*) va (*Sensor Noise*) ko'rinishida ko'rsatilgan. Topshiriq ta'siri sifatida birlik impuls qabul qilingan.



7.1.2-rasm. Kompleks rostlagichli ART ning strukturaviy sxemasi.

Tizimni sintez qilish K va FF kuchaytirish koeffitsiyentlarining eng yaxshi qiymatlarini topishga asoslanadi, bunda o'tish jarayoniga quyidagi talablar qo'yiladi:

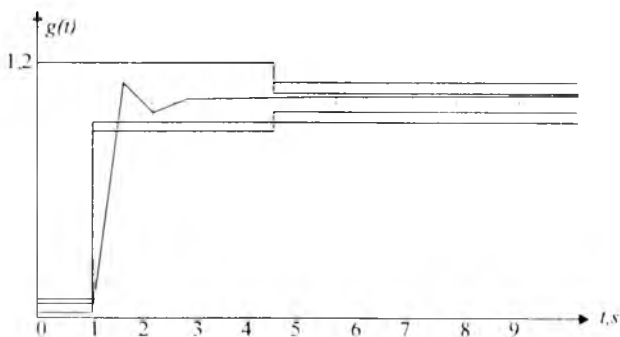
- o'ta rostlanish qiymati 20% dan oshmaydi;
- o'rnatilish vaqti 2 sekunddan ortiq emas;
- rostlash vaqti 4 sekund.

NCD blokida modellash natijasi 7.1.3- rasmda ko'rsatilgan.

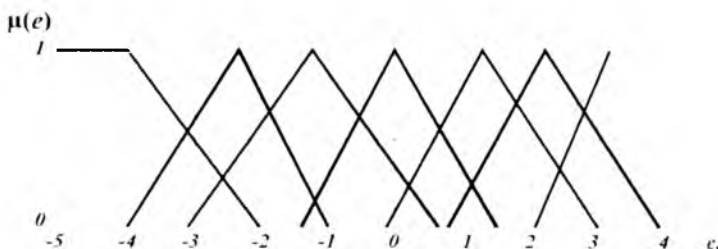
Optimal parametrlarning hisoblangan qiymatlari quyidagicha: $K = [-1.0663 \ 0.9551 \ 0.0086 \ -0.2193 \ 0.0614]$, $FF = 1.2816$, ART ning o'tish jarayoni berilgan mezonlarni to'liq qanoatlantiradi.

Noaniq rostlagichning ishlash samaradorligini tahlil qilish uchun fazzifikatsiyalash bosqichlarini va qoidalar bazasini yoki lingvistik o'zgaruvchilar jadvalini tuzamiz.

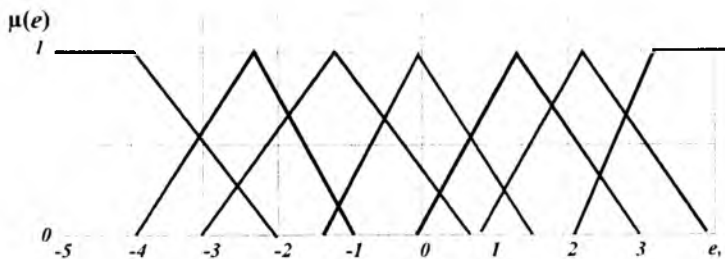
Bizlar tomonimizdan noaniq to'plam xatoligi $e(t)$, o'zgarish tezligi $e'(t)$ va boshqarish ta'siri $u_u(t)$ lar aniqlangan. Yuqorida ko'rsatilgan noaniq to'plamlar lingvistik til yordamida yozilgan, bunda lingvistik o'zgaruvchilar (LO') yoki term-to'plamlar quyidagilar: (NB – manfiy katta, NS – manfiy o'rtacha, NM – manfiy kichik, Z – nol, PS – musbat o'rtacha, PM – kichik musbat, PB – katta musbat) (7.1.4. – 7.1.6- rasmlar).



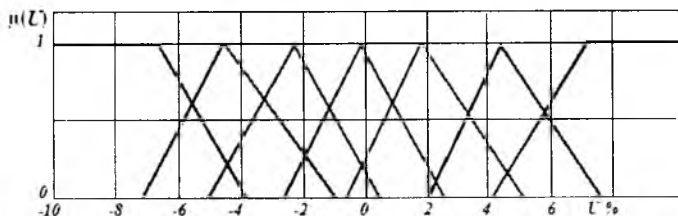
7.1.3-rasm. Kompleks ART ning topshiriq kanali bo'yicha o'tish jarayoni.



7.1.4-rasm. LO' "xatolik" ning tegishlilik funksiyalari.



7.1.5- rasm. LO "xatolik hosilasi" tegishlilik funksiyalari.



7.1.6- rasm. LO "boshqarish ta'siri" tegishlilik funksiyalari.

Noaniq rostlagichlarning qoidasi quyidagi mulohazalar asosida tuzilgan (7.1.1- jadval):

AGAR $e(t)$ NM, VA $e'(t)$ NM, u holda $U_e(t)$ NM aks holda;

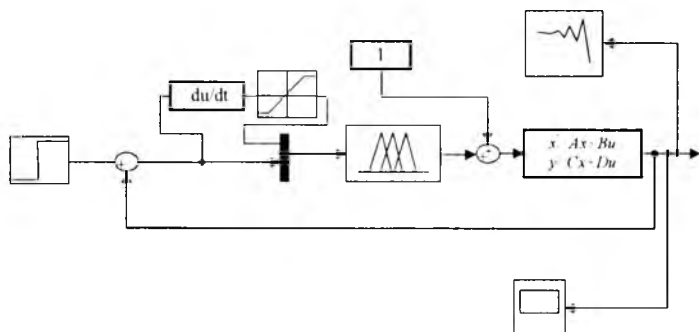
AGAR $e(t)$ NB, VA $e'(t)$ NB, u holda $U_e(t)$ NB va h.k.;

7.1.1-jadval

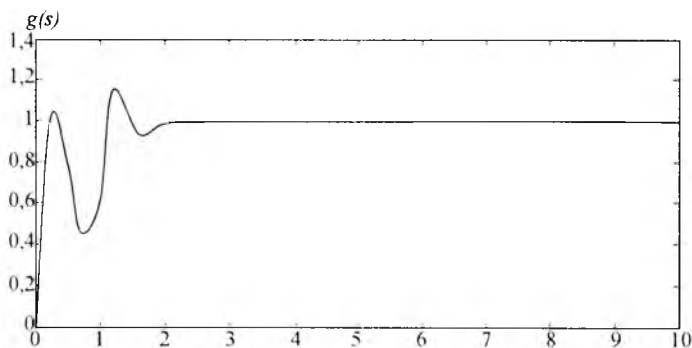
Rostlagichlarning turi

Og'ish $e(t)$	Og'ishdan olingan hosila, $e'(t)$						
	NB	NS	NM	Z	PM	PS	PB
	$U_e(t)$						
NB	NB	NB	NB	OS	Z	PM	PS
NS	NS	NS	NS	NM	PM	PM	PS
NM	NS	NM	NM	Z	Z	PM	PS
Z	NS	NM	NM	Z	PM	PM	PS
PM	NM	NM	Z	Z	PM	PM	PS
PS	NM	NM	Z	PM	PS	PS	PS
PB	NS	NM	Z	PS	PS	PB	PB

Rostlash obyekti (Plantand Actuator) bilan noaniq rostlagichning qoidalari bazasi samaradorligini approbatsiya qilish Simulink dasturida o'tkazilgan (7.1.7-rasm). O'tish jarayoni 7.1.8-rasmda keltirilgan.



7.1.7- rasm. Noaniq rostlagich (Fuzzy Logic Controller) ga ega ART ning strukturaviy sxemasi



7.1.8-rasm. Vazifa kanali bo'yicha noaniq ART ning o'tish jarayoni.

7.1.3- va 7.1.8-rasmlardan ko'rinib turibdiki, obyektning parametrlari o'zgarmas qiymatlar holatida ikkala rostlash tizimi bir xilda yaxshi ishlaydi, buni 7.1.3- va 7.1.8- rasmlardan ko'rish mumkin (matritsa A ning elementlari doimiy). Aniqlanmagan holatda kompleks va noaniq ART ni samaradorligini tekshirish uchun aniqlanmagan faktorni kiritish bilan tajriba o'tkazamiz, bunda A matritsaning barcha elementlari o'zini nominal qiymatlaridan yarimdan ikkigacha o'zgaradi (7.1.9- rasm).

beriladi, bu yerda aniq topshiriqli $g(t)$ taqqoslash elementi 3 da taqqoslanadi. Xatolik $\varepsilon(t)$, agar kerak bo'lsa uni hosilasi $e'(t)$, $e''(t)$ ($\sum e_i(t)$) xatolikdan integral, aniq signallar ko'rinishida kontroller (yoki rostlagich) 2 ni kirishiga beriladi. Oxirgisi o'z ichiga aniq signallar $e(t)$, $e'(t)$, $\sum e_i(t)$ ni fazzifikator 4 ni va boshqalarni noaniq to'plamga $e^*(t)$, $e^{*'}(t)$, $\sum e_i^*(t)$ va boshqalarni transformatsiyalash uchun mo'ljallangan.

Chiqarish mexanizmi 5, ushbu noaniq signallarni olib ma'lumotlar bazasidan foydalanib, bu yerda ushbu signallarni tavsiflovchi, noaniq to'plamlarga taaluqli funksiyalar saqlanadi. va bilimlar bazasi, bu yerda rostlanishning noaniq qoidalari saqlanadi, kontroller $U^*(t)$ ni noaniq chiqish signalini olish uchun mantiqiy xulosani amalga oshiradi. Boshqarilayotgan jarayonni kirishiga ijro mexanizmining rostlash organi orqali aniq boshqarish signali U kirgani uchun, element (defazzifikator) 7 noaniq boshqarish U^* ni aniq boshqarish signaliga transformatsiyalashni amalga oshiradi.

NBT ning noaniq ma'lumotlar bazasini loyihalash quyidagilar: diskretlashtirish, universumni normallashtirish, kirish va chiqishlar fazosini noaniq ajratishni, hamda noaniq to'plamlar funksiyalarni taaluqli funksiyalarni aniqlashni o'z ichiga oladi [3, 4].

Universumni diskretlashtirishda shkalalashni amalga oshirish zarur, u o'lgangan signallar qiymatlarini diskretlashgan universum qiymatlariga o'zgartiradi. Kvantlash sathini tanlash aprior bilimlar bilan bog'liq.

Faraz qilamiz, noaniq kontroller quyidagi turdagi rostlash qoidasiga ega:

I_1 : AGAR I_1 MAVJUD A , va e_i^* MAVJUD B , UNDA U MAVJUD C .

Noaniq kontrollerning misoli quyidagicha ifodalanishi mumkin

$$k_3[U(k)] = F[k_1 e(k), e k_2 e'(k)]. \quad (7.2.1)$$

Bu yerda F – bilimlar bazasidan aniqlanadigan noaniq nisbat; K_i ($i = \overline{1,3}$) masshtablash koeffitsiyentlari.

7.2.1-jadvalda yettita termli 13 ta sathga universumni diskretlash misoli ifodalangan.

Universumni normallashtirish oxirgisini segmentlarini so'nggi soniga diskretlashtirish bilan bog'liq bo'lib, ularning har biri

normallashtirilgan universumni mos keladigan segmentida akslantiriladi.

7.2.1- jadval.

Kvantlashtirish va raqamli aniqlashlardan foydalanuvchi birlamchi noaniq to'plamlar

Sath	Diapazon	OB	OS	OM	nol	PM	PS	PB
-6	$x_0 \leq -3,2$	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-5	$-3,2 < x_0 \leq -1,6$	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-4	$-1,6 < x_0 \leq -0,8$	0,3	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
-3	$-0,8 < x_0 \leq -0,4$	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
-2	$-0,4 < x_0 \leq -0,2$	0,0	0,3	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0
-1	$-0,2 < x_0 \leq -0,1$	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0
0	$-0,1 < x_0 \leq +0,1$	0,0	0,0	0,3	1,0	0,3	0,0	0,0
1	$+0,1 < x_0 \leq +0,2$	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0
2	$+0,2 < x_0 \leq +0,4$	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	0,3	0,0
3	$+0,4 < x_0 \leq 0,8$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0
4	$+0,8 < x_0 \leq +1,6$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	0,3
5	$+1,6 < x_0 \leq +3,2$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7
6	$+3,2 \leq x_0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0

7.2.2-jadvalda universumni normallashtirish $[-6,0;-4,5]$ ifodalangan, u normallashtirish intervalga $[-1, +1]$ transformatsiyalanadi.

Noaniq ajratish term-to'plamda qancha termlar qatnashishini aniqlaydi. Fazolar kirishlarini term-to'plamini quvvati bilimlar bazasida noaniq rostdash qoidalarini maksimal miqdorini aniqlaydi.

7.2.2- jadval.

Funksional aniqlashdan foydalanadigan birlamchi noaniq to'plamlar va ularni normallashtirish

Me'yoriylashtirilgan universum	Me'yoriylashtirilgan segmentlar	Diapazon	U_i	σ_i	Birlamchi noaniq to'plam
[-1.0;0; +1.0]	[-1.0;-0.5]	[-6.9;-4.1]	-1.0	0.4	OB
	[0.5;-0.3]	[-4.1;-2.2]	-0.5	0.2	OS
	[-0.3;-0.0]	[-2.2;-0.01]	-0.2	0.2	OM
	[-0.0;+0.2]	[-0.0;+1.0]	0.0	0.2	nol
	[+0.2;+0.6]	[+1.0;+2.5]	0.2	0.2	PM
	[+0.6;+1.0]	[+2.5;+4.5]	0.5	0.2	PS
			1.0	0.4	PB

Noaniq optimal bo'linishni tanlash uchun ko'pincha xatolar va tekshirishlarni evristik protsedurasida foydalaniladi.

Noaniq to'plamni taaluqli funksiyalarini aniqlashni ikkita usuli mavjud: sonli va funksional. Ular universumning tipiga bog'liq (diskret yoki uzluksiz).

Sonli usuldan foydalanganda noaniq ko'plikka taaluqli funksiyaning darajasi sonli vektor ko'rinishida ifodalanadi, uning o'lchamligini diskretlashtirishga bog'liq.

Bunda taaluqlilik funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega

$$\mu_A(U) = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\pi_i}. \quad (7.2.2)$$

Ikkinchi holda noaniq ko'pliklarning taaluqlik funksiyasi ma'lum bir funksional shaklga ega (qo'ng'iroqchimon, uchburchak, trapetsiyasimon va shu kabilar).

7.2.2. To'liqin kanalli kuzatuvchi tizimlarda fuzzifikatsiyalash va defazzifikatsiyalash masalalari

Fazzifikatsiyalash bu o'lchangan aniq kirishlarni aniq bir universumning noaniq to'plamlarga akslantirishdan iborat.

Boshqarish obyektni kirishlari va chiqishlari (binobarin, boshqarish obyektidagi xatoliklar) aniq signal bo'lgani uchun, noaniq kontroller esa noaniq to'plamlar nazariyasi bazasida ma'lumotlarga ishlov berishni o'tkazadi, u holda aniq signallarni noaniq signallarga o'zgartirish zarur [5]. Buning uchun fuzzifikatsiyalash operatoridan foydalaniladi:

$$F = \text{fuzzifier}(I_0), \quad (7.2.3)$$

bu yerda I_0 – aniq signal, F – noaniq to'plam; fuzzifier – fuzzifikatsiyalash operatori.

Fazzifikatsiyalashning quyidagi yo'llari mavjud:

- fuzzifikator aniq qiymatni noaniq singltonga o'zgartiradi; I_0 – chiqish signali taaluqli funksiyali $\mu_A(U)$ noaniq ko'plikka

o'zgartiriladi, l_0 nuqtani istisno qilganda nolga teng, bu yerda y birga teng;

- agar o'lchangan ma'lumotlar tasodifiy xatoliklar bilan kuzatilsa, u holda fuzzifikator ehtimoliy ma'lumotlarni noaniqqa o'zgartiradi;
- agar o'lchash natijalari ikkala (ehtimoliy va mumkin bo'lgan) noaniqliklar bilan xarakterlansa, u holda operator *fuzzifier* "gibridli son kompensatsiyasidan" foydalanadi.

Fazzifikatsiya bu noaniq boshqarish ta'sirlarini mumkin bo'lgan fazoda akslantirish.

Hozirgi vaqtda maksimum mezon, maksimum o'rtasi (MO) va soha markazi (SM) mezonlari eng ko'p qo'llaniladigan strategiyalar bo'lib hisoblanadi.

Maksimum mezon boshqarish ta'siri taqsimlanish imkoniyatlaridagi nuqtani aniqlaydi, bunda boshqarish ta'siri maksimal qiymatga ega bo'ladi. MO – boshqarish ta'siri strategiyasini generatsiyalaydi, u o'zi bilan birga har bir noaniq boshqarish ta'siriga tegishli bo'lgan funksiyaning maksimal qiymati bo'yicha hisoblanadigan barcha lokal boshqarish ta'sirlarini o'rtacha qiymatini ifodalaydi. Xususan, diskret holda boshqarish ta'siri quyidagicha ifodalanishi mumkin.

$$Z_0 = \sum_{j=1}^l \frac{\omega_j}{l}, \quad (7.2.4)$$

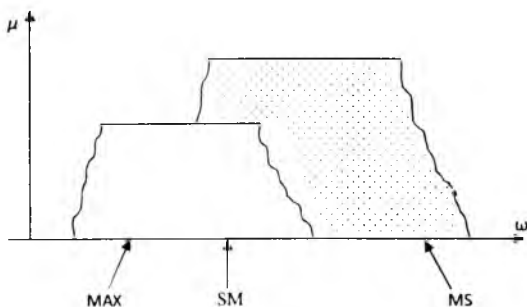
bu yerda ω_j – taaluqlilik funksiyasi maksimal qiymatga ega bo'lgan qiymatlarni tashuvchi $\mu_z(\omega_j)$; l shunday qiymatlarni tashuvchi son.

Keng foydalaniladigan SM strategiyasi natijaviy boshqarish ta'sirining taqsimlanish imkoniyatlarini soha markazi SM ni generatsiyalaydi. Diskret universumi holatda bu usul quyidagi ifodani beradi:

$$Z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_z(\omega_j) \omega_j}{\sum_{j=1}^n \mu_z(\omega_j)}, \quad (7.2.5)$$

bu yerda n – chiqishning kvantlanish sathi soni.

7.2.2-rasmda defazzifikatsiyalashning uchala usuli grafik sharhi ifodalangan [6].



7.2.2-rasm. Defazzifikatsiyalashning turli strategiyalarini grafi ifodalash

SM - usuli ancha aniqroq natijalarni berishini ta'kidlash kerak. Ammo MS - strategiyasi yaxshi o'tish jarayoni beradi, SM - strategiyasi esa yaxshi statik aniqlikni ta'minlaydi. Soha markazi SM ga asoslangan NMK umumiy holda maksimum strategiyasi MS ga asoslangan NMK ga nisbatan kam o'racha kvadratik xatoni beradi, o'z navbatida MS - strategiyasi umumiy holda maksimum mezon strategiyasiga nisbatan yaxshi natijalarni ta'minlaydi.

7.2.3. To'liq kanalli intellektual kuzatish tizimini amalga oshirish

Noaniq to'plamlar nazariyasining paydo bo'lishi avtomatik va avtomatlashtirilgan boshqarish nazariyasini rivojlanishida yangi yo'nalishni aniqlab berdi [1-16].

Shu vaqtning o'zida tarkibida noaniq kontroller bo'lgan boshqarish tizimini teskari aloqali boshqarish tizimining noaniq analogi deb qarash mumkin. Undan tashqari agar noaniq kontroller kirish va chiqish interfeyslariga ega bo'lsa, u holda u amaliy jihatdan ba'zi bir nochiziqli algoritmnı amalga oshiruvchi o'xshash kontroller bo'lib qoladi. Biz tomonimizdan to'liq kanalli kuzatish tizimi sitnez qilingan. Teskari aloqali noaniq kontroller ma'lum bo'lgan usul yordamida, u ba'zi vaqtda tizimdagi g'alayonlar tufayli, hamda real obyektı modeliga noadekvatligi tufayli istalgan boshqarishni ta'minlamaydi deb faraz qilamiz. Bu holda teskari noaniq kontrollerni

o'z ichiga olgan, noaniq tizimni amalga oshirish maqsadga muvofiq bo'ladi[6].

Hozirgi vaqtda o'zi sozlanadigan binar va lingvistik o'zicha tashkil qilinuvchi boshqarish tizimlarini loyihalashga bag'ishlangan ko'p nashrlar paydo bo'ldi. Shunday tizimlar loyihalanishining ilmiy va uslubiy prinsiplariga asoslanib, to'liq kanalli noaniq kuzatish tizimini sintez qilishga harakat qilingan.

Dinamikasi quyidagi differensial tenglama bilan ifodalangan obyektini ko'rib chiqamiz:

$$y^{(u)} = f(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)}) + U, \quad (7.2.6)$$

bu yerda y – chiqish signali; U – boshqarish signali; $f(\cdot)$ – nochiziqli yoki chiziqli funksiya.

Sintez qilishning maqsadi boshqarish signalini aniqlash bo'lib, u quyidagi shartni bajarilishini ta'minlaydi:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |e(t)| = 0, \quad (7.2.7)$$

bu yerda $e(t) = y^0 - y(t)$; y^0 – istalgan chiqish.

Quyidag ko'rinishdagi $S(e)$ funksiyanı kiritamiz:

$$S(e) = \sum_{k=0}^{(n-1)} C_{n-1}^k \lambda^k \frac{d^k e}{dt^k}, \quad (7.2.8)$$

bu yerda λ – doimiy koeffitsiyent ($\lambda > 0$); $C_n^k = \frac{(n-1)!}{k!(n-1-k)!}$.

(7.2.7) shartiga erishish uchun $S(e) = 0$ boshqarish signalini aniqlash zarur, ya'ni $S(e) \cdot \dot{S}(e) < 0$. Bu o'z navbatida quyidagini bildiradi

$$\dot{S}(e) < 0, \text{ agar } S(e) > 0; \dot{S}(e) > 0, \text{ agar } S(e) < 0. \quad (7.2.9)$$

$S(e)$ funksiyaşidan to'liq hosila ifodasi quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\dot{S}(e) = \sum_{k=0}^{(n-1)} C_{n-1}^k \lambda^k \frac{d^{k+1} e}{dt^{k+1}} = \sum_{k=0}^{(n-2)} C_{n-1}^k \lambda^k \frac{d^{k+1} e}{dt^{k+1}} = \lambda^{n-1} \frac{d^n e}{dt^n}, \quad (7.2.10)$$

u $e(t) = y^0 - y(t)$ ekanligini hisobga olib, quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\dot{S}(e) = \sum_{k=0}^{(n-2)} C_{n-1}^k \lambda^k \frac{d^{k+1} e}{dt^{k+1}} - \lambda^{n-1} f(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)}) - \lambda^{n-1} U, \quad (7.2.11)$$

(7.2.11) ni hisobga olib (7.2.9) shart quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{cases} S(e) > 0 \text{ bo'lganda } \sum_{k=0}^{(n-2)} C_{n-1}^k \lambda^k \frac{d^{k+1}e}{dt^{k+1}} - \lambda^{n-1} [f(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)}) + U] < 0, \\ S(e) < 0 \text{ bo'lganda } \sum_{k=0}^{(n-2)} C_{n-1}^k \lambda^k \frac{d^{k+1}e}{dt^{k+1}} - \lambda^{n-1} [f(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)}) + U] > 0, \end{cases} \text{ yoki (7.2.12)}$$

$$S(e) > 0 \text{ bo'lganda. } U > \frac{1}{\lambda^{n-1}} \sum_{k=0}^{(n-2)} C_{n-1}^k \lambda^k \frac{d^{k+1}e}{dt^{k+1}} - \lambda^{n-1} [f(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)}) + U]$$

yoki

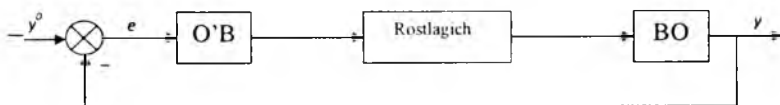
$$S(e) < 0 \text{ bo'lganda. } U < \frac{1}{\lambda^{n-1}} \sum_{k=0}^{(n-2)} C_{n-1}^k \lambda^k \frac{d^{k+1}e}{dt^{k+1}} - \lambda^{n-1} [f(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)}) + U]$$

$$S(e) > 0 \text{ bo'lganda } U > U_{\max}; S(e) < 0 \text{ bo'lganda } U < U_{\min}.$$

Boshqarish signali quyidagicha aniqlanadi:

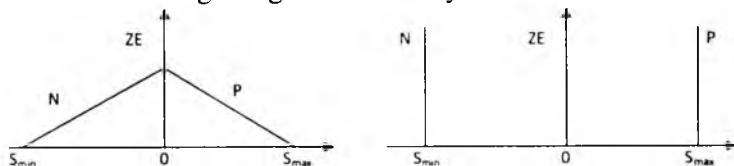
$$U = \begin{cases} S(e) > 0 \text{ bo'lganda } U_{\max}, \\ S(e) < 0 \text{ bo'lganda } U_{\min}. \end{cases} \quad (7.2.13)$$

(7.2.13) asosida bitta kirishli va bitta chiqishli noaniq rostlagichni qurish mumkin. Kirish signali sifatida $S(e)$ kattaligidan foydalaniladi. Boshqarish ta'siri U rostlagichning chiqish signali bo'lib hisoblanadi. Boshqarish tizimining strukturaviy sxemasi 7.2.3 rasmda ifodalangan.



7.2.3-rasm. Boshqarish tizimining strukturaviy sxemasi: O'B – o'zgartirish bloki; BO – boshqarish obyekti.

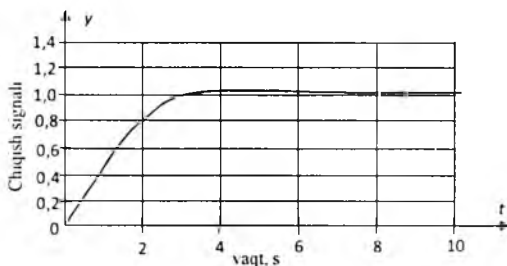
$S(e)$ ning qiymatiga bog'liq holda boshqarish signali $\{U_{\max}, 0, U_{\min}\}$ qiymatlarni oladi. $S(e)$ uchun U uchta lingvistik qiymatlarni qabul qiladi: N – “manfiy”; ZE – “nol”; P – “musbat”, 7.2.4 rasmda ifodalangan tegishlilik funksiyalari bilan xarakterlanadi.



7.2.4-rasm. Tegishlilik funksiyalari.

Boshqarish signallarini shakllantirish uchun quyidagi qoidalardan foydalaniladi:

$$\begin{aligned} R_1 : IF S(e) \text{ is } N \text{ Then } U \text{ is } N \\ R_2 : IF S(e) \text{ is } ZE \text{ Then } U \text{ is } ZE \\ R_3 : IF S(e) \text{ is } P \text{ Then } U \text{ is } P \end{aligned} \quad (7.2.14)$$



7.2.5- rasm. Tutash boshqarish tizimining o'tish funksiyasi.

Sintez qilish masalasi aniq bir boshqarish obyekti uchun λ , $U_{\max}$ larning son qiymatlarini aniqlashdan iborat. Shuni aytish kerakki to'liq matematik tavsif bo'lmagan holda avval obyektni identifikatsiyalash masalasini yechish kerak. Bu masalani neyro-tarmoq texnologiyasi yordamida yechish mumkin.

$S(e)$ funksiyasi ikkita birinchi a'zoldan tashkil topgan holni ko'rib chiqamiz, ya'ni

$$S(e) = e + \lambda \dot{e}. \quad (7.2.15)$$

Boshlang'ich shartlar nol bo'lganda $S(e) = 0$ tenglamaning yechimi quyidagini beradi:

$$y = y^0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right) \right). \quad (7.2.16)$$

(7.2.16) dan o'tish jarayonining sifati λ ning qiymatiga bog'liqligini ko'rishimiz mumkin. Shuning uchun o'tish jarayonini λ ni variatsiyalash yo'li bilan berish mumkin.

(7.2.6) tenglamani U ga nisbatan yechish quyidagini beradi:

$$U = d^n \frac{y}{dt^n} - f(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)}) \quad (7.2.17)$$

bu yerda

$$y = y^0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right) \right); \dot{y} = y^0 \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right);$$

$$\ddot{y} = y^0 \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right); \dots, y^{(n)} = \lambda^{n(-1)^{n-1}} y^0 \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right). \quad (7.2.18)$$

(7.2.18) ni hisobga olgan holda boshqarish signali U quyidagi ko'rinishni oladi:

$$U = (-1)^{n-1} y^0 \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right) - f(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)}) \quad (7.2.19)$$

(7.2.18) funksiyani ekstremumga tadqiq qilish $U_{\min}$ va $U_{\max}$ qiymatlarini beradi.

Modelli sonli misolga murojaat qilamiz. Obyektning dinamikasi quyidagi tenglama bilan berilgan bo'lsin:

$$\ddot{y} = y - \dot{y} + U. \quad (7.2.20)$$

Boshqarish signalini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

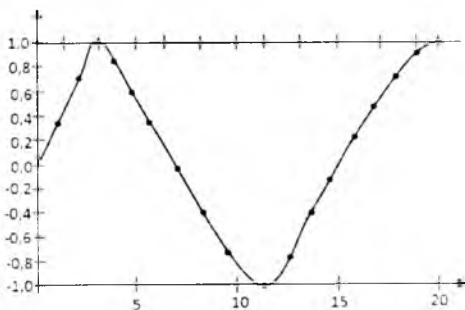
$$U = \left(-\frac{1}{\lambda^n} + \frac{1}{\lambda} + 1 \right) y^0 \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right) + y^0. \quad (7.2.21)$$

(7.2.21) dan hosil qilamiz:

$$U_{\max} = \frac{1}{\lambda^n} + \frac{1}{\lambda}; U_{\min} = -y^0. \quad (7.2.22)$$

7.2.5 rasmda boshqarish tizimining o'tish funksiyasini egri chizig'i ifodalangan, uning tarkibida sintez qilingan noaniq rostlagichdan foydalanilgan.

7.2.6 rasmda sinusoidal kirish ta'siri bo'lgandagi o'tish jarayoni ifodalangan.



7.2.6- rasmda sinusoidal kirish ta'siri bo'lgandagi o'tish jarayoni: ++ kirish ta'siri; — chiqish signali.

Taklif qilinayotgan tutash boshqarish tizimini turg'unligini va rostlashda nol statik xatolikni ta'minlaydi.

Keltirilgan o'tish jarayonlaridan shuni shuni xulosa qilish mumkinki, sintez qilingan to'liq kanalli noaniq kuzatish tizimi ishga yaroqli deyish mumkin. Amalga oshirishni oddiyligi va rostlash sifatining yuqoriligi taklif qilingan noaniq rostlagichni murakkab nochiziqli dinamik obyektlar boshqarish tizimlarida ushbu tizimni keng qo'llashga taklif qilishga asos bo'lib xizmat qiladi.

7.3. Noaniq mantiqiy kontrollerli intellektual boshqarish tizimlarini sintez qilish

Ko'pchilik zamonaviy texnologik jarayonlar dinamikasi ko'pincha murakkab matematik bog'lanishlar tavsiflanadi, va ko'plab qabul qilingan taxminlarga rioya qilinmaganda ularning aniq matematik tavsifini olishning imkoni bo'lmaydi. Bu shunday tushuntiriladi, ko'pchilik hollarda o'tayotgan texnologik jarayon sifat xarakteristikalarini hal qiluvchi hisoblanadi va obyekt to'g'risidagi axborot to'liq bo'lmaydi, shu bilan bir qatorda obyekt parametrlari va xossalari tashqi va/yoki ichki faktorlarga bog'liq holda vaqt bo'yicha o'zgaradi.

Nazorat qilinmaydigan g'alayonlar ta'siri sharoitida aniq bo'lmagan aniq bo'lmagan modeli tizimlar uchun mumtoz tipdagi rostlagichlar (P, PI, PID va b.) samarali bo'lmaydi. Bunday jarayonlarni samarali boshqarish uchun noaniq to'plamlar va noaniq mantiq nazariyalari asosida qurilgan noaniq kontrollerlar (NK) qo'llanilishi mumkin.

Noaniq mantiqli kontrollerli (NMK) boshqarish tizimlarining asosiy afzalliklari: boshqarish obyekti va zaruriy boshqarish ta'sirlari to'g'risida faqat sifat xarakteridagi axboroti bor bo'lsa; kirish/chiqish noaniq lingvistik o'zgaruvchilar yordamida tizimni xarakterini ifodalashni soddaligi va ba'zi bir noaniq mantiqiy chiqish qoidalarini to'plami ko'rinishida boshqarish qonunini shakllantirish; boshqarish obyekti parametrlarini o'zgartirishga sezgirligining kichikligidan iborat [12-16]

Noaniq mantiqli boshqarish tizimlarini sintez qilish usullarini rivojlanishiga qaramasdan noaniq rostlagichlarni birinchi modellariga

o'xshab avvalgidek noaniq produksion qoidalarining bilimlar bazasi va noaniq chiqish algoritmini tanlash, so'ngra turli ish rejalarida imitatsion modellash yo'li bilan real boshqarish obyektida yoki uni modelida tizimni parametrlari sozlanadi. Bunday usulning afzalligi birinchidan ishonchiligi (hosil qilinadigan tizimni xossalarning kafolatlanganligi) va ikkinchidan boshqarish obyekti to'g'risidagi umumiy axborotli mavjud bo'lganda qo'llanishi.

7.3.1. Noaniq mantiqli kontrolleri sintez qilish masalalarini formal tarzda qo'yilishi

Obyekt to'g'risidagi to'liq bo'lmagan axborotlili boshqarish tizimli sinflarni ko'rib chiqamiz, ularda o'tayotgan texnologik jarayon sifat xarakteristikallari hal qiluvchi bo'lib hisoblaniladi. Umumiy holda boshqarish obyekti formal tarzda quyidagi kortej ko'rinishida ifodalangan:

$$\langle \Omega, X, U, T, Y, \rho, \gamma, \xi \rangle, \quad (7.3.1)$$

bu yerda: Ω - holatlar fazosi (obyektlar va sh.o'.); X - Ω boshqarish obyektidan uni holatini tavsiflovchi va o'zini to'plam qiymatlari $\{V_j\}$ da har biri o'zini qiymatini qabul qiluvchi belgilar, to'plam xarakteristikallari; U - boshqarish fazosi (yechimlar); T - vaqt (diskret yoki uzluksiz); χ chiqish qiymatlarining fazosi (kuzatilayotgan jarayonlar, parametrlar, va sh.o'.); $\rho: X \times U \times T \rightarrow \Omega$ - aniq bir holatda dinamik tizimni reaksiyasini, obyekt holati dinamikasini o'zgarishini tavsiflovchi akslantirish; $\gamma: \Omega \times T \rightarrow Y$ - chiqishni akslantirish, u boshqarish obyektini kuzatish jarayonini tavsiflaydi (baholarni fikrlarni, va sh.o'.'larni olish); ξ - ba'zi bir tashqi boshqarilmaydigan faktorlar, shartlar va sh.o'., boshqarish obyektining dinamikasiga ta'sir ko'rsatadi.

Umumiy holda boshqarish tizimlarini sintez qilishni analitik masalalar quyidagicha qo'yilishi mumkin:

1. Obyekt holatini baholash masalalari:

a) Boshqarish obyektini hozirgi holatini baholash masalasi.

Obyekt (7.3.1) ko'rinishida tasvirlansin. Obyekt holatini dinamikasini kuzatish asosida va ξ xalaqitlar ta'siri sharoitida va uni modeli mavjud bo'lganda shunday akslantirishni $\gamma: \Omega \times T \rightarrow \Omega$, $\Omega \equiv \Omega$,

topish kerakki, bunda obyektning holatini baholovchi $\omega \in \Omega$ $J(\bullet)$ mezonlari bo'yicha haqiqiy holat maksimal tarzda mos keladi.

b) Klasterizatsiyalash masalasi (obyektning Ω ko'plab holatlarini holatlar sinfiga bo'lish masalasi).

Obyekt (7.3.1) ko'rinishida berilgan bo'lsin. $\omega \in \Omega$ ni har bir holatiga X dagi xarakteristikalarining qiymatlari mos keladi. Ω to'plam ba'zi bir $\{K\}$ sinfdagi to'plamlarga bo'linishi mumkin. Bu to'plam sinflarini $\{K\}$ aniqlash zarur va $\varphi: \Omega \rightarrow \{K\}$ obyekt Ω ni holatlarini barcha to'plamga bo'luvchi akslantirishni topish kerak.

c) Tasniflash masalasi (ixtiyoriy holatni $\omega \in \Omega$ obyektning holatlari sinflarini bittasiga munosibliigi masalasi - $\{K\}$ - tasniflash masalasi).

Obyekt (7.3.1) ko'rinishida tasvirlangan bo'lsin va holatlarni $\{K\}$ sinfdagi to'plam aniqlangan bo'lsin. Holatlarni har bir sinfiga X dagi xarakteristikalarining qiymatlari mos keladi. X xarakteristikalar bilan tavsiflanuvchi $\omega \in \Omega$ istalgan holatga taaluqli ekani aniqlashga imkon beradigan $\alpha: \Omega \rightarrow \{K\}$ akslantirishni topish zarur.

d) Obyektning holatini prognozlash masalasi (ekstarpolyatsiyalash masalasi).

Obyektning dinamikasi (7.3.1) ko'rinishida tavsiflangan bo'lsin. Boshqarish obyektini modeli mavjud bo'lganda va kuzatishlar asosida shunday akslantirishni $\rho: (\Omega \times T) \times U \times T_{np} \rightarrow \Omega$ topish zarur, u optimallik mezonini $J(\bullet)$ nuqtai nazaridan prognozlash vaqti orqali obyektning haqiqiy holati bilan optimal tarzda mos keladigan, obyektning prognoz holatini aniqlashga imkon beradi.

2. Boshqarish obyektini identifikatsiyalash masalalari.

Obyekt (7.3.1) ko'rinishida tavsiflangan bo'lsin. Kuzatish natijasida ba'zi bir vaqt oralig'ida obyektning kirish va chiqish holatlarini qiymatlari to'g'risidagi axborot mavjud bo'lsin. Boshqarish obyektining dinamikasi to'g'risidagi bor axborotning shunday modelini $\rho: (\Omega \times T) \times U \times T \rightarrow \Omega$ (diskret yoki uzluksiz) topish zarur, u kirish ta'sirlarini cheklangan to'plamga haqiqiy jarayonning holatlarini ba'zi bir $J(\bullet)$ mezonlar bo'yicha maksimal tarzda mos kelishini ta'minlaydi.

3. Boshqarishni shakllantirish va yechimlarni tanlash masalalari

a) Optimal boshqarishni shakllantirish masalasi.

Obyekt (7.3.1) ko'rinishida tavsiflangan bo'lsin va obyektning yangi holatga o'tkazish $\{K\}$ mezonlar majmui nuqtai nazaridan baholansin. $\{K\}$ to'plamga afzalliklar $P: K \times K \rightarrow L$ tizimi aniqlangan, bu yerda L –panjara. Shunday boshqarishni $u \in U$ topish zarurki, bunda u L - panjarada maksimal baholash bilan obyektlarni yangi holatga o'tkazishni ta'minlaydi.

b) Muqobillarni ranjirovka qilish va yechimlarni tanlash masalasi.

Obyekt (7.3.1) ko'rinishida tavsiflangan bo'lsin va muqobillar sifatida U to'plamni elementlari qatnashsin, ular Ω dan boshlang'ich holatga keltiradi. Ω dan boshlang'ich holatlar $\{K\}$ mezonlar to'plami nuqtai nazaridan baholanadi, unda $P: K \times K \rightarrow L$ afzalliklar tizimi nuqtai nazaridan U muqobildan elementlarni ranjirovka qilishga imkon beradigan $\psi: U \rightarrow L$ akslantirishni topish zarur va U to'plamdan ma'qul bo'lgan yechimlarni tanlashni amalga oshirish kerak.

Analitik masalalarni formal tarzda qo'yilishi real masala osti doirasini aniqlashga imkon beradi ular intellektual boshqarish tizimlarida yechilishi kerak. Amalda ko'rsatilgan masalalarni yechilishi, ular birinchi navbatda tadqiq qilinayotgan ta'sirlarni alohidaliklari bilan, ularni matematik tarzda formallashtirishni murakkabligi, ularni ishlashi to'g'risidagi ishonchli aniq axborotning yo'qligi bilan qiyinchilikka duch keladi. Shuning uchun noaniq boshqarishtizimlari (NBT) loyihalashning barcha analitik masalalarida samarali natijalarni olish uchun boshqarish obyektini xossalarini yoki ko'rilayotgan predmet sohasini har tomonlama hisobga olish zarur.

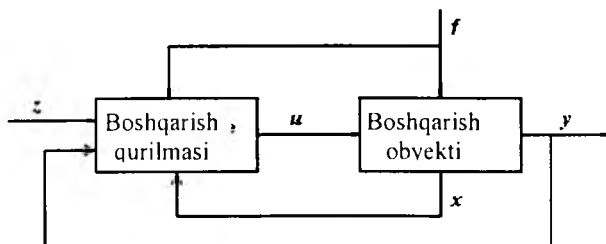
Boshqarish obyekti to'g'risidagi dastlabgi axborotni aniqlanganlik va noaniq bo'lgan sharoitlarda noaniq kontrolerli boshqarish tizimini sintez qilish masalasini to'liqroq ko'rib chiqamiz (7.3.1 rasm).

Istalagan noaniq tutash boshqarish tizimi quyidagi ko'rinishda bo'lsin

$$\dot{Y} = F_n(X, Y), \quad (7.3.2)$$

bu yerda X, Y – noaniq kirish va chiqish oʻzgaruvchilarining lingvistik qiymatlari; F_{N} – boshqarish toʻplami koʻrinishida berilgan noaniq operator.

agar $X = A$ boʻlsa va $Y = B$ boʻlsa, u holda $\dot{Y} = C$ boʻladi.



7.3.1-rasm. NBT ning strukturaviy sxemasi.

Sintez qilinayotgan tutash boshqarish tizimini chiqish koordinatasining dinamik koʻrsatkichlari maʼlum deb hisoblaymiz; bunda ushbu koordinataning oʻtish xarakteristikasi uzluksiz monoton va zarur boʻlganda differensiallanuvchi boʻladi. Ushbu sinfdagi boshqarish tizimlari (BT) uchun noaniq mantiqiy rostlagich (NMR) ni sintez qilish masalasini quyidagicha ifodalash mumkin. Ketma-ket korreksiyalash prinsipini etiborga olgan holda, bunday tizimlar uchun rostdash obyekti quyidagi koʻrinishda

$$\dot{Y} = F_{\text{N}}(Y, U), \quad (7.3.3)$$

Yoki ikkinchi tartibli zveno koʻrinishida ifodalash mumkin.

$$\ddot{Y} = F_{\text{N}}(\dot{Y}, Y, U); \quad (7.3.4)$$

bunda F_{N} – boshqaruvchi qoidalar koʻrinishida yozilgan noaniq operator, U – rostdash obyekti kirishdagi boshqarishni noaniq oʻzgaruvchisini lingvistik qiymati.

Sintez qilishdan maqsad: maʼlum boʻlgan noaniq operatorlar F_{N} va F_{N} boʻyicha: F_{N} rostlagichni noaniq operatorini topish, u avtomatlashtirilgan boshqarish tizimi (BT) ni dinamik xarakteristikalarini talab qilingan sifatini taʼminlaydi.

Istalgan BT ni optimal operatorini shakllantirish uchun lingvistik yondashishni quyidagicha isbotlash mumkin. topshiriq taʼsiri X va chiqish qymati Y orasidagi farq qancha katta boʻlsa, ushbu farqni

o'zgarish kattaligi shuncha katta bo'lishi kerak yoki, chiqish o'zgaruvchisi Y ni o'zgartirish tezligi teskari ishora bilan yuqori bo'lishi kerak. Bunda lingvistik o'zgaruvchilarni lingvistik term-to'plami miqdoriga ham, ularning ko'rinishiga ham va o'zgaruvchini o'zgarishi barcha diapazon bo'yicha taqsimlanishiga ham xech qanday cheklanishlar qo'yilmaydi.

Yuqoridagi isbotdan quyidagicha xulosa qilish mumkin, NMR ni sintez qilish algoritmini amalga oshirish uchun istalgan BT ni xatosi va uning hosilasi to'g'risida axborotli F_r ega bo'lish zarur. Istalgan BT ni chiqish koordinatasini dinamik xarakteristikasi ma'lum bo'lganda va kirish ta'siri ma'lum bo'lganda bunday axborotni olish murakkab emas. Lekin ushbu axborotli algoritmni amalga oshirish uchun yetarli emas. BT ni chiqish koordinatasi o'tish xarakteristikasini va uni xatoligi ($e = x - y$) o'sish va tormozlanish bir-biriga silliq o'tadigan uchastkalari ko'rinishda ifodalash mumkin bo'lsa, ular uchun hosila turli ishoraga ega bo'lsa, natijada kirish va chiqish lingvistik o'zgaruvchilarni term-to'plamini ajratish qarama-qarshiliklarni paydo bo'lishiga olib keladi. Ushbu qarama-qarshilikni istisno qilish uchun istalgan BT xatoligining ikkinchi hosilasi to'g'risidagi axborotni kiritamiz, bunda ushbu hosilani nol qiymati xatolik hosilasini ishorasini almashishiga mos keladi, ya'ni o'sish uchastkasidan tormozlanish uchastkasiga yoki aksincha o'tish nuqtasiga mos keladi, ushbu hosilani maksimumi – xatolik hosilasi uchun o'sish uchastkasidan tormozlanish uchastkaziga utish nuqtasiga mos keladi.

7.3.2. Noaniq mantiq asosida dinamik obyektlarni boshqarish tizimlarini sintez qilish

Noaniq boshqarish algoritmlarini sintez qilish umumlashgan protsedurasi quyidagicha ifodalanishi mumkin:

- tizimni oldiga qo'yiladigan maqsadlar to'plami aniqlanadi;
- rostlagichni kirish va chiqish o'zgaruvchilarining to'plami aniqlanadi;
- tizimni ishlashidagi mumkin bo'lgan holatlar ko'rsatib o'tiladi, lingvistik o'zgaruvchilar va ularning qiymatlari aniqlanadi (lingvistik o'zgaruvchilar term-to'plami);

- tizimni holatini istalgan o'zgarishini akslantiruvchi qoidalar bazasi shakllantiriladi;
- fazzifikatsiyalash usullarini tanlash usullarini tanlash o'tkaziladi;
- xulosa chiqarish mexanizmi va defazzifikatsiyalash usullari aniqlashtiriladi.

$dx/dt = f(t, x(t), u(t))$ ko'rinishida oddiy differensial tenglama ko'rinishida berilgan dinamik tizim yordamida boshqarish masalalarini yechish uchun ushbu protsedurani qo'llashning o'ziga xos xususiyatlarini ko'rib chiqamiz, bu yerda x tizimning holat vektori; $x \in X \subseteq R^n$, $X = X_1 \times \dots \times X_n$, $X_i \subseteq R$, $\forall_i = 1, \dots, n$; X – mumkin bo'lgan holatlar to'plami; u – boshqarish vektori; $u \in U \subseteq R^m$, $U = U_1 \times \dots \times U_m$, $U_j \subseteq R$, $\forall_j = 1, \dots, m$; U – boshqarishi mumkin bo'lgan qiymatlarining ba'zi bir to'plami.

Istalgan vaqt momenti uchun $t \in [t_0, t_1]$ $J(t) = \int_{t_0}^t f^*(\tau, x(\tau), u(\tau)) d\tau$

funksiyani minimumini ta'minlovchi, to'liq teskari aloqali noaniq boshqarish talab qilinadi, bu yerda $f^*(\tau, x(\tau), u(\tau))$ – aniqlangan musbat uzluksiz funksiya, ya'ni

$$f^*(t, x(t), u(t)) > 0 \quad \forall (t, x, u) \in [t_0, t_1] \times X \times U.$$

Noaniq boshqarish tizimini ketma-ket ulangan fazzifikator, xususan noaniq rostlagich va defazzifikator sifatida ko'rib chiqamiz.

Fazzifikator va defazzifikator mos ravishda xatolik vektori qiymatlarini va uning hosilalarini (yoki integralini) aniq sohadan noaniq sohaga va aksincha boshqarish vektorini noaniq sohadan aniq sohaga o'tkazish uchun mo'ljallangan.

Buning uchun quyidagi lingvistik o'zgaruvchilarni kiritamiz $e_1 = ("Xatolik", T_{e1}, E_1)$, $e_2 = ("Xatolik \text{ hosilasi}", T_{e2}, E_2)$, $e_3 = ("Xatolik \text{ integrali}", T_{e3}, E_3)$ va $u = ("Boshqarish", T_u, U)$, bu yerda $T_{e_i} = \{T^1_{e_i}, T^2_{e_i}, \dots, T^k_{e_i}\}$, $i = \overline{1, k}$, $T^l_u = \mu_l(u)$, $l = \overline{1, k}$ – lingvistik o'zgaruvchilar; e_1, e_2, e_3 va u tegishlilik funksiyalari (TF) ga mos keladi. $T^l_{e_i} = \mu^l_{e_i}(e_i)$, $T^l_u = \mu_l(u)$, $l = \overline{1, k}$ universal to'plamlarga mos ravishda berilgan $E_i = [E_{i, \min}, E_{i, \max}]$ va $U = [U_{\min}, U_{\max}]$.

Bu lingvistik o'zgaruvchilar boshqarish obyekti holatini sifatli qilib tavsiflashga va boshqarish ta'sirini qurishda ulardan foydalanishga imkon beradi.

Noaniq rostlagich lingvistik qoidalar to'plami bilan aniqlanadi, uning tuzilishi Mamdani [7] sinfidagi maxsus noaniq mantiqqa asoslangan.

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left(\bigcap_{i=1}^n (e_i = T_{e_i}{}^p) \text{vazn bilan } \omega_{jp} \right) \rightarrow u = T_u{}^j, j = \overline{1, k}. \quad (7.3.5)$$

bu yerda $\bigcup, \bigcap$ –“VA” va “YOKI” mantiqiy operatsiyalar, $T_{e_i}{}^p$ – lingvistik term, u_{jp} ($p = \overline{1, k_j}$) nomerli qatorda e_i o'zgaruvchini baholaydi; k_j – kon'yuksiyalar qatori miqdori, ularda chiqish u lingvistik term $T_u{}^j$ orqali baholanadi; ω_{jp} – qoidani jp tartib raqamli vazn funksiyasi, noaniq mantiq keltirib chiqarishda qoidani nisbiy vaznini beradigan, $[0,1]$ diapazondagi sonlarni ifodalaydi; k – chiqish o'zgaruvchisini lingvistik baholash uchun foydalaniladigan termlar miqdori.

Bilimlar bazasi (7.3.5) da barcha lingvistik termlar mos keladigan TF lar berilgan:

Noaniq term $T_{e_i}{}^p$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, k}$, $p = \overline{1, k_j}$ ni kirishini tegishlilik funksiyasi $\mu_{e_i}{}^p(e_i)$ bo'lsin, ya'ni

$$T_{e_i}{}^p = \int_{e_i}^{\overline{e_i}} \mu_{e_i}{}^p(e_i) / e_i, e_i \in [e_i, \overline{e_i}], \quad (7.3.6)$$

bu yerda $\mu_l(u)$, $l = \overline{1, k}$, $\mu_{d_j}(y)$ noaniq d_j chiqishning tegishlilik funksiyasi, ya'ni

$$T_u{}^j = \int_y^{\overline{u}} \mu_u{}^j(u) / u, u \in [u, \overline{u}] \quad (7.3.7)$$

Bu yerda $\int$ – noaniq to'plamni uzluksiz tashuvchisi uchun belgi majmui.

Bilimlar bazasi (7.3.5) dan kirish vektorini $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ noaniq termlar $T_u{}^j$ ga tegishlilik darajasi quyidagi noaniq mantiqiy tenglamalar orqali aniqlanadi:

$$\mu_u{}^j(u^*) = \bigvee_{p=1, k_j} \omega_{jp} \cdot \bigwedge_{i=1, n} [\mu_{e_i}{}^p(e_i^*)], j = \overline{1, k}. \quad (7.3.8)$$

bu yerda $\vee (\wedge)$ – maksimumni (minimumni) topish operatsiyasi kirish vektori E ga mos keladigan noaniq to'plam quyidagicha aniqlanadi:

$$\bar{u} = \text{agg} \left(\bigcup_{j=1, m}^n \text{imp}(\mu_{e_j}(E), \mu_u(u)) / u \right), \quad (7.3.9)$$

bu yerda imp – implikasiya, u minimumni topish operatsiyasi sifatida amalga oshiriladi; agg – noaniq to'plamni agregirlash, u maksimumni topish operatsiyalari orqali amalga oshiriladi.

Kirish vektori E ga mos keladigan chiqish y ni aniq qiymati og'irlik markazi usuli bo'yicha noaniq to'plam $\bar{u}$ ni defazzifikatsiyalash natijasida aniqlanadi:

$$u = \frac{\int_u u \cdot \mu_u(u) du}{\int_u \mu_u(u) du}, \quad (7.3.10)$$

bu yerda $\int$ – integral simvoli.

Shunday qilib, noaniq rostlagichni chiqishida boshqarish signalini sonli baholashni olishimiz mumkin.

NBT larining loyihalashni asosiy masalalaridan biri, bu noaniq rostlagichni (bilimlar) qoidasini bazasini sintez qilishdan iborat. Odatda bunday qoidalarni shakllantirish uchun ekspert baholashlardan, hamda neyron tarmoqlarini yoki genetik algoritmlarni o'qitishga asoslangan usullardan foydalaniladi. Ammo bunday yondashish yetarli darajada katta mehnatni, vaqtni va hisoblash xarajatlarini talab qiladi. Ushbu holda ekspertlar bilimlari va dastlabgi hisoblash eksperimenti asosida noaniq rostlagichni qoidalar bazasini generatsiyalashga imkon beradigan yondashish maqsadga muvofiq bo'ladi. Noaniq rostlagichni kirishida lingvistik o'zgaruvchilar vektori $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ bor deb hisoblaymiz. Mos keladigan tashuvchilar $[a, b_i]$ aniqlangan va term-to'plamlar T_{e_i} ni quvvatiga mos keladigan quvvatga va noaniq o'zgaruvchilarning e_i ($i = \overline{1, n}$) qiymatlariga ega. Term-to'plamlarning elementlari T_{e_i} ni t_j^i , $j = \overline{1, m_i}$ orqali belgilaymiz. e_i ($i = \overline{1, n}$) ning har bir elementi o'zining quvvatli term-to'plami T_{e_i} bilan lingvistik o'zgaruvchi u ni chiqishidagi lingvistik o'zgaruvchini qiymatiga monoton tarzda ta'sir qiladi. Agar term to'plamni elementlari tartib

shkalasida o'lanishi mumkin va tartibga keltirilgan deb hisoblasak, u holda o'zgaruvchi e_i ($i = \overline{1, n}$) ni qiymati oshishi bilan u ning qiymati oshadi. Shubhasiz, j 1 dan m_i gacha o'zgarganda noaniq diskret holatlar $(e_1^{j_1}, e_2^{j_2}, \dots, e_n^{j_n})$ ni umumiy miqdori $K = \prod_{i=1}^n m_i$ ga teng bo'ladi.

Odatda noaniq modellarda n va m_i ning qiymatlari 7+2 qiymatlarni qabul qilishini hisobga olsak, u holda noaniq hodisalarni to'liq fazosida modellanayotgan hodisani imitatsiya qilish uchun K juda ham katta emas va mantiqiy chiqishning noaniq qoidasini to'liq to'plami $K \times n + 2$ o'lchamli ruxsat beruvchi D matritsa ko'rinishida rasmiylashtirish mumkin. D matritsani qo'shimcha ikkita ustuni chiqish parametrini lingvistik qiymatlaridan, ya'ni ushbu qoidani $\omega_j, j = \overline{1, K}$ vazn koeffitsiyentlari bilan term-to'plamni T_u elementlaridan shakllanadi.

Shunday qilib, noaniq qoidalar majmuini generatsiyalash masalasini yechish D matritsani oxirgi ikkita ustuni qiymatlarini qidirib topishga keltiriladi.

Yondashishning umumiyliigi uchun E to'plamni har bir elementi chiqish o'zgaruvchisi u ga $v_i \in [-1, 1]$, $i = \overline{1, n}$ vazn bilan ta'sir qiladi deb qabul qilamiz, shuning bilan birga agar kirish e_i u ni qiymatini monoton tarzda oshsa, u holda vazn musbat, aks holda manfiy bo'ldi. Tartib shkalasida kirish lingvistik o'zgaruvchilarini qiymatlarini o'lash mumkinligi to'g'risidagi taxminga asosan, term-to'plamni $t_i^j \in T_x$, $j = \overline{1, m_i}$ har bir qiymatiga mos keladigan operator ψ ni kiritamiz, uning raqami qiymati mos keladigan term-to'plamda quyidagicha $\psi(t_i^j) = j$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m_i}$.

Ustun vektorining qiymatini hisoblab chiqamiz

$$S_i = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{g_i(\psi(t_i^j))}{\max_{h_i} g_i(\psi(t_i^h))} \cdot v_i, \quad i = \overline{1, K}, \quad (7.3.11)$$

bu yerda g_i — e_i kirish ta'siri xarakterini tavsiflovchi funksiya (masalan, chiziqli, eksponensial, logarifmik, teskari eksponensial, Gaus egriligi).

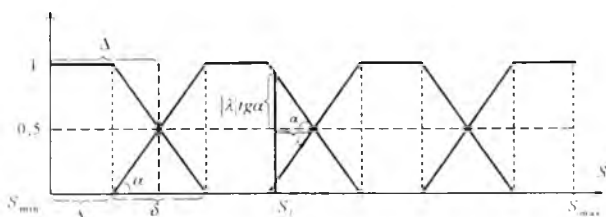
Hisoblangan S_i qiymatini chiqish parametrining noaniq xarakteristikasi deb emas odatdagidek deb qabul qilamiz. Lekin undan

noaniq modelda foydalanish uchun fazzifikatsiyalash zaruriy shart bo'lib hisoblanadi, u ushbu holda quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta = \frac{\max_{l=1,K} S_l - \min_{l=1,K} S_l}{k} \quad (7.3.12)$$

(7.3.12) ni qiymatlarini hisoblaymiz.

k yadroga ega bo'lganimiz uchun, $(k-1)$ noaniqlik zonasiga ega bo'lamiz. Δ kattaligi noaniqlik zonasining ortishi bilan ba'zi bir musbat songa kamayishi ma'lum. $\Delta = \Delta_1 + \frac{\delta}{2}$ bo'lsin, bu yerda δ – noaniqlik zonasining uzunligi (7.3.2- rasm).



7.3.2- rasm. Noaniq bo'linish sinflarini shakllantirish ($k = 4$).

U holda $k\Delta = k\Delta_1 + (k-1)\delta$ va $\delta = \frac{1}{\lg \alpha}$ ekanini hisobga olib.

$\Delta_1 = \Delta - \frac{k-1}{k \lg \alpha}$ ga ega bo'lamiz. $\Delta_1 \geq 0$ ni e'tiborga olib

$\arctg\left(\frac{k-1}{k \Delta}\right) \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ ni hosil qilamiz. Agar α minimal qiymatlarni

qabul qilsa, u holda tegishlilikning uchburchak, istalgan boshqa $\alpha < \frac{\pi}{2}$

qiymatlarda –trapetsiyasimon funksiyasini olamiz. $\alpha = \frac{\pi}{2}$ bo'lganda

ya'ni δ cheksiz kichik bo'lganda sinflarga aniq bo'linishni olamiz. Keltirilgan xulosalar asosida noaniqlik yadrosini chegarasini quyidagi ko'rinishda ifodalaymiz:

$$c_i = \begin{cases} \min_{l=1,K} S_l, & \text{agar } i = 1 \text{ bo'lsa,} \\ d_{i-1} + \delta, & \text{agar } i > 1 \text{ bo'lsa;} \end{cases} \quad d_i = c_i + \Delta_1, \quad i = 1, k. \quad (7.3.13)$$

Yadro intervalini chegarasini bunday hisoblaganda, $\left[\min_{l=1,K} S_l, \max_{l=1,K} S_l \right]$ bu interval uzunligi Δ bo'lgan k teng kesmalarga

bo'linadi, u sinfni yadrosini aniqlaydi, va sinflar orasidagi noaniqlik zonalarini aniqlaydigan δ uzunlikka teng $(k-1)$ kesmalarga bo'linadi.

k sinflarga S_i ni qiymatlarini tegishlilikini aniqlaymiz:

$$k(S_i) = \begin{cases} i, & \text{agar } S_i \in [c_i, d_i] \text{ bo'lsa,} \\ i, & \text{agar } S_i \in [d_i, c_{i+1}] \text{ va } \lambda \leq 0 \text{ bo'lsa,} \\ i+1, & \text{agar } S_i \in [d_i, c_{i+1}] \text{ va } \lambda > 0 \text{ bo'lsa.} \end{cases} \quad (7.3.14)$$

bu yerda $i = \overline{1, k}$, $\lambda = S_i - \frac{d_i + c_{i+1}}{2}$.

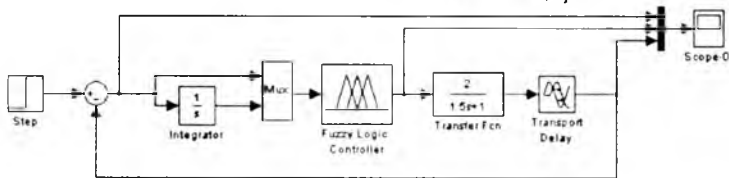
Har bir S_i uchun ω ni qiymatlarini aniqlaymiz:

$$\omega_i = \begin{cases} 1, & \text{agar } S_i \in [c_i, d_i] \text{ bo'lsa,} \\ 0.5 + |\lambda| \cdot \text{tg} \alpha, & \text{agar } S_i \in [d_i, c_{i+1}] \text{ bo'lsa.} \end{cases} \quad (7.3.15)$$

bu yerda $\lambda = S_i - \frac{d_i + c_{i+1}}{2}$ $i = \overline{1, k}$.

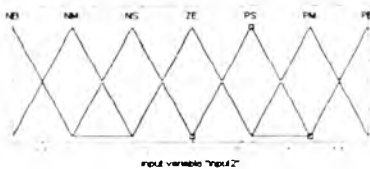
Shunday qilib, har bir noaniq holat $(e_1^{i_1}, e_2^{i_2}, \dots, e_n^{i_n})$ uchun berilgan noaniq holatni chiqish parametriga bo'lgan va shu sinfga tegishlilik darajasi sinfini qiymati generatsiyalanadi. Noaniq holatni noaniq modellashni tushuntirishda vazn koeffitsiyenti ω bilan term-to'plam T_u elementi raqamiga mos ravishda qo'yiladi, ya'ni kortej $(e_1^{i_1}, e_2^{i_2}, \dots, e_n^{i_n}, u^j, \omega^j)$, $j = \overline{1, K}$ shakllanadi, bu esa noaniq mantiqiy rostlagichni qoidasini shakllantirish protsedurasiga mos keladi.

Noaniq rostlagichni qoidalar bazasini generatsiyalashni taklif qilingan usulini ishlash qobiliyatini va samaradorligini tekshirish uchun quyidagi uzatish funksiyasi bilan ifodalangan dinamik obyekt NBT ni sintez qilish masalasi yechilgan $W_{NBT}(p) = \frac{2e^{-0.5p}}{1.5p+1}$ (7.3.3- rasm).

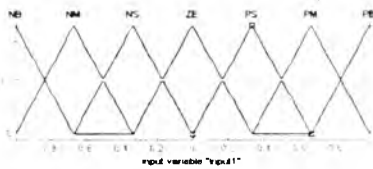


7.3.3-rasm. Noaniq rostlagichli boshqarish tizimi.

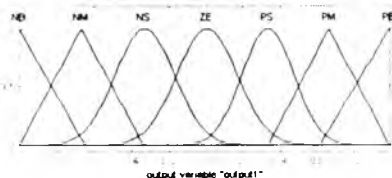
7.3.4-rasm a), b) va c) rasmlarda ushbu lingvistik o'zgaruvchilarni tegishlilik funksiyalari ifodalangan.



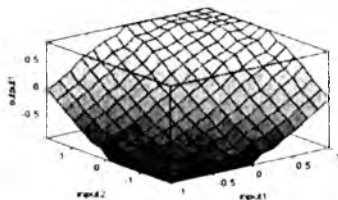
a) "Xatolik" lingvistik o'zgaruvchisining tegishlilik funksiyasi



b) "Xatolik integrali" lingvistik o'zgaruvchisining tegishlilik funksiyasi

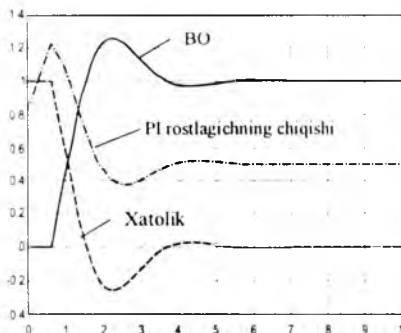


c) NR chiqish tegishlilik funksiyasi

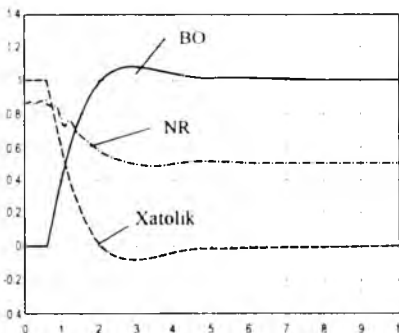


d) Holatlar fazosidagi NR modeli

7.3.4 rasm. NBT ning lingvistik o'zgaruvchilarini taaluqlilik funksiyalari va noaniq rostlagich.



a) Klassik PI rostlagichga ega tizimdagi o'tish jarayoni



b) Noaniq rostlagichga ega tizimdagi o'tish jarayoni

7.3.5- rasm. Mamdani tipidagi qoidal bazali noaniq rostlagichni va mumtoz PI rostlagichli boshqarish tizimini imitatsion modellashni natijalari.

Ushbu boshqarish tizimida noaniq rostlagich uchun kirish lingvistik o'zgaruvchilar sifatida xatolik va uning integral tashkil qiluvchilari $e_1 = ("Xatolik", T_{e1}, [-1;1])$ va $e_2 = ("Xatolik integrali",$

$T_{e2}, [-1.8; 1.8])$ chiqish lingvistik o'zgaruvchisi sifatida esa mos keladigan term-to'plamlar $e_2 = ("Boshqarish", T_u, [-1; 1])$ bilan

$$T_{e1} = \{ 'NB', 'NM', 'NS', 'ZE', 'PS', 'PM', 'PB' \},$$

$$T_{e2} = \{ 'NB', 'NM', 'NS', 'ZE', 'PS', 'PM', 'PB' \} \text{ va}$$

$$T_u = \{ 'NP', 'NM', 'NS', 'ZE', 'PS', 'PM', 'PB' \},$$

bu yerda 'NB' – “manfiy katta”, 'NM' – “o'rtacha atrofidagi manfiy”, 'NS' – “kichik atrofidagi manfiy”, 'ZE' – “nolga yaqin”, 'PS' – “kichik atrofidagi musbat”, 'PM' – “o'rtacha atrofidagi musbat”, 'PB' – “katta musbat”.

Taklif qilingan usulubiyatga asosida noaniq rostlagichni qoidalar bazasi generatsiyalangan va sintez qilingan boshqarish tizimini MatLab 7 muhitida sintez qilingan boshqarish tizimini imitatsion modellash o'tkazilgan (7.3.4-rasm, d). Taqqoslab taxmin qilish natijalari shuni ko'rsatadiki, NBT yetarli keng diapazondagi g'alayonlarga sezgirliги kam va mumtoz P-, PI- va PID – rostlagichli boshqarish tizimlariga nisbatan yaxshi sifat xarakteristikalariga ega.

7.3.3. Fazzifikatsiya va defazzifikatsiya usullarini tadqiq qilish

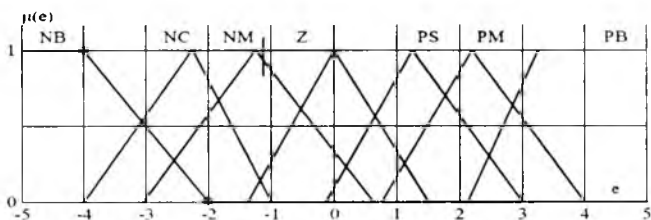
Avvalgi paragraflarda ta'kidlanganidek, fazzifikatsiyalash va noaniq boshqarish tizimlarining xulosalari NBT ni samaradorligiga ta'sir qiluvchi asosiy elementlar bo'lib hisoblanadi. Issiqlik energetikasi sohasida tipik obyektlarni boshqarish uchun amalga oshirilgan noaniq algoritmnı eng optimal protseduralarini aniqlash uchun o'rtacha quvvatli bug' qozonini bug' qizdirgichini “bug' sovitgichga sovituvchi suvni sarfdagi rostlash organini siljishi”, “o'ta qizdirilgan bug'ni haroratini o'zgartirish”. Ular ikkinchi tartibli inersion kechikish zveno ko'rinishida ifodalangan.

$$W(s) = \frac{1}{(7s + 1)(5s + 1)} e^{-0.5s}. \quad (3.23)$$

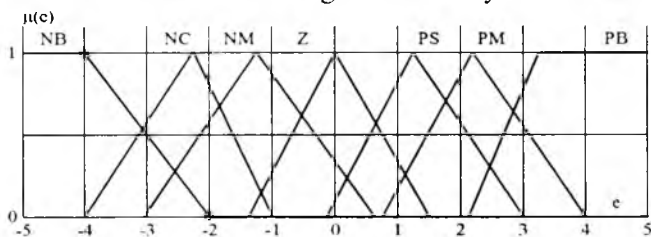
Tadqiqotlar tegishlilik funksiyalarini (TF) tipini, noaniq xulosa qilish operatsiyalari va NK ga defazzifikatsiyalash usullarini obyektga tashqi va parametrik g'alayonlar bo'lganda topshiriq kanali bo'yicha

o'tish jarayonini sifatiga ta'sirini tahlil qilishdan iborat. Tajribaning ikkinchi bosqichi optimal sozlangan NK ni robust xossalarini tahlil qilishdan iborat. Matlab (FLT) dasturiga o'rnatilgan Mamdani algoritmidan foydalanamiz.

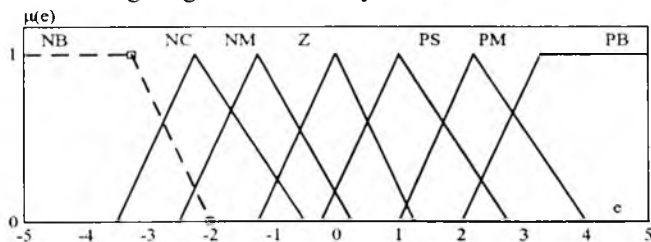
NK ni amalga oshirishda bir qator tadqiqotchilar turli miqdordagi TF ni (2 dan 10 gacha) universumlarning kirish va chiqish parametrlarini turli diapazoni va defazzifikatsiyalanishini turli usullarini tavsiya qiladilar. Uchburchak, trapetsiyasimon ko'rinishdagi [4] 7 ta tegishlilik funksiyalarini lingvistik o'zgaruvchilar (LO') "xato" E , "hosila xatolik" E' , "boshqarish ta'siri" U ta'sirlar sifatida qabul qilamiz.



LO' "xatolik" tegishlilik fuksiyasi



LO' larga tegishlilik funksiyasini "hosila xatosi".



LO' larga tegishli "boshqarish" funksiyasi.

7.3.6-rasm. Noaniq boshqarish tizimining kirish va chiqish lingvistik o'zgaruvchilarining tegishlilik funksiyalari.

Noaniq rostlagichni keltirib chiqarishni qoidalar bazasi 7.3.1-jadvalda foydalangan.

7.3.1- Jadval.

“Boshqaruvchi ta’sir” U uchun noaniq rostlagichning qoidalar bazasi

E	Xatolik hosilasi, E'						
	NB	NS	NM	Z	PM	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	Z	PM	PS
NS	NS	NS	NS	NM	PM	PM	PS
NM	NS	NM	NM	Z	Z	PM	PS
Z	NS	NM	NM	Z	PM	PM	PS
PM	NM	NM	Z	Z	PM	PM	PS
PS	NM	NM	Z	PM	PS	PS	PS
PB	NS	NM	Z	PS	PS	PB	PB

Mamdani algoritmidagi quyidagi operatsiyalardan foydalaniladi:

a. Minimal qiymat usuli:

$$T(E \wedge E') = \min(T(E), T(E')). \quad (7.3.4)$$

b. Algebraik ko'paytma usuli

$$T(E \wedge E') = T(E) \cdot T(E'), \quad (7.3.5)$$

bu yerda E, E' noaniqlikni oldindan aytish.

1. Xulosalar chiqarish usuli (aktivlashtirish)

a. Aktivlashtirish min usuli

$$\mu'(U) = \min(\mu(E), \mu(U)). \quad (7.3.6)$$

b. *prod* – aktivlashtirish usuli

$$\mu'(U) = \mu(E) \cdot \mu(U). \quad (7.3.7)$$

2. Defazzifikatsiyalash usuli:

a. Og'irlik markazi usuli

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \mu(v_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(v_i)}. \quad (7.3.8)$$

b. Maydon markazi usuli

$$U = \frac{\int_{\min}^{\max} v \mu(v) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(v) dx}. \quad (7.3.9)$$

c. O'rtacha maksimum usuli

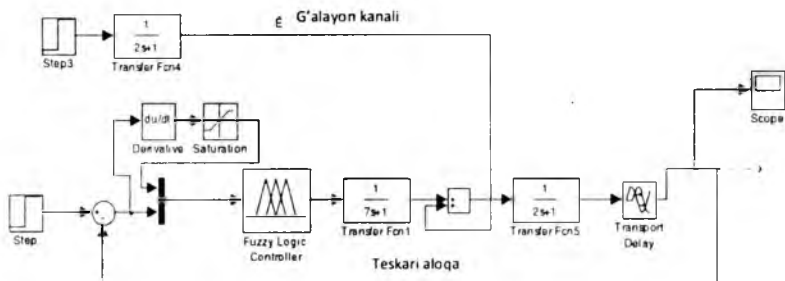
$$U = (\max[v_m] + \min[v_m]) / 2. \quad (7.3.10)$$

d. Chap modal qiymat usuli

$$U = \min[v_m] \quad (7.3.11)$$

e. O'ng modal qiymat usuli

$$U = \max[v_m] \quad (7.3.12)$$



7.3.7-rasm. Noaniq kontrollerli boshqarish tizimi modeli.

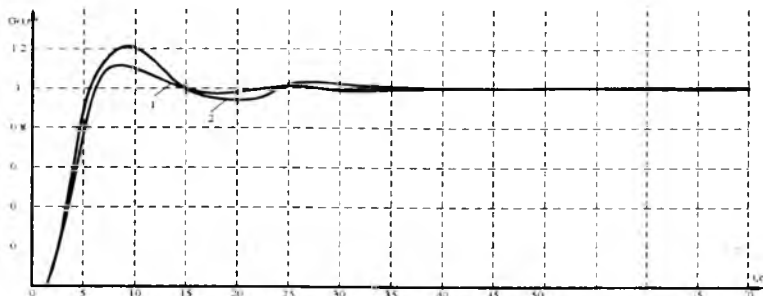
Noaniq kontrollerli (7.3.7-rasm) boshqarish tizimini modellashtirish uchun (7.3.4), (7.3.6), (7.3.8) – formulalardan foydalanamiz. Tegishlilik funksiya (TF) ni tanlab olingan tipini samaradorligini tekshirish uchun olingan o'tish xarakteristikasini TF ni Gauss tipi bo'lgandagi o'tish jarayoni bilan taqqoslashni o'tkazamiz.

Nodavriy jarayonni sifat ko'rsatkichlarini tahlili (rostlash vaqti T_r va birinchi chetlanish G_1) – uchburchak va Z simon turdagi TF ni afzalligini namoyish qiladi ($TF (T_r^1 = 22c, G_1^1 = 1,2; T_r^2 = 27c, G_1^2 = 1,25)$).

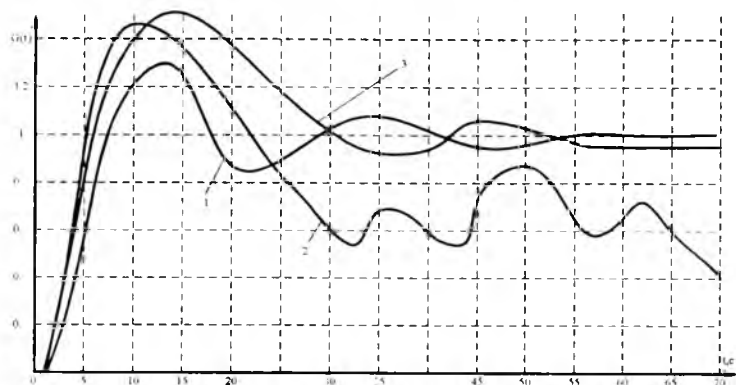
Defazzifikatsiya usullarini tahlil qilish uchun (7.3.9)-(7.3.12) – formulalardan foydalaniladi, natija 7.3.8- rasmda ifodalangan.

Modellash natijalarini (7.3.9 rasm) analiz qilish og'irlik markazi (7.3.8) usulining afzalligi namoyish qiladi. Chunki o'tish jarayoni (7.3.8 rasmdagi 1 – egri chiziq) kichik T_r va qoldiq xatolikni yo'qligi bilan farq qiladi.

Obyekt parametrlarini variatsiyalanishida noaniq ART ni turg'unligini analiz qilish uchun uzatish funksiyalarini rostlash va g'alayonlanish kanallari bo'yicha tajribalar o'tkazilgan (7.3.9 rasm).



7.3.8- rasm. Noaniq ART ni topshiriq kanali bo'yicha o'tish jarayonlari:
1 – uchburchakli TF va Z-simon TF, 2 –gaussli TF.



Turli defazzifikatsiyalash usullarida o'tish jarayonlari

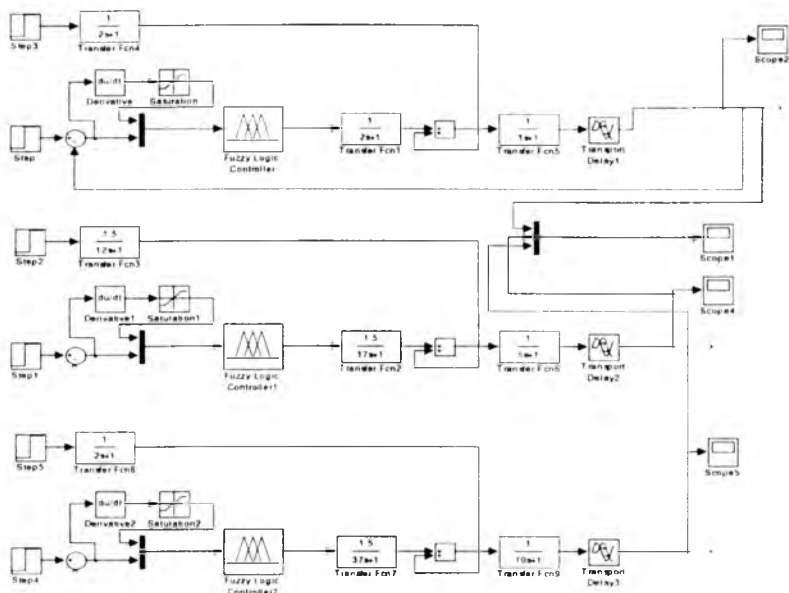
7.3.9-rasm. Turli TF larda va defazzifikatsiyalash usullarida noaniq boshqarish tizimlarini taqqoslab tahlil qilish va modelash natijalari

Rostlash va g'alayonlashishi kanallari bo'yicha mos ravishda quyidagi uzatish funksiyali (7.3.10 rasm) oybektlar ko'rib chiqilgan:

$$W(s) = \frac{2}{(2s+1)(3s+1)} e^{-0.5s}, \quad (7.3.13)$$

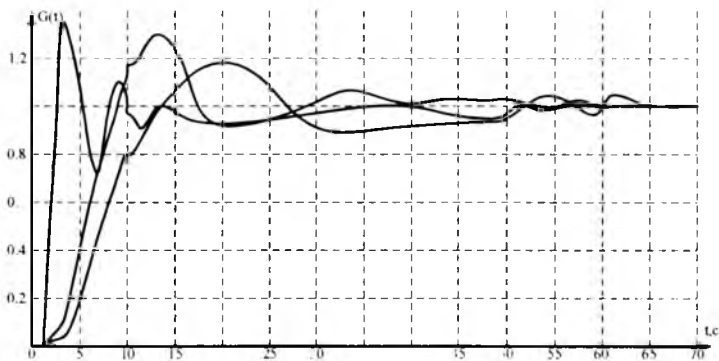
$$W^{N-U}(s) = \frac{1.5}{(12s+1)}, \quad W^{Z-U}(s) = \frac{1.5}{(17s+1)(5s+1)}, \quad (7.3.14)$$

$$W^{Z-U}(s) = \frac{1.5}{(37s+1)(10s+1)} e^{-0.5s}. \quad (7.3.15)$$



7.3.10- rasm. Parametrik va tashqi g'alayonlar ta'sirida noaniq ABT ning sxemalari.

7.3.11-rasmda o'tish jaryonlari ko'rsatilgan.



7.3.11- rasm. Noaniq ABT larning o'tish jarayonlari:

1, 2 va 3 – mos ravishda (7.3.13), (7.3.14) va (7.3.15) ko'rinishdagi obyektlar uchun.

O'tish xarakteristikalarini (7.3.11 rasm) ko'rinishini analiz qilish noaniq ART ni turg'unligi yoki lingvistik o'zgaruvchilarning borligi tufayli uni robustligini ko'rsatadi, bu o'z navbatida PI va PID – rostlagichlari bilan taqqoslanganda noaniq kontroller (NK) ni afzalligini ko'rsatadi. Ammo o'tish jarayonini sifat ko'rsatkichlariga jiddiy qaraganda ART ni noaniq robustligi o'zini algoritmini adaptatsiya qilishni talab qilishi mumkin. Tajribalar yana shuni ko'rsatadiki $K_{os} > 3$ bo'lganda noaniq rostlash tizimi turg'unligini yo'qotadi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, kechikishli tipik inersion obyektlarni boshqarish bo'yicha noaniq rostlagichni sintez qilishda uchburchakli va Z-simon turdagi tegishlilik funksiyalaridan, defazzifikatsiyalash va konyunksiyalar va aktivlashtirishni minimal usullaridan foydalanish tavsiya qilinadi. Hamda shuni ta'kidlash kerakki, noaniq ART turli kanallar bo'yicha obyekt parametrlarini qiymatlarini ma'lum bir o'zgarish intervalida o'zini robustligini namoyon qiladi va maxsus kuzatuvchi bo'lishini talab qilmaydi.

7.4. Qarorlar qabul qilish benchmark – masalasi – loto Bingo usuli

Loto Bingo usuli [1] sifatida ma'lum bo'lgan qarorlarni qabul qilishni modjelli benchmark – masalalari ramkasida qarorlarni qabul qilishni mos keladigan modelini qurishni ancha umumiy yondashishi sifatida tabiatni qo'shma holatlariga asoslangan, tajribaviy yondashish tadqiqotlarni qo'llab o'tkazamiz. Ko'rib chiqilayotgan xulqiy jihatlar – bu tavakkal qilish masalalari.

Faraz qilamiz bingoning tipik barabani ichida qizil havorang va yashil sharchalar bor, ularning miqdorini vizual tarzda aniq aniqlash qiyin, lekin quyidagi tarzda noaniq lingvistik baholash yo'li bilan aniqlash mumkin: “ko'm-ko'k sharchalarning miqdori o'rtacha, qizil sharchalarning miqdori taxminan 30 foiz, yashil sharchalarning miqdori esa e'ng kami”.

Quyidagi variantlarni bittasini tanlab olish uchun ikkita muqobil o'yinlarni ko'rib chiqamiz:

Agar qizil shar tushsa, o'yinchiga \$100 beriladi; agar ko'k sharlar tushsa \$10; agar yashil shar tushsa, o'yinchi \$10 oladi. Muqobil o'yin: agar qizil shar tushsa, o'yinchiga \$10 beriladi; agar ko'k sharlar tushsa \$10; agar yashil shar tushsa, o'yinchi \$100 oladi.

Perspektivalarning kumulyativ nazariyasi (PKN) ushbu holda ehtimolliklar to'g'risidagi axborotli lingvistik xarakterga ega bo'lgani uchun ushbu masalani yechish uchun qo'llanilishi mumkin emas. PMK ni qo'llash bilan bog'liq bo'lgan boshqa muhim masala bu ushbu nazariyada qaror qabul qiluvchi shaxs (QQQSH) yutuq sohasida albatta tavakkal qilmaydigan va yo'qotishlar sohasida tavakkalga ijobiy qaraydigan va shaxs sifatida qaraladi. PKN ning asosida yotgan lekin individuumni xulqiga nisbatan bu taxminlar sifatida shunday qabul qilinmasligi kerak. QQQSH. o'zining naturasi bo'yicha tavakkalni yaxshi ko'radigan bo'lsa u tezroq yutuq sohasida ham tavakkalga borgan bo'lardi. Bunda PKN da hisobga olinmagan boshqa modellar ham bo'lishi mumkin.

Ko'rilayotgan masalani yuqorida qo'yilgan savollar PKN ni yaroqsiz qilib qo'yadi va avvalgi bobda taklif qilingan qo'shma holatlarga asoslangan yondashishdan foydalanishni talab qiladi. Buning sababi shundaki muhokama qilinayotgan yondashish ancha ishonchli va obyektini o'zini tutish jihatlarini modellashtirishda moslashuvchan va tabiiy tilda (TT) tavsiflangan to'liq bo'lmagan axborot bilan ishlashi mumkin. Tabiatning qo'shma holatlariga asoslangan ushbu yondashishga murojaat qilamiz.

$S = \{s_1, s_2, s_3\}$, bu yerda s_1, s_2, s_3 mos ravishda qizil, ko'k va yashil sharlarning tushishi.

Qaror qabul qilish masalasini formal tarzda qurish uchun, tabiatning ehtimollik holatlari bilan bog'langan lingvistik axborotni aniqlash zarur. Ko'k va yashil sharlarning tushish ehtimolligini tavsiflash uchun uchburchakli noaniq sonlar (UNS) dan foydalanamiz va shu asosida qizil sharning tushish ehtimolini hisoblaymiz. Natijada UNS lar terminlarida tavsiflangan quyidagi ehtimolliklarni quramiz:

$$\tilde{P}(s_1) = (0.15, 0.2, 0.25), \tilde{P}(s_2) = (0.45, 0.5, 0.55), \tilde{P}(s_3) = (0.25, 0.3, 0.35)$$

Shunday qilib, biz quyidagi muqobillarga ega bo'lamiz:

$$f_1 = ((0.15, 0.2, 0.25), 100; (0.45, 0.5, 0.55), 10; (0.25, 0.3, 0.35), -10)$$

$$f_2 = ((0.15, 0.2, 0.25), 10; (0.45, 0.5, 0.55), -10; (0.25, 0.3, 0.35), 100)$$

Tabiatning qo'shma holatlariga asoslangan yondashishni qo'llab ushbu muqobillar ustidagi afzalliklarni aniqlaymiz. PKN prinsiplariga muvofiq QQQSH yutuq sohasida tavakkalga moslashmagan va yo'qotishlarga nisbatan tavakkalga ijobiy qaraydi.

Shunday qilib bizning yondashishimizda QQQSH ni ikkita mumkin bo'lgan holatlar to'plami yordamida modellashiramiz $H = \{h_1, h_2\}$, bu yerda h_1 va h_2 – QQQSH ning holati, u mos ravishda tavakkalni qabul qilmaydi va tavakkalga intilishini ifodalaydi. Bu holda PKN asosida yotgan g'oyalar qo'shma holatlarga asoslangan yondashishni amalga oshirishi mumkin.

f_1 muqobil holati uchun faqat quyidagi qo'shimcha holatlar mavjud bo'lishi mumkin: (s_1, h_1) (s_2, h_1) (s_3, h_2) . Haqiqatan ham s_1 va s_2 yutuq holatiga ega. Shuning uchun ushbu holatlarda QQQSH tavakkal qilmaydi, ya'ni QQQSH holati h_2 bo'ladi. Istalgan boshqa qo'shma holat (masalan, (s_1, h_2)) bo'lishi mumkin emas – PKN QQQSH da yutuq sohasida tavakkalga ijobiy tegishli deb qaralmaydi. Lekin ancha samaraliroq modellash uchun tabiatni holatlarini barcha kombinatsiyalarini ko'rib chiqamiz. U holda qo'shma holatlar fazosi 7.4.2-jadvalda ko'rsatilgandek bo'ladi.

7.4.2-jadval.

Tavakkalga nisbatan qo'shma holatlar

	s_1	s_2	s_3
h_1	(s_1, h_1)	(s_2, h_1)	(s_3, h_1)
h_2	(s_1, h_2)	(s_2, h_2)	(s_3, h_2)

Bizning yondashishimizda biz Shoke tipidagi $u(f(s_i, h_j))$ ($f \in \{f_1, f_2\}; i = 1, 2, 3; j = 1, 2$) bi-sig'implarga, asoslangan ($f \in \{f_1, f_2\}; i = 1, 2, 3; j = 1, 2$) umumlashgan integral sifatida muqobillarni umumiy foydaliligini aniqlaymiz. Integral qo'shma holatlar fazosida olinadi. Funksiya $u(f(s_i, h_j))$ h_1 uchun qavariq va h_2 uchun botiq holda tanlab olinadi. Oddiylik uchun PKN da qabul qilingan qimmatlilik funksiyasini qurish usulini qo'llaymiz:

$$\begin{aligned}
 u(f(s_i, h_1)) &= \begin{cases} (f(s_i))^{\alpha}, & f(s_i) \geq 0; \\ -\lambda(-f(s_i))^{\beta} < 0; \end{cases} \\
 u(f(s_i, h_2)) &= \begin{cases} (f(s_i))^{\beta}, & f(s_i) \geq 0; \\ -\lambda(-f(s_i))^{\alpha} < 0; \end{cases}
 \end{aligned} \tag{7.4.1}$$

bu yerda $\alpha = 0,88, \beta = 1,25$.

Bu $u(f(\cdot, h_1))$ botiq funksiya ekanini, $u(f(\cdot, h_2))$ – yutuqlar va yo'qotishlar uchun qavariq funksiya ekanini bildiradi. $\bar{\eta}$ noaniq birgalikdagi ehtimolliklardan (NBE) $\bar{P}(s, h)$ qo'shma holatlardan olinadi (s, h), $s \in S$, $h \in H$.

6 - bobda keltirilgan usulologiya asosan tabiat holatlari va QQQSH holatlar uchun noaniq shartsiz ehtimolliklarda qo'shmaholatlar ustida NBE ni aniqlash keyingi qadam bo'ladi: $\bar{P}(s_i)$ va $\bar{P}(h_j)$. Biz QQQSH holatlari ustidan Noaniq ehtimolliklarni $\bar{P}(h_j)$ belgilashimiz zarur. Tabiiy holda shaxsni tavakkal qilishiga munosabatlar jadalligi to'g'risidagi aniq axborotli, aniq haqiqiy ehtimolliklarni h_1 va h_2 tegishlilik ma'lum.

Jadallik to'g'risidagi bor axborotli QQQSH h_1 ni tavakkal qilishni ko'rib chiqamiz, u h_2 tavakkal qilishga intilishdan ortiq bo'ladi. Noaniq relevant axborotli noaniq ehtimolliklar bilan tavsiflangan bo'lsin: $\bar{P}(h_1) = (0.65, 0.7, 0.75)$, $\bar{P}(h_2) = (0.25, 0.3, 0.35)$. Noaniq marginal taqsimlanishlarda $\bar{P}(s)$, $\bar{P}(h)$ ni birgalikdagi noaniq ehtimollik (BNE) dan istalgan qo'shma holatlardan paydo bo'lishini hisobga olib $P(s, h)$ hisoblab topamiz. NBE ni taqsimlanishi musbat bog'lanish va hodisalar uchun manfiy bog'lanish konsepsiyalari asosida olinishi mumkin [3,4]. f_1 muqobil uchun elementlar orasidagi (hodisalar sifatida qaraladigan) musbat bog'lanishi bor deb faraz qilamiz. Juftlik (s_1, h_1) , (s_2, h_1) (s_3, h_2) elementlari orasida musbat bog'lanish bor (bu tabiatni holati va QQQSH ni o'zini tutishi, ular PKN ga mos ravishda o'ringa ega) va elementlar orasidagi manfiy bog'lanish (hodisa sifatida qaraladigan) (s_1, h_2) , (s_2, h_2) (s_3, h_1) (bu tabiat holatini kombinatsiyasi va QQQSH ni o'zini tutishi bo'lgani uchun, ular PKN ga asosan bo'lishi mumkin emas). U holda NBE navbatdagi trapetsiyadan sonlar sifatida noaniq marginal ehtimolliklardan olinadi:

$$\bar{P}(s_1, h_1) = (0.0825, 0.12, 0.2, 0.25); \quad \bar{P}(s_2, h_1) = (0.2475, 0.3, 0.5, 0.55);$$

$$\bar{P}(s_3, h_1) = (0, 0, 0.18, 0.26); \quad \bar{P}(s_1, h_2) = (0, 0, 0.08, 0.1125);$$

$$\bar{P}(s_2, h_2) = (0, 0, 0.2, 0.2475); \quad \bar{P}(s_3, h_2) = (0.07, 0.12, 0.3, 0.4).$$

f_2 ga o'xshab (s_1, h_1) , (s_2, h_2) (s_3, h_1) elementlari orasida musbat bog'lanish bor va (s_1, h_{21}) , (s_2, h_1) (s_3, h_2) elementlari orasida manfiy bog'lanish bor deb hisoblab, NBE ni olamiz.

$$\bar{P}(s_1, h_1) = (0.0825, 0.12, 0.2, 0.25); \quad \bar{P}(s_2, h_1) = (0.1, 0.2, 0.3, 0.3575);$$

$$\begin{aligned}\bar{P}(s_3, h_1) &= (0.11, 0.18, 0.3, 0.4), \quad \bar{P}(s_1, h_2) = (0, 0, 0.08, 0.1125), \\ \bar{P}(s_2, h_2) &= (0.1575, 0.2, 0.4, 0.45), \quad \bar{P}(s_3, h_2) = (0, 0, 0.12, 0.18)\end{aligned}$$

Endi bizga noaniq umumiy foydaliligi $\bar{U}(f_1)$ va $\bar{U}(f_2)$ ni olishimiz kerak, ular quyidagicha hisoblanadi:

$$\begin{aligned}\bar{U}(f_1) &= (|u(f_1(s_1, h_2))| - |u(f_1(s_1, h_1))|)(\bar{\eta}(\{(s_1, h_2)\}, \emptyset)) + \\ &(|u(f(s_1, h_1))| - |u(f(s_3, h_1))|)(\bar{\eta}(\{(s_1, h_2), (s_1, h_1)\}, \emptyset)) + \\ &(|u(f(s_3, h_1))| - |u(f(s_2, h_2))|)\bar{\eta}(\{(s_1, h_2), (s_1, h_1)\}, \{(s_3, h_1)\}) + \\ &(|u(f(s_2, h_2))| - |u(f(s_3, h_2))|) \times \\ &\times \bar{\eta}(\{(s_1, h_2), (s_1, h_1), (s_2, h_2)\}, \{(s_3, h_1)\}) + \\ &(|u(f(s_3, h_2))| - |u(f(s_2, h_1))|) \times \\ &\times \bar{\eta}(\{(s_1, h_2), (s_1, h_1), (s_2, h_2)\}, \{(s_3, h_1), (s_3, h_2)\}) + \\ &+ |u(f(s_2, h_1))|\bar{\eta}(\{(s_1, h_2), (s_1, h_1), (s_2, h_2), (s_2, h_1)\}, \{(s_3, h_1), (s_3, h_2)\}),\end{aligned}\tag{7.4.2}$$

$$\begin{aligned}\bar{U}(f_2) &= (|u(f_2(s_3, h_2))| - |u(f_2(s_3, h_1))|)(\bar{\eta}(\{(s_3, h_2)\}, \emptyset)) + \\ &(|u(f(s_3, h_1))| - |u(f(s_2, h_1))|)(\bar{\eta}(\{(s_3, h_2), (s_3, h_1)\}, \emptyset)) + \\ &(|u(f(s_2, h_1))| - |u(f(s_1, h_2))|)\bar{\eta}(\{(s_3, h_2), (s_3, h_1)\}, \{(s_2, h_1)\}) + \\ &(|u(f(s_1, h_2))| - |u(f(s_2, h_2))|)\bar{\eta}(\{(s_3, h_2), (s_3, h_1), (s_1, h_2)\}, \\ &\{(s_2, h_1)\}) + (|u(f(s_2, h_2))| - |u(f(s_1, h_1))|)\bar{\eta}(\{(s_3, h_2), (s_3, h_1), \\ &(s_1, h_2)\}, \{(s_2, h_1), (s_2, h_2)\}) + |u(f(s_1, h_1))|\bar{\eta}(\{(s_3, h_2), (s_3, h_1), \\ &(s_3, h_2), (s_3, h_1)\}, \{(s_2, h_1), (s_2, h_2)\})\end{aligned}\tag{7.4.3}$$

bu yerda foydaliliklar (7.4.1) yordamida aniqlanadi.

Biz noaniq qiymatli $\bar{\eta}_{\bar{p}}(\mathcal{V}, \mathcal{W})$ aniqlaymiz (7.4.2), (7.4.3) lardan bi-sig‘imli $\bar{\eta}_{\bar{p}}(\mathcal{V}, \mathcal{W}) = \bar{\eta}_{\bar{p}}(\mathcal{V}) - \bar{\eta}_{\bar{p}}(\mathcal{V}\mathcal{W})$ ayirma sifatida noaniq qiymatli $\bar{\eta}_{\bar{p}}$ kichik ehtimolli qiymatlarni ko‘rsatilgan ayirma sifatida aniqlaymiz. Oxirgi ifoda [1] da ko‘rsatilgandek aniqlanadi f_1 va f_2 larning qiymatlari 7.4.3- va 7.4.4 - jadvallarda keltirilgan.

(7.4.2) va (7.4.3) lar yordamida uchburchakli noaniq son (UNS) sifatida olingan umumiy noaniq foydalilik quyidagilar: $\bar{U}(f_1) = (5.8, 8.3, 8.7)$, $\bar{U}(f_2) = (1.8, 6.15, 8.6)$. Bu noaniq foydalilikni taqqoslab va (6.2) formuladan foydalanib, hosil qilamiz: $Deg(f_1 \succ_1 f_2) = 0.059$, $Deg(f_2 \succ_1 f_1) = 0.023$. Shunday qilib

$Deg(\bar{f}_1 \succ_1 \bar{f}_2) > Deg(\bar{f}_2 \succ_1 \bar{f}_1)$, u holda eng yaxshi formal yechim $\bar{f}_1$ bo'ladi.

7.4.3- jadval.

f_1 uchun olingan noaniq qiymatli bi-sig'im

$\mathcal{V}, \mathcal{W} \subset \Omega$	$\bar{\eta}_\mu(\mathcal{V}, \mathcal{W})$	$\bar{\eta}_\mu(\mathcal{V})$	$\bar{\eta}_\mu(\mathcal{W})$
$\{(s_1, h_1)\}, \emptyset$	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
$\{(s_1, h_2), (s_1, h_1)\}, \emptyset$	(0,0.0825,0.12)	(0,0.0825,0.12)	(0,0,0)
$\{(s_1, h_2), (s_1, h_1)\}, \{(s_1, h_1)\}$	(0,0.0825,0.12)	(0,0.0825,0.12)	(0,0,0)
$\{(s_1, h_1), (s_1, h_1), (s_2, h_1)\}, \{(s_1, h_1)\}$	(0,0.0825,0.12)	(0,0.0825,0.12)	(0,0,0)
$\{(s_1, h_2), (s_1, h_1), (s_2, h_2)\}, \{(s_1, h_1), (s_1, h_2)\}$	(0,0.0825,0.12)	(0,0.0825,0.12)	(0,0,0)
$\{(s_1, h_2), (s_1, h_1), (s_2, h_2), (s_2, h_1)\}, \{(s_1, h_1), (s_1, h_2)\}$	(0.22,0.3,0.35)	(0.34,0.34,0.42)	(0.07,0.12,0.12)

7.4.4- jadval.

f_2 uchun olingan noaniq qiymatli bi-sig'im

$\mathcal{V}, \mathcal{W} \subset \Omega$	$\bar{\eta}_\mu(\mathcal{V}, \mathcal{W})$	$\bar{\eta}_\mu(\mathcal{V})$	$\bar{\eta}_\mu(\mathcal{W})$
$\{(s_1, h_2)\}, \emptyset$	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
$\{(s_1, h_2), (s_1, h_1)\}, \emptyset$	(0.11,0.11,0.18)	(0.11,0.11,0.18)	(0,0,0)
$\{(s_1, h_2), (s_1, h_1)\}, \{(s_2, h_1)\}$	(0.11,0.11,0.18)	(0.11,0.11,0.18)	(0,0,0)
$\{(s_1, h_2), (s_1, h_1), (s_2, h_2)\}, \{(s_2, h_1)\}$	(0.11,0.11,0.18)	(0.11,0.11,0.18)	(0,0,0)
$\{(s_1, h_2), (s_1, h_1), (s_2, h_2)\}, \{(s_2, h_1), (s_2, h_2)\}$	(-0.19,-0.12,0.0225)	(0.11,0.11,0.18)	(0.1575,0.3,0.3)
$\{(s_1, h_2), (s_1, h_1), (s_2, h_2), (s_2, h_1)\}, \{(s_1, h_1), (s_2, h_2)\}$	(-0.1075,0,0.1425)	(0.1925,0.3,0.3)	(0.1575,0.3,0.3)

Bu masalani PKN ni qo'llab yechamiz. Aniq obyektiv ehtimolliklar $P(s_1)$, $P(s_2)$, $P(s_3)$ noma'lum bo'lgani uchun biz $P(s_1)=0.2$, $P(s_2)=0.5$, $P(s_3)=0.5$ turdagi taxminiy qiymatlargacha

ehtimollik bilan bog'langan QQSH ni aniqlashimiz zarur. PKN ni qo'llab ushbu hol uchun quyidagi bizning muqobillarni umumiy foydaliligini hosil qildik: $U(f_1) = 12.4$, $U(f_2) = 11.35$. Shunday qilib $f_1 > f_2$.

PKM ni yordamida ko'rilayotgan masalani yechishda ehtimolliklar uchun shunday son qiymatlaridan foydalanilganki, ular qo'shma holatlarga -li asoslangan yondashish yordamida olingan eng yaxshi muqobilga olib keladi. Lekin, umumiy holda aniq sonlarni sifatli axborotga ekvivalent sifatida foydalanish mumkin emas. Ko'rilayotgan masalada (va amaliyotdagi ko'plab masalalarda) sifatli mukammal bo'lmagan axborotli, noaniqlikni taxminiy aniq sonlar va oraliqlar ham qabul qilishga asoslangan axborotlini almashtirish ham ko'pincha xatolikka olib keladi. Bu yaqinlashishlar oddiy taxminlar bo'lib, u ko'p miqdordagi foydali axborotlini hisobga olmaydi. Bu o'z navbatida noto'g'ri yechimlarga olib keladi. PKNga asosan f_1 ga nisbatan yaxshi.

Taklif qilinayotgan yondashishda PKNga nisbatan axborotlini noaniqligi aniqroq saqlanadi va ba'zi bir tengsizliklarni qoldirib, muqobilni so'nggi taqqoslashda qatnashadi.

7.5. Hisoblash intellektini iqtisodiyotda qo'llash

7.5.1. Makroiqtisodiyotda noaniq qarorlar qabul qilish

Ishlab chiqarish faoliyatida ichki yalpi mahsulot (IYM) Ishlab chiqarish iste'moliga, val. kontakt qurilmalarga va noishlab chiqarish iste'moliga bo'linganda, ishlab chiqarish faktorlari modelni orasidagi o'zaro ta'sirni ifodalaydigan bir mahsulotli dinamik makroiqtisodiy modelni ko'rib chiqamiz. O'z navbatida ishlab chiqarish iste'moli to'liq ravishda kapital hosil qilish va amortizatsiya uchun foydalaniladi. Bu jarayonlar noaniqliklar borligi bilan murakkablashadi, u kelajakdagi an'analarni, ko'zda tutilmagan holatlar va boshqa iqtisodiy jarayonlarga xos bo'lgan noaniqliklar mavjudligi bilan murakkablashadi. Yuqorida ko'rsatilgan farazlar asosida dinamik iqtisodiy model quyidagi noaniq differensial tenglama (NDT) bilan tavsiflanishi mumkin:

$$\frac{d\bar{K}}{dt} = \frac{1}{q} \left((1-a)\bar{u}_1 - \mu\bar{K} - \bar{u}_2 \right) \quad (7.5.1)$$

bu yerda $\bar{K}$ -kapital to'g'risidagi noaniq axborotlini, ya'ni kapitalni noaniq qiymatini tavsiflovchi noaniq o'zgaruvchi; $\bar{u}_1$ -ichki val mahsulot (IYM) (boshqarishni birinchi o'zgaruvchisi), $\bar{u}_2$ -noishlab chiqarish iste'molining noaniq qiymati (boshqarishni ikkinchi o'zgaruvchisi), a, μ, q -ishlab chiqarish iste'moli bilan, toza kapital hosil qilinishi bilan va mos ravishda amortizatsiya bilan bog'liq bo'lgan koeffitsiyentlar.

Planlashtirish $[t_0, T]$ davri mobaynida optimal boshqarishni (7.5.1) to'rtta obyektiv maqsadli funksiyali (mezonli) ko'p mezonli masalasiga murojaat qilamiz: foyda ($\bar{J}_1$), ishlab chiqarish sarflarini (ICHS) kamaytirish ($\bar{J}_2$), davrni oxirida kapitalning qiymati $[t_0, T]$ $\bar{J}_3$, $[t_0, T]$ $\bar{J}_4$ bo'yicha to'g'ridan to'g'ri istemol qilishning yig'indisi. [2.8].

$$\begin{aligned} \sup_{\bar{u} \in U} (\bar{J}_1(\bar{u})) &= \int_{t_0}^T p(t) \bar{u}_2(t) (dt), \\ \bar{J}_2(\bar{u}) &= -c \int_{t_0}^T |\bar{u}_1(t)| dt, \quad \bar{J}_3(\bar{u}) = \bar{K}(T), \\ \bar{J}_4(\bar{u}) &= \int_{t_0}^T \theta(t) \bar{u}_2(t) dt, \end{aligned} \quad (7.5.2)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{K}}{dt} &= \frac{1}{q} \left((1-a)\bar{u}_1 - \mu\bar{K} - \bar{u}_2 \right) \\ \bar{K}(t) &\in E^1, \quad t \in [t_0, T], \quad \bar{K}(t_0) = \bar{K}_0, \\ \bar{K}(T) &\in K(T), \\ K(T) &= \{ \bar{K} \in E^1 : \bar{K}_* \leq \bar{K}(T) \leq \bar{K}^* \}, \\ \bar{u} &= (\bar{u}_1, \bar{u}_2)^T \in U = U_1 \times U_2 \subset E^2 \\ U_1 &= \{ \bar{u}_1 \in E^1 : \bar{u}_1^* \leq \bar{u}_1(t) \leq \bar{u}_1^* \}, \\ U_2 &= \{ \bar{u}_2 \in E^1 : \bar{u}_2^* \leq \bar{u}_2(t) \leq \bar{u}_2^* \}, \end{aligned} \quad (7.5.3)$$

bu yerda $p(t)$ t - vaqt ichida ishlab chiqarilgan birlik mahsulotni narxi; $\theta(t)$ -diskontli funksiya, T -prognozlash muddati (yoki planlashtirish), $c = \text{const} > 0$.

Ko'rib chiqilayotgan masala quyidagi tarzda birinchi bosqichda (7.5.3) yordamida belgilanadigan yo'l qo'yilgan yechimlar sohasini

aniqlash zarur. Har bir mumkin bo'lgan yechim ikkita boshqaruvchi ta'sirlar $\tilde{u}_1$ va $\tilde{u}_2$ bilan ifodalanagan, ular uchun (7.5.3) tenglama qoniqtiriladi. Oddiylilik uchun $\tilde{u}_1$ va $\tilde{u}_2$ larni $\tilde{u}_1$ sifatida tanlab olamiz va shunday a_1, b_1, a_2, b_2 larni aniqlaymizki, ular (7.5.3) tenglamani qanoatlantirsin. Shunday a_1, b_1, a_2, b_2 larni aniqlash (7.5.1) NDT ni yechishni talab qiladi. (7.5.1) va (7.5.4)– (7.5.5) larni hisobga olib, NDT tenglamani yechish (7.4) quyidagi tarzda ifodalanadi:

$$\begin{aligned} \tilde{K}(t) &= \bigcup_{\alpha \in (0,1)} \alpha [K_1^\alpha(t), K_2^\alpha(t)] \\ \begin{cases} K_1^\alpha(t) = -\frac{\beta}{\gamma} + \left(K_1^\alpha(t_0) + \frac{\beta}{\gamma} \right) e^{\gamma t} \\ K_2^\alpha(t) = -\frac{\beta}{\gamma} + \left(K_2^\alpha(t_0) + \frac{\beta}{\gamma} \right) e^{\gamma t} \end{cases} \end{aligned} \quad (7.5.6)$$

bu yerda $\beta = b_2 - b_1(1-a)$, $\gamma = (1-a)a_1 - (\mu + a_2)$

Ikkinchi bosqichda, avvalgi bosqichda aniqlangan, mumkin bo'lgan yechimlar uchun (7.5.13) dagi mezonlarni qiymatini hisoblash zarur bo'ladi. (7.5.2) mezonlarni diskret shaklini ko'rib chiqamiz:

$$\begin{cases} J_{11}^\alpha = \sum_{n=0}^N p \left(a_2 \left(-\frac{\beta}{\gamma} + \left(K_{01}^\alpha + \frac{\beta}{\gamma} \right) e^{\gamma n \Delta} \right) + b_2 \right) \Delta, \\ J_{12}^\alpha = \sum_{n=0}^N p \left(a_2 \left(-\frac{\beta}{\gamma} + \left(K_{02}^\alpha + \frac{\beta}{\gamma} \right) e^{\gamma n \Delta} \right) + b_2 \right) \Delta, \end{cases} \quad (7.5.7)$$

$$\begin{cases} J_{21}^\alpha = -c \sum_{n=0}^N \left| a_1 \left(-\frac{\beta}{\gamma} + \left(\tilde{K}_0 + \frac{\beta}{\gamma} \right) e^{\gamma n \Delta} \right) + b_1 \right|_2^\alpha \Delta, \\ J_{22}^\alpha = -c \sum_{n=0}^N \left| a_1 \left(-\frac{\beta}{\gamma} + \left(\tilde{K}_0 + \frac{\beta}{\gamma} \right) e^{\gamma n \Delta} \right) + b_1 \right|_1^\alpha \Delta, \end{cases} \quad (7.5.8)$$

$$\begin{cases} J_{31}^\alpha = \left(-\frac{\beta}{\gamma} + \left(\tilde{K}_{01} + \frac{\beta}{\gamma} \right) \right) e^{\gamma m \Delta} \\ J_{32}^\alpha = \left(-\frac{\beta}{\gamma} + \left(\tilde{K}_{02} + \frac{\beta}{\gamma} \right) \right) e^{\gamma m \Delta} \end{cases} \quad (7.5.9)$$

$$\begin{cases} J_{41}^a = \Delta \sum_{n=1}^N e^{m\Delta} \left(\left(-\frac{\beta}{\gamma} + \left(K_{01}^a + \frac{\beta}{\gamma} \right) e^{m\Delta} \right) a_2 + b_2 \right), \\ J_{42}^a = \Delta \sum_{n=1}^N e^{m\Delta} \left(\left(-\frac{\beta}{\gamma} + \left(K_{02}^a + \frac{\beta}{\gamma} \right) e^{m\Delta} \right) a_2 + b_2 \right). \end{cases} \quad (7.5.10)$$

Uchinchi bosqichda avvalgi bosqichdagi mumkin bo'lgan yechimlar uchun hisoblangan mezonlarning qiymatlarida, mezonlarni maksimallashtirish rejasida (7.5.7)- (7.5.10) Pareto-optimal yechimlarni ajratish zarur. To'rtinchi bosqichdagi har bir juftlik uchun nbF , neF , nwF larni hisoblash zarur. Noaniq Pareto-optimallik (NPO) ga asoslangan shakl, noaniq ko'p mezonli masalalar uchun [9] taklif qilinadi. Masalamizda noaniq qiymatli mezonlarni ko'rib chiqarmiz. Natijada, [9] da taklif qilingan μ_b , μ_r , μ_w larni hisoblash o'rniga, noaniq to'plamlar $\tilde{A}_b$, $\tilde{A}_r$, $\tilde{A}_w$ da ayirmalarga o'xshashlik imkoniyatlarini hisoblab chiqamiz, ular mos ravishda "yaxshi", "ekvivalent" va "yomon" lingvistik baholari bilan tavsiflanadi. U holda nbF , neF , nwF lar quyidagi tarzda hisoblanadi:

$$nbF(\tilde{u}', \tilde{u}^k) = \sum_{j=1}^M P_{\tilde{A}_b}(\delta_j^{t,k}), \quad (7.5.11)$$

$$neF(\tilde{u}', \tilde{u}^k) = \sum_{j=1}^M P_{\tilde{A}_r}(\delta_j^{t,k}), \quad (7.5.12)$$

$$nwF(\tilde{u}', \tilde{u}^k) = \sum_{j=1}^M P_{\tilde{A}_w}(\delta_j^{t,k}), \quad (7.5.13)$$

bu yerda $\delta_j^{t,k} = \tilde{J}_j(\tilde{u}') - \tilde{J}_j(\tilde{u}^k)$

$$P_{\tilde{A}_b}(\delta_j^{t,k}) = \frac{Poss(\delta_j^{t,k} | \tilde{A}_b)}{Poss(\delta_j^{t,k} | \tilde{A}_b) + Poss(\delta_j^{t,k} | \tilde{A}_r) + Poss(\delta_j^{t,k} | \tilde{A}_w)},$$

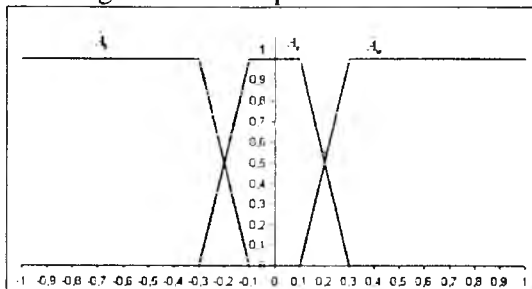
$$P_{\tilde{A}_r}(\delta_j^{t,k}) = \frac{Poss(\delta_j^{t,k} | \tilde{A}_r)}{Poss(\delta_j^{t,k} | \tilde{A}_b) + Poss(\delta_j^{t,k} | \tilde{A}_r) + Poss(\delta_j^{t,k} | \tilde{A}_w)},$$

$$P_{\tilde{A}_w}(\delta_j^{t,k}) = \frac{Poss(\delta_j^{t,k} | \tilde{A}_w)}{Poss(\delta_j^{t,k} | \tilde{A}_b) + Poss(\delta_j^{t,k} | \tilde{A}_r) + Poss(\delta_j^{t,k} | \tilde{A}_w)},$$

Ifoda $P_{\tilde{A}_b}(\delta_j^{t,k}) + P_{\tilde{A}_r}(\delta_j^{t,k}) + P_{\tilde{A}_w}(\delta_j^{t,k}) = 1$ barcha $j, \tilde{u}', \tilde{u}^k$ uchun o'rinli:

$$nbF(\tilde{u}', \tilde{u}^k) + neF(\tilde{u}', \tilde{u}^k) + nwF(\tilde{u}', \tilde{u}^k) = \sum_{j=1}^M (P_{\tilde{A}_b}(\delta_j'^k) + P_{\tilde{A}_e}(\delta_j'^k) + P_{\tilde{A}_w}(\delta_j'^k)) = M, \quad (7.5.14)$$

$\tilde{A}_b$, $\tilde{A}_e$, $\tilde{A}_w$ tegishlilik funksiyalarini 7.5.1-rasmda ko'rsatilgan. Beshinchi bosqichda [7] yondashish NPO ga asoslangan holda $nbF(\tilde{u}', \tilde{u}^k)$, $neF(\tilde{u}', \tilde{u}^k)$, va $nwF(\tilde{u}', \tilde{u}^k)$ lar asosida $kF = \max_{\tilde{u}^k \in U} (1 - d(\tilde{u}', \tilde{u}^k))$ ni hisoblashimiz kerak, ya'ni $\tilde{u}^k$ dan yuqori bo'lgan $1 - kF$ uchun eng katta kF ni topishimiz kerak bo'ladi.



7.5.1-rasm. $\tilde{A}_b$, $\tilde{A}_e$, $\tilde{A}_w$ tegishlilik funksiyasi.

Oxirgi bosqichda har bir $\tilde{u}^*$ uchun uni optimallik darajasi $do(\tilde{u}^*)$ ni aniqlash va eng yuqori do ni yechimini optimal yechim deb tanlab olish kerak. Quyidagi qiymatlarda (7.6)-(7.7) masalani yechimini ko'rib chiqamiz:

$$\tilde{K}_0 = (2000, 2020, 2040),$$

$$\tilde{K}^* = 2000, \tilde{K}^* = 3000,$$

$$\tilde{u}_1^* = 600, \tilde{u}_1^* = 800,$$

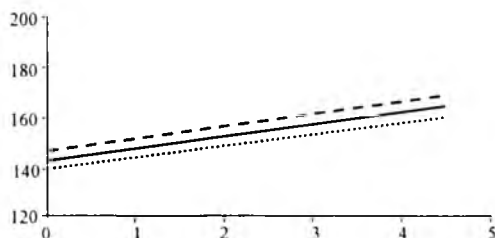
$$\tilde{u}_2^* = 450, \tilde{u}_2^* = 550,$$

$$p = 1500; c = 0.5; a = 0.05; q = 0.95; \mu = 0.08.$$

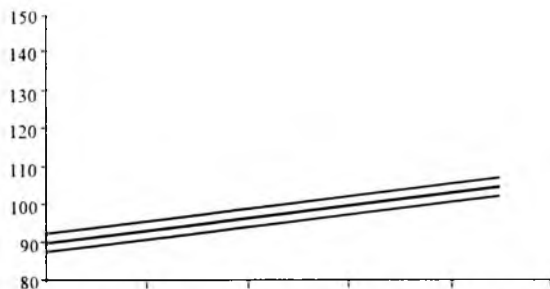
Yuqorida ko'rsatilgan, birinchi bosqichda biz $\tilde{u}' = (\tilde{u}'_1, \tilde{u}'_2)$, bu yerda $\tilde{u}'_1(t, \tilde{K}) = a'_1 \tilde{K} + b'_1$ $\tilde{u}'_2(t, \tilde{K}) = a'_2 \tilde{K} + b'_2$ ko'rilayotgan muommoning taxminiy ko'pligi mumkin bo'ladigan yechimlarini oldik. Olingan mumkin bo'lgan a'_1, b'_1, a'_2, b'_2 qiymatlarni yechimi 7.5.1-jadvalda ko'rsatilgan.

Mumkin bo'ladigan yechimlar	a'_1	a'_2	b'_1	b'_2
$\tilde{u}^1$	0.305	0.224	10	0.12
$\tilde{u}^2$	0.305	0.225	9	0.15
$\tilde{u}^3$	0.305	0.225	8	0.15
$\tilde{u}^4$	0.305	0.225	9	0.12
$\tilde{u}^5$	0.3	0.225	9	0.12
$\tilde{u}^6$	0.3	0.225	10	0.12
$\tilde{u}^7$	0.3	0.223	10	0.12
$\tilde{u}^8$	0.31	0.22	10	3
$\tilde{u}^9$	0.33	0.224	10	0.12

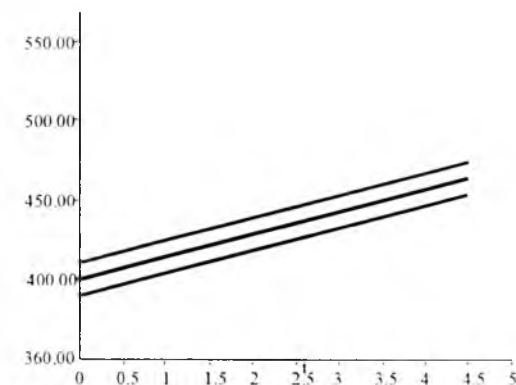
7.5.2-, 7.5.3- va 7.5.4-rasmlarda mumkin bo'lgan yechimlar #1 uchun grafiklar ko'rsatilgan.



7.5.2-rasm. $\tilde{u}'_1(t, \tilde{K}) = a'_1 \tilde{K} + b'_1$ ni grafik tasvirlanishi.



7.5.3-rasm. $\tilde{u}'_2(t, \tilde{K}) = a'_2 \tilde{K} + b'_2$ ni grafik tasvirlanishi.



7.5.4-rasm. Noaniq qiymatli kapital $\bar{K}$

Ikkinchi bosqichda olingan mumkin bo'lgan yechimlar uchun mezonlarning (7.3.5) qiymatlarini hisoblash kerak. Noaniq qiymatlarni hisoblash uchburchakli noaniq sonlar kabi bo'ladi. 7.5.2-jadvalda ko'rsatilgan.

7.5.2-jadval

Mumkin bo'lgan yechimlar (mezonlar fazasi)

Mumkin bo'lgan yechimlar	Mezonlar qiymati			
	$\bar{J}_1$	$\bar{J}_2$	$\bar{J}_3$	$\bar{J}_4$
1	(670954,626, 687200,857, 703447,087)	(-1070,457, -1046,281, -1022,105099)	(3988,42, 4085,124, 4181,827901)	(502,359, 514,492446, 526,6254)
2	(668807,465, 685088,168, 701368,871)	(-1059,898, -1035,779, -1011,659207)	(3956,637, 4053,115, 4149,59309)	(500,5737, 512,731071, 524,8885)
3	(665105,286, 681385,9899, 697666,693)	(-1051,914, -1027,794, -1003,674499)	(3934,698, 4031,176, 4127,654476)	(497,6791, 509,836546, 521,9939)
4	(668699,375, 684980,0789, 701260,782)	(-1060,072, -1035,952, -1011,832409)	(3957,33, 4053,808, 4150,286115)	(500,4968, 512,654183, 524,8116)
5	(661461,048, 677562,6995, 693664,351)	(-1048,818, -1024,963, -1001,10896)	(3914,436, 4009,853, 4105,270228)	(494,8373, 506,854759, 518,8723)
6	(665134,454, 681236,1055,	(-1056,76, -1032,905,	(3936,204, 4031,621,	(497,7089, 509,726361,

	697337,757)	-1009,051043)	4127,038559)	521,7439)
7	(662249,124, 678282,0302, 694314,936)	(-1061,495, -1037,529, -1013,563714)	(3954,255, 4050,117, 4145,97869)	(495,6512, 507,620016, 519,5888)
8	(682863,938, 699150,9615, 715437,984)	(-1074,906, -1050,229, -1025,551423)	(4002,206, 4100,915, 4199,624146)	(511,3391, 523,514041, 535,689)
9	(708998,736, 726182,7931, 743366,85)	(-1129,861, -1104,29, -1078,718358)	(4214,873, 4317,159, 4419,445534)	(532,136, 545,002452, 557,8689)

Endi fazolar mezonlarida (7.5.7) - (7.5.10), tavsiflangan mumkin bo'lgan yechimlarda Pareto-optimal yechimlarini mos ravishda ko'pligini aniqlashimiz kerak. 7.5.3-jadvalda Pareto-optimal yechimlar keltirilgan.

7.5.3 -Jadval

Pareto-optimal ko'pliklar

Mumkin bo'lgan yechimlar	Mezonlar qiymatlari			
	J_1	J_2	J_3	J_4
1	(670954.6266, 687200.857, 703447.087)	(-1070.457, -1046.281, -1022.105099)	(398.42, 4085.124, 4181.827901)	(502.3595, 514.492446, 526.6254)
2	(668807.465, 685088.168, 701368.871)	(-1059.898, -1035.779, -1011.659207)	(3956,637, 4053.115, 4149.593309)	(500.5737, 512.731071, 524.8885)
3	(665105.2869, 681385.9899, 697666.693)	(-1051.914, -1027.794, -1003.674499)	(3934.698, 4031.176, 4127.654476)	(497.6791, 509.836546, 521.9939)
4	(668699.3759, 684980.0789, 701260.782)	(-1060.072, -1035.952, -1011.832409)	(3957.33, 4053.808, 4150.286115)	(500.4968, 512.654183, 524.8116)
5	(665134.4541, 681236.1055, 697337.757)	(-1056.76, -1032.905, -1009.051043)	(3936.204, 4031.621, 4127.038559)	(497.7089, 509.726361, 521.7439)
6	(682863.9389, 699150.9615, 715437.984)	(-1074.906, -1050.229, -1025.551423)	(4002.206, 4100.915, 4199.624146)	(511.3391, 523.514041, 535.689)
7	(708998.7365, 726182.7931, 743366.85)	(-1129.861, -1104.29, -1078.718358)	(4214.873, 4317.159, 4419.445534)	(532.136, 545.002452, 557.8689)

Keyingi bosqichda nbF, neF, mvF larni qiymatlarini hisoblashimiz kerak. nbF, neF, mvF larning qiymatlari 6-bobda ko'rsatilganlarga o'xshab hisoblanadi. Natijalar 7.5.4-, 7.5.5- va 7.5.6-jadvallarda keltirilgan.

7.5.4- Jadval

nbF ning qiymatlari

$\tilde{u}^1$	$\tilde{u}^1$	$\tilde{u}^2$	$\tilde{u}^3$	$\tilde{u}^4$	$\tilde{u}^5$	$\tilde{u}^6$	$\tilde{u}^7$
$\tilde{u}^1$	0	0.12229	0.26294	0.12352	0.26577	0.059466	0.45971
$\tilde{u}^2$	0.083228	0	0.14065	0.004031	0.14348	0.14269	0.54293
$\tilde{u}^3$	0.1465	0.063277	0	0.064649	0.044251	0.20597	0.60621
$\tilde{u}^4$	0.081855	0.001429	0.13942	0	0.14225	0.14132	0.54156
$\tilde{u}^5$	0.106	0.022771	0.0009183	0.024144	0	0.16547	0.5657
$\tilde{u}^6$	0.33516	0.45745	0.5981	0.45868	0.60093	0	0.40024
$\tilde{u}^7$	1.4837	1.606	1.7466	1.6072	1.7494	1.1485	0

7.5.5- Jadval

neF ning qiymatlari

	$\tilde{u}^1$	$\tilde{u}^2$	$\tilde{u}^3$	$\tilde{u}^4$	$\tilde{u}^5$	$\tilde{u}^6$	$\tilde{u}^7$
$\tilde{u}^1$	4	3.7945	3.5906	3.7946	3.6282	3.6054	2.0566
$\tilde{u}^2$	3.7945	4	3.7961	3.9945	3.8337	3.3999	1.8511
$\tilde{u}^3$	3.5906	3.7961	4	3.7959	3.9548	3.1959	1.6472
$\tilde{u}^4$	3.7946	3.9945	3.7959	4	3.8336	3.4	1.8513
$\tilde{u}^5$	3.6282	3.8337	3.9548	3.8336	4	3.2336	1.6849
$\tilde{u}^6$	3.6054	3.3999	3.1959	3.4	3.2336	4	2.4512
$\tilde{u}^7$	2.0566	1.8511	1.6472	1.8513	1.6849	2.4512	4

7.5.6- Jadval

mvF ning qiymatlari

	$\tilde{u}^1$	$\tilde{u}^2$	$\tilde{u}^3$	$\tilde{u}^4$	$\tilde{u}^5$	$\tilde{u}^6$	$\tilde{u}^7$
$\tilde{u}^1$	0	0.083228	0.1465	0.081855	0.106	0.33516	1.4837
$\tilde{u}^2$	0.12229	0	0.063277	0.001429	0.022771	0.45745	1.606
$\tilde{u}^3$	0.26294	0.14065	0	0.13942	0.000918	0.5981	1.7466
$\tilde{u}^4$	0.12352	0.004031	0.064649	0	0.024144	0.45868	1.6072
$\tilde{u}^5$	0.26577	0.14348	0.044251	0.14225	0	0.60093	1.7494
$\tilde{u}^6$	0.059466	0.14269	0.20597	0.14132	0.16547	0	1.1485
$\tilde{u}^7$	0.45971	0.54293	0.60621	0.54156	0.5657	0.40024	0

nbF, neF, mvF larning hisoblangan qiymatlarida har bir shart $\bar{u}_i, \bar{u}_k$, muqobillar uchun $\bar{u}_i(1 - kF)$ ga o'xshash shunday eng katta kF ni hisoblash kerak unda $\bar{u}_k : kF = \max_{u^k \in I'} (1 - d(\bar{u}_i, \bar{u}_k))$ ni hisoblash natijalari quyida keltirilgan:

$$d(\bar{u}_i, \bar{u}_k) = \begin{bmatrix} 0 & 0.31943 & 0.44283 & 0.33732 & 0.60117 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.55012 & 0.64546 & 0.84129 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.97925 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.53631 & 0 & 0.83027 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.82257 & 0.68806 & 0.65562 & 0.69189 & 0.72465 & 0 & 0 \\ 0.69019 & 0.66193 & 0.65292 & 0.66304 & 0.67664 & 0.65151 & 0 \end{bmatrix}$$

Nihoyat har bir $\bar{u}$ uchun uning optimallik darajasini hisoblaymiz $do(\bar{u})$:

$$do(\bar{u}^1) = 0,17743, \quad do(\bar{u}^2) = 0,31194, \quad do(\bar{u}^3) = 0,34438, \quad do(\bar{u}^4) = 0,30811, \\ do(\bar{u}^5) = 0,020751, \quad do(\bar{u}^6) = 0,34849, \quad do(\bar{u}^7) = 1.$$

Yuqoridagidan ko'rish mumkinki, $\bar{u}^*$ - bu $\bar{u}^5$ optimal muqobil, chunki u optimallikning eng yuqori darajasiga ega: $do(\bar{u}^5) = 1$.

Lekin bu ko'rilayotgan masalani yechish bo'yicha bizning tadqiqotlarimizni tugatmaydi. Noaniq Pareto-optimal yechimlar ularning ko'rilayotgan har biri uchun mos keladigan noaniq differensial tenglama (7.5.1) ni tadqiq qilishimiz kerak. Buning sababi shundaki, turg'unlik boshqarish jarayonini eng muhim xossasi hisoblanadi. U holda masalaning yechilishi eng yuqori darajali turg'un sifatida aniqlanadi. [1] da taklif qilingan Aliev-Guseynovlarning baqarorlikning noaniqlik mezoniga mos ravishda yechimning turg'un holati (7.5.1) quyidagicha bo'ladi:

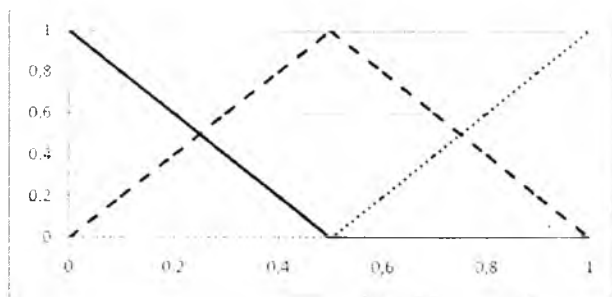
$$\frac{1}{q}(a_1 - aa_1 - \mu - a_2) < 0. \quad (7.5.15)$$

Noaniq Pareto-optimal yechimlar #1-7 uchun ularni holatini tekshirib, #1-6 yechimlarga mos keladigan (7.4) yechimni turg'unligini aniqladik, yechim #7 esa noturg'un. Shunday qilib, yechim #7 $\bar{u}^7$ eng yuqori optimallik darajasiga ega bo'lishiga

qaramasdan, undan foydalanmaslik kerak. Ko'rilayotgan holda optimal boshqarish masalasi #6 $\tilde{u}$ 'ni yechimi bo'ladi, u turg'un yechimlar orasida eng yuqori optimallik darajasiga ega.

7.5.2. Investitsiyalash bo'yicha noaniq qarorlarni qabul qilish

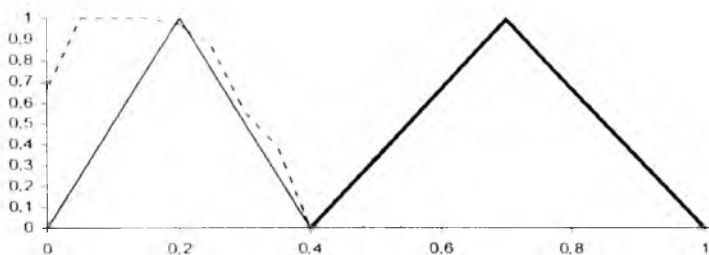
7.5.1- bo'limda biz tomonimizdan loto Bingoda QQMSHga nisbatan tavakkallikni hisobga olib, tizimni o'zini tutishini yechimini analiz qilingan. Bu yerda biz investitsion masalada tavakkalga munosabatlar yordamida qaror qabul qilishni tizimni o'zini tutabilish modelini ko'rib chiqamiz. "Tavakkalga intilish", "Tavakkalni qabul qilish" va "Tavakkalga neytral munosabat" tushunchalarni noaniqligini tavsiflash uchun noaniq ko'pliklar sifatida QQSH ni holatini ko'rib chiqamiz, chunki ushbu tushunchalar yetarli darajada sifatli bo'lib, o'zi bilan birga ba'zi darajani ifodalaydi. QQSHni ko'rib chiqilayotgan holatini quyidagi tarzda belgilaymiz: $\tilde{h}_1$ —tavakkalni qabul qilmaslik, $\tilde{h}_2$ —tavakkalga intilish [8]. Ushbu holatlarning noaniqligi tavakkalga nisbatan har bir sath to'g'risidagi ma'lumotni akslantiradi. $\tilde{h}_1, \tilde{h}_2, \tilde{h}_3$ noaniq holatlar 7.5.5-rasmda keltirilgan:



7.5.5-rasm. QQSHni noaniq holati: $\tilde{h}_1$ (uzluksiz), $\tilde{h}_2$ (punktir), $\tilde{h}_3$ (nuqtali).

Endi biz qo'shimcha holatlar Ω fazosida noaniq foydaliklari aniqlashimiz kerak. Zodaning kengaytirish prinsipiga asosan va perspektivalar nazariyasida foydalanilgan g'oyalardan noaniq foydaliliklarni $\tilde{u}(\tilde{f}(\tilde{S}, \tilde{h}_i))$ olamiz.

Ko'rilayotgan masalani yechishda keyingi qadam bo'lib, tabiat holatlari ustunligi va QQQSH ni holatlarning noaniq marginal ehtimolliklari bo'yicha qo'shimcha holatlar uchun (NBE) ni aniqlash kerak bo'ladi [10,11,12]. Ko'pchilik odamlar tavakkalga o'rganmaganligi uchun, QQQSH ni $\tilde{h}_1$ bilan (tavakkalni qabul qilmaslik) ni eng ehtimollik holat sifatida ko'rib chiqamiz. Faraz qilamiz (7.5.6-rasm)da noaniq holatlar $\tilde{h}_1$, $\tilde{h}_2$, $\tilde{h}_3$ lar quyidagi tarzda aniqlanadi: $\tilde{P}(\tilde{h}_1)$ –("Yuqori"–berilgan), $\tilde{P}(\tilde{h}_2)$ –("Past"–berilgan), $\tilde{P}(\tilde{h}_3)$ –("Juda past"–berilgan).



7.5.6-rasm. Noaniq ehtimolliklar:

$\tilde{P}(\tilde{h}_1)$ (yo'g'on egrilik), $\tilde{P}(\tilde{h}_2)$ (ingichka egrilik), $\tilde{P}(\tilde{h}_3)$ (punktir egrilik).

Hodisalar orasidagi munosabat bog'lanish bor deb hisoblab, hodisalar orasidagi bog'lanish tushunchalari asosida noaniq marginal ehtimolliklar bo'yicha qo'shimcha holatlar $(\tilde{S}_i, \tilde{h}_i)$ ning NBE ni aniqlaymiz. bunda "Tavakkalni qabul qilmaslik" va yutuq holati orasidagi munosabat bog'lanish bor, hamda "Tavakkalga intilish" va yo'qotish (yutqizishlar) holatlari orasida, hamda "Tavakkalga neytral munosabat" va yutuqqa ham, yutqizishga ham bog'liq emas deb hisoblaymiz.

Masalan NBE ni qo'shimcha holatlarida $(\tilde{f}_i)$ – harakat (umumiy bog'lanish) uchun quyidagi trapetsiyadan noaniq sonlar bilan tavsiflanadi:

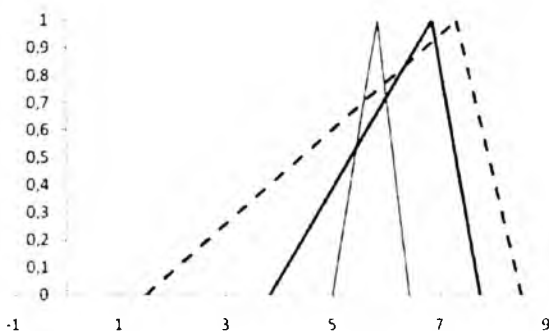
$$\tilde{P}(\tilde{S}_1, \tilde{h}_1) = (0.12, 0.35, 0.5, 0.7), \quad \tilde{P}(\tilde{S}_2, \tilde{h}_1) = (0.04, 0.21, 0.3, 0.5)$$

$$\tilde{P}(\tilde{S}_3, \tilde{h}_2) = (0.0, 0.105, 0.15, 0.3), \quad \tilde{P}(\tilde{S}_4, \tilde{h}_2) = (0, 0.035, 0.15, 0.3);$$

$$\tilde{P}(\tilde{S}_1, \tilde{h}_2) = (0, 0.1, 0.1, 0.28), \quad \tilde{P}(\tilde{S}_2, \tilde{h}_2) = (0, 0.06, 0.06, 0.2),$$

$$\tilde{P}(\tilde{S}_3, \tilde{h}_2) = (0, 0.03, 0.03, 0.12), \quad \tilde{P}(\tilde{S}_4, \tilde{h}_2) = (0, 0.01, 0.03, 0.12);$$

topilgan umumiy foydaliliklar $\bar{U}(\bar{f}_1), \bar{U}(\bar{f}_2), \bar{U}(\bar{f}_3)$, TFN da taxminiy ifodalanagan bo'lib, 7.5.7-rasmda keltirilgan.



7.5.7-rasm. Noaniq umumiy foydalilik:

$\bar{U}(\bar{f}_1)$ (yo'g'on egrilik), $\bar{U}(\bar{f}_2)$ (ingichka egrilik), $\bar{U}(\bar{f}_3)$ (punktir egrilik).

Juftlab taqqoslashni o'tkazib, quyidagi natijani oldik:

$$\text{Deg}(\bar{f}_1, \bar{f}_2) = 0.038; \quad \text{Deg}(\bar{f}_2, \bar{f}_1) = 0.0247; \quad \text{Deg}(\bar{f}_1, \bar{f}_3) = 0.026;$$

$$\text{Deg}(\bar{f}_3, \bar{f}_1) = 0.01; \quad \text{Deg}(\bar{f}_2, \bar{f}_3) = 0.035; \quad \text{Deg}(\bar{f}_3, \bar{f}_2) = 0.027.$$

Shunday qilib, $\text{Deg}(\bar{f}_1, \bar{f}_i) > \text{Deg}(\bar{f}_i, \bar{f}_1), i = 2, 3$ eng yaxshi yechim $\bar{f}_1$ bo'ladi.

7.6. Hisoblash intellektini tibbiyotda qo'llash

7.6.1. Periodontitni davolashda noaniq qarorlarni qabul qilish

Ushbu misolda biz kasallikni bosqichlari to'g'risidagi mukammal bo'lmagan ma'lumotlardan optimal davolashni tanlashni va davolashni mumkin bo'lgan natijalarini ko'rib chiqamiz [8]. Ko'rib chiqilayotgan masalada ikkita eng ko'p ifodalangan kasallikni bosqichlarini stomatolog tomonidan lingvistik tarzda (noaniq) aniqlanadi, lekin boshqa eng kam ifodalangan bosqichlarda stomatologlar ularni paydo bo'lish ehtimolligini baholashda qiyinchiliklarga duch kelishadi.

Muommoni tavsifi. Mijoz Vidadi Jabrail Jabrailov kasallikning tarixi N583–Meditsina Universitetini poliklinika bo'limiga

periodontitni og'ir bosqichi belgilari bilan kelgan. Uni tekshirish natijasida unda intoksikatsiya ko'rsatkichlari taxminan 10-20% sathda, ekssudativ ko'rsatkichlari 60-80% sathda ekanligini ko'rsatdi. Ko'rilayotgan protsent uchun masala optimal davolashni aniqlashdan iborat.

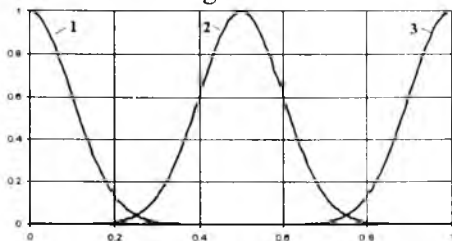
Bunday masala asosan kasallik to'g'risidagi tushunchasiz, noaniq va qisman ishonarli ma'lumot bilan bog'liq bo'lib, u lingvistik ma'lumotlar bilan xarakterlanadi. Subyektiv kutiladigan foydalilik, Shokening kutiladigan foydaliligi, perspektivaning kumulyativ nazariyasi va boshqalarni bu yerda qo'llash mumkin emas, chunki ular qat'iy cheklangan axborotlilar uchun ishlab chiqilgan. Biz 6-bobda taklif qilingan noaniq mantiq asosida qarorlarni qabul qilish nazariyasini qo'llaymiz, u ko'rilayotgan masala to'g'risidagi lingvistik axborotli bilan ishlash mumkin.

Masalani formal tarzida tavsiflash [8].

1) Tabiatning holati. Tabiatning holati kasallik bosqichlari bilan ifodalangan. Mijozni tekshirish vaqtida kasallikni haqiqiy bosqichini to'g'ri identifikaatsiyalash juda muhim. Shubhasiz, bosqichlarning "chegaralari" noaniq aniqlangan, va bitta bosqich ikkinchisiga sekin-asta o'tadi. Buni e'tiborga olib, noaniq ko'pliklardan foydalanib, bosqichlarni tavsiflash yetarli bo'ladi. Tabiatning noaniq holatlarining ko'pligi:

$$S = \{\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \tilde{S}_3\},$$

bu yerda $\tilde{S}_1$ -intoksikatsiya bosqichi (kasallikning 1-bosqichi), $\tilde{S}_2$ -ekssudativ bosqich (kasallikning 2-bosqichi), $\tilde{S}_3$ -og'ir bosqich (kasallikning 3-bosqichi). Intoksikatsiya, ekssudativ va og'ir bosqichlarni tavsiflash uchun foydalanilgan $\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \tilde{S}_3$ tegishlilik funksiyalarni 7.6.1-rasmda ko'rsatilgan.



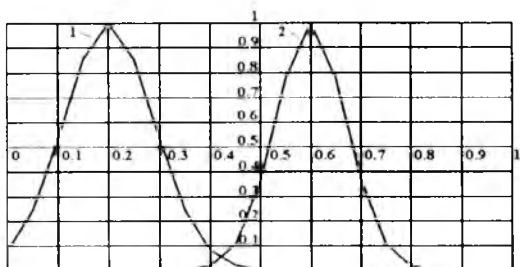
7.6.1-rasm. Tegishlilik funksiyalari.

$\tilde{S}_1$ (1-egri chiziq), $\tilde{S}_2$ (2-egri chiziq), $\tilde{S}_3$ (3-egri chiziq).

Tekshirish vaqtida mijozga kasallikni rivojlanish sathi stomatologning lingvistik (noaniq) baholari bilan ifodalangan. Biz ushbu lingvistik ehtimolliklarni taxminiy baholash deb qaraymiz. Shunday qilib, tabiatni noaniq holatlarini taqsimlanishini lingvistik ehtimolliklari $\bar{P}'$ mavjud:

$$\bar{P}' = \bar{P}_1/\bar{S}_1 + \bar{P}_2/\bar{S}_2 + \bar{P}_3/\bar{S}_3,$$

$\bar{P}_1$ - bu intoksikatsiya bosqichini paydo bo'lishini lingvistik ehtimoli, $\bar{P}_2$ -ekssudativ bosqichni paydo bo'lishini lingvistik ehtimoli va $\bar{P}_3$ -og'ir bosqichni paydo bo'lishini noma'lum noaniq ehtimolligi. $\bar{P}_1$, $\bar{P}_2$ - lingvistik ehtimolliklarni tegishlilik funksiyasi 7.6.2-rasmda ko'rsatilgan.



7.6.2- rasm. Lingvistik ehtimolliklarni tegishlilik funksiyalari:

$\bar{P}_1$ (1-egrilik), $\bar{P}_2$ (2-egrilik).

2) Muqobillar. Muqobillar mavjud bo'lgan davolash usullari bilan ifodalangan. Kasallikning turli bosqichlarida davolashni mavjud usullarini qo'llash samaradorligi stomatologning lingvistik (noaniq) baholashida yetarli darajada aniqlangan bo'lishi mumkin. Bu nuqta'i nazardan muqobillarni noaniq funksiyalar sifatida ko'rib chiqish kerak bo'ladi [3].

Noaniq muqobillarning ko'pligi:

$$A = \{\tilde{f}_1, \tilde{f}_2, \tilde{f}_3\},$$

bu yerda $\tilde{f}_1$ -davolashning yashirin usuli, $\tilde{f}_2$ -davolashning ochiq usuli, $\tilde{f}_3$ - jarrohlik aralashuv va tishni olib tashlash.

3) Foydaliligi. $\bar{S}_i$ holatida qabul qilingan $\tilde{f}_j$ muqobillarning foydaliligi kasallikning mos keladigan bosqichlarida qo'llaniladigan, mos keladigan davolash usulining samaradorligi sifatida davolashni ko'rilayotgan usulini qo'llashni samaradorligi noaniq bo'lgani uchun

stomatolog tomonidan faqat lingvistik ramkada (noaniq) baholab, yetarli darajada tavsiflanishi mumkin.

Shunday qilib $\tilde{f}_j$ muqobilning foydaliligi $\tilde{S}_j$ holatida qabul qilingan noaniq son qiymatli $\tilde{u}$ foydalilik funksiyasini $\tilde{u}(\tilde{f}_j, \tilde{S}_j)$ noaniq qiymati sifatida qaralishi mumkin. Faraz qilamiz, stomatolog kasallikning turli bosqichlarida quyidagi lingvistik terminlarni qoʻllab, davolashning samarali usulini baholaydi.

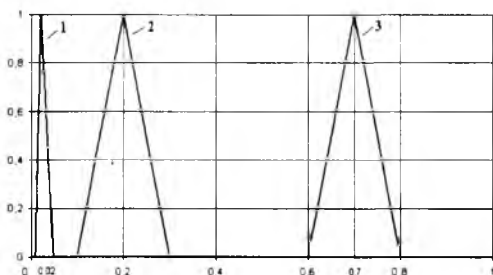
7.6.1- Jadval.

Periodontitni turli bosqichlarda davolashni samarali usullarini lingvistik baholash

	Bosqich 1 ($\tilde{S}_1$)	Bosqich 2 ($\tilde{S}_2$)	Bosqich 3 ($\tilde{S}_3$)
Muqobil 1 ($\tilde{f}_1$)	Yuqori	Past	Juda past
Muqobil 2 ($\tilde{f}_2$)	Past	Yuqori	Oʻrtacha
Muqobil 3 ($\tilde{f}_3$)	Juda past	Oʻrtacha	Yuqori

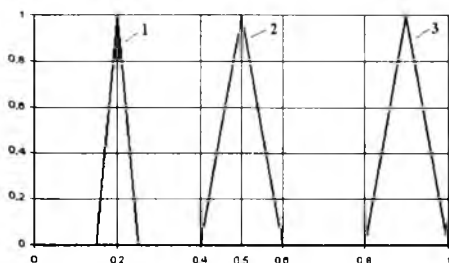
Bu lingvistik baholash stomatologni TT (tabiiy tilda) ifodalangan subyektiv fikrni akslantiradi. Masalan lingvistik atama “Yuqori” stomatologni subyektiv fikri boʻlib, davolashni yopiq usulini qoʻllash foydaliligi ifodalaydi.

Ushbu lingvistik baholashlarni matematik tarzda tavsiflash sifatida biz 7.6.3-, 7.6.4-, 7.6.5-rasmlarda koʻrsatilgan noaniq sonlardan foydalanamiz [1].

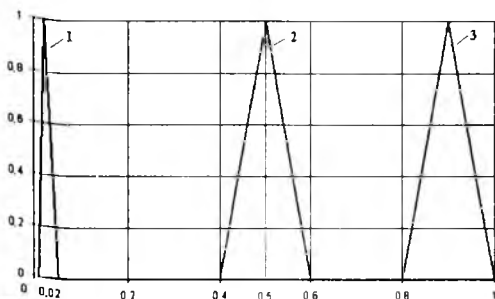


7.6.3-rasm. Intoksikatsiya bosqichida usulalogik qoʻllashni lingvistik foydaliligini tegishlilik funksiyasi:

Juda past (egrilik 1), Oʻrtacha (egrilik 2), Yuqori (egrilik 3)



7.6.4-rasm. Ekssudativ bosqichda davolash uslubiyati qo'llashni lingvistik foydaliligi tegishlilik funksiyasi: Juda past (egrilik 1), O'rtacha (egrilik 2), Yuqori (egrilik 3)



7.6.5-rasm. Og'ir bosqichda davolash usullarini qo'llash lingvistik foydaliligi tegishlilik funksiyasi: Juda past (egrilik 1), O'rtacha (egrilik 2), Yuqori (egrilik 3).

Shunday qilib, bizda kasallikning barcha bosqichlari uchun noaniq ehtimolliklar bor. Har bir muqobil uchun umumiy noaniq foydalilikni hisoblash uchun, biz taklif qilingan noaniq foydalilik usulini qabul qilamiz. Ushbu modelga mos ravishda ko'rilyotgan muqobilni (davolash usuli) noaniq son qiymatli noanif mezonga nisbatan noaniq son qiymatli Shoke integrali bilan quyidagi tarzda ifodalanadi:

$$\tilde{U}(\tilde{f}_j) = \sum_{i=1}^3 (\tilde{u}(\tilde{f}_j, (\tilde{S}_{(i)})) - \tilde{u}(\tilde{f}_j, (\tilde{S}_{(i+1)}))) \cdot \tilde{\eta}_{\tilde{f}_j}(H_{(i)})$$

bu yerda (i) foydalilik quyidagicha tasniflanadi $\tilde{u}(\tilde{f}_j, (\tilde{S}_{(1)})) \geq \dots \geq \dots \tilde{u}(\tilde{f}_j, (\tilde{S}_{(n)}))$, $H_{(i)} = \{\tilde{S}_{(1)}, \dots, \tilde{S}_{(i)}\}$, $\tilde{u}(\tilde{f}_j, (\tilde{S}_{(n+1)})) = 0..$

Avval har bir muqobillar $\tilde{f}_j$ uchun $\tilde{U}(\tilde{f}_j, (\tilde{S}_{(i)})) = \tilde{u}_{\tilde{f}_j}$ ni tasniflash kerak. Har bir muqobillar uchun quyidagilarni olamiz:

Muqobil $\tilde{f}_1 : \tilde{u}_{11} = high > \tilde{u}_{12} = low > \tilde{u}_{13} > very\ low;$

Muqobil $\tilde{f}_2 : \tilde{u}_{22} = high > \tilde{u}_{23} = medium > \tilde{u}_{21} > low;;$

Muqobil $\tilde{f}_3 : \tilde{u}_{33} = high > \tilde{u}_{32} = medium > \tilde{u}_{31} > very\ low.$

Shunday qilib, noaniq foydaliliklar quyida ko'rsatilgan tarzda tasniflanadi.

Muqobil $\tilde{f}_1$ (davolashni yopiq usuli):

$\tilde{u}_{1(1)} = \tilde{u}_{22} = high; \tilde{u}_{1(2)} = \tilde{u}_{12} = low; \tilde{u}_{1(3)} = \tilde{u}_{13} = very\ low;$

Muqobil $\tilde{f}_2$ (davolashni ochiq usuli):

$\tilde{u}_{2(1)} = \tilde{u}_{22} = high; \tilde{u}_{2(2)} = \tilde{u}_{23} = medium; \tilde{u}_{2(3)} = \tilde{u}_{21} = low;$

Muqobil $\tilde{f}_3$ (jarrohlik aralashish yoki tishni olish usuli):

$\tilde{u}_{3(1)} = \tilde{u}_{33} = high; \tilde{u}_{3(2)} = \tilde{u}_{32} = medium; \tilde{u}_{3(3)} = \tilde{u}_{31} = very\ low;$

Shunday qilib, $\tilde{f}_1, \tilde{f}_2, \tilde{f}_3$ muqobililar uchun umumiy noaniq foydalilik quyidagicha tavsiflanadi:

$$U(\tilde{f}_1) = (\tilde{u}_{11} - \tilde{u}_{12})\tilde{\eta}_{\tilde{f}_1}(\{\tilde{S}_1\}) + (\tilde{u}_{12} - \tilde{u}_{13})\tilde{\eta}_{\tilde{f}_1}(\{\tilde{S}_1, \tilde{S}_2\}) + \tilde{u}_{13}\tilde{\eta}_{\tilde{f}_1}(\{\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \tilde{S}_3\});$$

$$U(\tilde{f}_2) = (\tilde{u}_{22} - \tilde{u}_{23})\tilde{\eta}_{\tilde{f}_2}(\{\tilde{S}_2\}) + (\tilde{u}_{23} - \tilde{u}_{21})\tilde{\eta}_{\tilde{f}_2}(\{\tilde{S}_2, \tilde{S}_3\}) + \tilde{u}_{21}\tilde{\eta}_{\tilde{f}_2}(\{\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \tilde{S}_3\});$$

$$U(\tilde{f}_3) = (\tilde{u}_{33} - \tilde{u}_{32})\tilde{\eta}_{\tilde{f}_3}(\{\tilde{S}_3\}) + (\tilde{u}_{32} - \tilde{u}_{31})\tilde{\eta}_{\tilde{f}_3}(\{\tilde{S}_2, \tilde{S}_3\}) + \tilde{u}_{31}\tilde{\eta}_{\tilde{f}_3}(\{\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \tilde{S}_3\});$$

[2.4] da taklif qilingan uslubiyat asosida biz lingvistik ehtimolliklar P' taqsimlanish asosida noaniq qiymatli noaniq o'Ichovni ko'rib chiqdik.

Oxirida, biz har bir muqobil uchun umumiy noaniq foydalilikni hisobladik va uchburchakli noaniq sonlar sifatida ifodalangan quyidagi taxminiy qiymatlarni oldik:

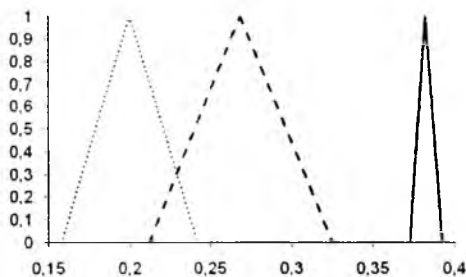
$$\tilde{U}(\tilde{f}_1) = (0.16; 0.2; 0.24); \tilde{U}(\tilde{f}_2) = (0.37; 0.38; 0.39); \tilde{U}(\tilde{f}_3) = (0.21; 0.27; 0.33).$$

Ushbu noaniq foydaliliklarni tegishlilik funksiyalari rasm 7.6.7 ko'rsatilgan.

$\tilde{U}(\tilde{f}_1)$ (nuqtali egrilik), $\tilde{U}(\tilde{f}_2)$ (uzluksiz egrilik), $\tilde{U}(\tilde{f}_3)$ (punktirli egrilik).

Endi $\tilde{U}(\tilde{f}_i), i = \overline{1,3}$ taqqoslab va eng yuqori umumiy noaniq foydalilikka ega bo'lgan yechimni optimal usulini aniqlash kerak. $\tilde{U}(\tilde{f}_i), i = \overline{1,3}$ noaniq foydaliliklarni taqqoslab, biz eng yuqori noaniq foydalikka ega bo'lgan $\tilde{f}_2$ muqobilni aniqladik. Bu ko'rilayotgan

mijoz uchun davolashni optimal usulini aniqlashda taklif qilingan yondashishni qo'llanishni eksperimental natijalarini keltiramiz.



7.6.7 - rasm. Tegishlilik funksiyalari:

Eksperimental natijalar [1]. Biz 17 yoshdan 65 yoshgacha bo'lgan o'tkir periodontitdan qiynalayotgan 62 ta patsentni tekshirdik. Ularni orasida 38 ta erkak va 24 ta ayol bor ekan.

Surunkali periodontitni differensiallash va diagnoz qo'yish maqsadida rentgen tadqiqotlarini o'tkazdik. O'tkir periodontitni 3 ta bosqichlari orasidagi ajratish uchun va har bir bosqichga diagnoz qo'yish uchun, rentgen tadqiqotlari bilan parallel ravishda o'tkir periodontitni simptomlari asosida klinik holatlarni baholadik. Og'riq, qizarib ketish, pulpatsiya, perkussiya va boshqalar).

O'tkir periodontitni 3 ta turli bosqichlari vaqtida davolash samaradorligini aniqlash uchun rentgen tadqiqotlarini qo'llash bilan parallel ravishda biz ba'zi bir klinik simptomlarni o'zgarish dinamikasini kuzatdik (og'riq, qizarib ketish, pulpatsiya, perkussiya va boshqalar) va ko'rsatilgan bosqichlar davrida klinik ko'rsatkichlarni yaxshilanishini baholadik. O'tkir periodontitni 3 ta turli bosqichlaridan bog'liq ravishda bizning tadqiqotlarimizni natijalari ushbu davolash usullarini samaradorlik ko'rsatkichlariga nisbatan 7.6.2-jadvalda keltirilgan.

O'tkir periodontitni 3 ta bosqichi mobaynida davolashni turli usullaridan foydalanib, biz turli ma'lumotlarni oldik. Bizning tadqiqotlarimiz natijalarini taqqoslash, o'tkir periodontitni "ochiq" va "yopiq" turli bosqichlaridagi bizning tadqiqotlarimizni taqqoslash natijalari "ochiq" va "yopiq" usullar eng samarali ekanini ko'rsatdi. Shundan qilib, davolashning "ochiq" usuli 21 ta mijoz uchun eng samarali va eng yaxshi bo'ldi. Davolashning "yopiq" usuli 16 ta mijoz

uchun samarali bo'ldi. 6 ta mijozlar davolashni "ochiq" usulidan foydalandilar, chunki bu ularni davolashga ijobiy ta'sir qildi. Bitta mijozni tishi olib tashlandi.

7.6.2 -Jadval.

Eksperimental tadqiqotlar natijalari

O'tkir periodontit rivojlanishining turli bosqichlari	Davolashdan o'tgan mijozlar soni	Berilgan usullar bo'yicha davolash samaradorligi ko'rsatkichlari (mijozlar sonida)		
		davolashning "yopiq" usuli	davolashning "ochiq" usuli	jarohlik amaliyoti va tishni olib tashlash
Intoksikatsiya bosqichi	23	16	6	1
Ekssudativ bosqich	23	-	21	2
Og'ir bosqich	16	-	3	13

Davolashni og'ir bosqichida, bu bosqichda periodontit qaytmaydi, chunki u o'zini eng yuqori darajasiga yetgan va konservativ davolashni samarasi kam (3 ta mijoz); tishlarning ko'p qismida (13 ta mijoz) tishlar asosan ko'p ildizli bo'lib, ularni jarrohlik usul bilan olib tashlandi. Ekssudativ bosqich mobaynida jarrohlik 23 ta mijozdan 2 tasida samarali bo'lmadi. Intoksikatsiya bosqichida taklif qilingan usul 23 ta mijozlardagi 21 tasida va kasallikning og'ir bosqichi mobaynida 16 ta mijozdan 13 ta mijozda davolash samarasiz bo'ldi.

7-bob bo'yicha nazorat savollari

1. Qaror qabul qilish formasini qurish uchun nimani aniqlab olish kerak?
2. Qarorni qabul qilish tizimi obyektni qanday o'zini tutish jihatlarini ko'rib chiqadi?
3. Ichki yalpi mahsulot ishlab chiqarish iste'moliga, yalpi kapital qo'yilmalarga va noishlab chiqarish iste'moliga bo'linganda, ishlab chiqarish faktori orasidagi o'zaro ta'sirni akslantirgandan, qanday farazlarda dinamik iqtisodiy modelni ko'rib chiqish mumkin?
4. Berilgan obyektiv funksiyalar (mezonlar) bilan ma'lum bir planlashtirish davrida ko'p mezonli optimal boshqarish masalasi nechta bosqichda yechiladi?
5. Loto bingoda obyektni o'zini tutishini tahlil qilishda nima hisobga olinadi?

6. Nima uchun qaror qabul qilishda QQQSHni holati va tabiatni qo'shma holatidan foydalaniladi?
7. Bi-sig'im nima va nima uchun qaror qilishda undan foydalaniladi?
8. Iqtisodiy modellarda noaniq differensial tenglamalar foydalanish zaruratini tushuntirib bering?
9. Muqobillarni ranjirovka qilish qanday amalga oshiriladi?

7-bobga doir adabiyotlar

1. Aliev R.A., Huseynov O.H., Aliev, R.R. Decision making with imprecise probabilities and its application. *Proc. 5th International Conference on Soft Computing and Computing with Words in System Analysis, Decision and Control (ICSCCW-2009)*. 2009. –rr.1-5.
2. Rafik Aziz Aliev. Fundamentals of the Fuzzy Logic-Based Generalized Theory of Decisions. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*. Volume 293. - Springer, 2013. -319 p.
3. Williamson R.C. Probabilistic Arithmetiss. Ph.D. dissertation. -Australia: University of Queensland, 1989. <http://theorem.anu.edu.au/~williams/papers/thesis.300dpi.ps>.
4. Wise B.P., Henrion M. A framework for comparing uncertain inference systems to probability. In L.N. Kanal & J.F. Lemmer (Eds.). *Uncertainty in artificial intelligence*. -Amsterdam: elsevier Science Publishers, 1986. - pp.69-83.
5. Aliev R.A., Pedrycz W. Fundamentals of a fuzzy-logic-based generalized theory of stability, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B: Cybernetic*. 2009. - 39(4). –pp.971-988.
6. Hey J.D., Lotito G. and Maffioletti A. CHOquet. OK Discussion Papers from Department of economics University of York. -York, 2007. [UK conomia.unimib.it/web/pdf/iniziativa](http://economia.unimib.it/web/pdf/iniziativa).
7. Bede B., Gal S.G. Generalizations of the differentiability of fuzzy-number-valued functions with applications to fuzzy differential equations. *Fuzzy Sets and Systems* 151. 2005. –pp. 581-599.
8. Aliev R.A., Pedrycz W. and Huseynov O.H. Behavioral decision making with combined states under imperfect information, *Int. J. Inf. Tech. Decis.*, 12(3). 2013. - pp. 619-645.
9. Farina M., and Amato P. A fuzzy definition of "optimality" for many-criteria optimization problems, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 34(3). 2004. -pp. 315-326.
10. Aliev R.A., Pedrycz W. and Huseynov, O.H. Decision theory with imprecise probabilities. *Int. J. Inf. Tech. Decis.*, 11(2). 2012. -pp. 271-306.
11. Franke G. Expected utility with ambiguous probabilities and "Irrational Parameters". *Theor. Decis.*, 9. 1978. -pp. 267-283.

12. Aliev R.A., Aliev B.F., Gardashova L.A. and Huseynov, O.H. Selection of an optimal treatment method for acute periodontitis disease. J. Med. Syst., 36(2). 2012. -pp. 639-646
13. Yusupbekov N.R., Mukharamov F.S., Adilov F.T., Gulyamov SH.M., Realization of Intellectual Tracking System with wave channels, Proceedings on fifth International Conference on Application of Fuzzy and Soft Computing. – Milan (Italy), 2002.
14. Юсупбеков Н.Р., Алиев Р.А., Алиев Р.Р., Адилов Ф.Т., Некоторые концепции и принципы построения распределенных интеллектуальных систем. –Т.: Горный вестник Узбекистана, 2002. - №4 (11).
15. Юсупбеков Н.Р., Алиев Р.А., Адилов Ф.Т. Синтез многомерного интеллектуального контроллера для реакторно-регенераторного блока нефтеперерабатывающего производства. –Т.: Химия и химическая технология, 2003. - №1. – С.52-54.
16. Юсупбеков Н.Р., Алиев Р.А., Алиев Р.Р., Адилов Ф.Т., Гулямов Ш.М. Динамическая экспертная система для управления непрерывным производством. –Т.: Узбекский журнал нефти и газа, 2004. -№1. – С.4-6.

GLOSSARIY

Abilun Paradoksi (Abilene paradox) – insonlar guruhi qaror qabul qilishi mumkin va guruhdagi ixtiyoriy a'zo o'zining maqsadi guruh maqsadiga qarshi bo'lishi mumkinligini bilgan holda, umumiy qabul qilingan qarorga qarshilik bildirmaydi.

Aks ettirish (tasvirlash) – ikki to'plam elementlarini solishtirishning biror bir qoidasi yoki qonuni.

Aksioma – isbotsiz qabul qilinadigan jumla (tasdiq).

Algoritm – ma'lum sinfdagi masalalar to'plamini yechish imkonini beradigan ba'zi amallar tizimining ma'lum tartibda bajarilishi haqidagi aniq buyruqlar.

Alifbo – tilning turli belgilarining tariblangan to'plami.

Alternativ (muqobil) (fr. alternative, lotinchada Alternatus – boshqa) – ikki yoki undan ortiq bir-birini inkor etuvchi imkoniyatlardan birini, shuningdek bu imkoniyatlardan har birini tanlash zaruriyati.

Amal – biror narsani bajarish tartibi.

Amaliy bilimlar – “bu masala qanday yechiladi?” savoliga javob beruvchi bilimlar.

Analogiya (o'xshashlik) – ikki ilmiy (matematik) tushunchalarda mavjud bo'lgan xususiy xossalarning muvofiqligi bo'yicha aqli xulosa.

ANFIS (Adaptive Neurofuzzy Inference System) – adaptiv neyro-noaniq xulosa tizimi.

Aniqlanmaganlik – dalilning ishonchliligiga bo'lgan cheklanish.

Aniqlanmaganlik sharti – qabul qilinayotgan yechimlarning natijalari noma'lum bo'lgan vaziyat. Aniqlanmaganlik stoxastik (natijalar to'plamidagi ehtimolliklarni taqsimlanish haqida axborotga ega bo'linganda), xulqiy (natijaga qatnashchilarning xulqini ta'sir etishi haqidagi axborotlar bo'lganda), tabiiy (faqat natijalar haqida axborot bor, yechim va natijalar o'rtasidagi aloqalar haqida esa yo'q) va aprior (natijalar haqida ham axborot bo'lmaganda) kabi turlarga farqlanadi. Apriordan boshqa barcha aniqlanmaganliklarda yechimlarni asoslash masalasi qaror qabul qiluvchi shaxs (QQQSH) asoslanuvchi axborotlarga tayanib, muqobillarning boshlang'ich to'plamini qisqartirishga olib kelinadi. Aprior aniqlanmaganlik

sharoitlarida yechimlarni asoslash adaptiv boshqarish algoritmlarini qurish orqali amalga oshirilishi mumkin.

Aniqlik – to'liqlik va bir-birini inkor etmaslik.

Arxitektura (Architecture) – 1) tashkiliy struktura, uning doirasida bilimlarni qo'llash va muammoni yechish yuz beradi; 2) ma'lum ekspertli tizimlar uchun mos strukturani tanlashga yo'naltirilgan bilimlar injeneriyasi tamoyillari; 3) murakkab struktura elementlarining o'zaro aloqali konsepsiyasi.

Atribut – 1) belgi, ma'lumotlarni tavsiflovchi; 2) obyektning inkor etib bo'lmaz xossasi.

Bayes Teoremasi (yoki Bayes formulasi) – ehtimollar nazariyasining asosiy teoremlaridan biri bo'lib, biror bir hodisaning ehtimolligini aniqlash imkonini beradi. Uni o'zining muallifi, o'qituvchi Tomas Bayesning sharafiga shunday nomlashgan (uning «An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances» nomli ishi birinchi marta 1763 yilda, muallifning o'limidan 2 yil o'tib e'lon qilingan). Olingan ehtimollik formulasi bo'yicha yangi kuzatishlarga e'tibor qaratgan holda, keyingi aniqliklarni kiritish mumkin. Psixologik tajribalar shuni ko'rsatadiki, insonlar ko'pincha hodisalarning ehtimolligini noto'g'ri baholashadi, chunki uning aproir ehtimolligini inkor etadi. Shuning uchun ham Bayes formulasi bo'yicha olingan to'g'ri natija hissiyot bilan kutilganidan kuchli farq qilishi mumkin.

Bilim (Knowledge) – 1) ekspert tizimlarda dalil; 2) bilimlar bazasida "obyekt-qiyamat" juftligi bilan ifodalangan dalil; 3) ba'zi muammolar sohasida mutaxassislar tajribasini ifodalovchi bilimlar bazasida saqlanadigan axborot turi (dastur va ma'lumotlarga o'xshash); 4) ishonish va evristik qoidalar dalillari.

Bilim orttirish – tashqi manbalardan, xususan ekspertlardan olingan bilimlarni ifodalash va ulardan naf ko'rish.

Bilimlar bazasi (Knowledge base) – hisoblash tizimida bilimlar to'planadigan joy.

Bilimlar injeneriyasi (Knowledge Engineering) – ekspert tizimlarni qurishga yo'naltirilgan fan; bunday tizimlarni ishlab chiqishni ta'minlovchi vosita va usullar.

Bilimlar manbai (Knowledge source) – umuman olganda, ma'lum bir masalaga taalluqli predmet sohasidagi bilimlar to'plami.

Bir-birini inkor etmaslik – nazariyaga formula φ va teskari formula $\bar{\varphi}$ ni isbot etishning imkonsizligi.

Bog'liqlik – 1) funksiya va uning argumenti o'rtasidagi munosabat; 2) ba'zi mantiqiy xulosalarni qo'llash natijasida hosil qilingan antetsedent va mos konsekvent o'rtasidagi bog'liqlik. Bog'liqliklar orqali boshlang'ich ma'lumotlar va qo'yimlardan yechimlarni keltirib chiqarish usuli tavsiflanadi.

Boshqarish (ekspertli tizimlarda) (Control) – masalani yechish bo'yicha faoliyatni belgilab beruvchi barcha aniq yoki noaniq amallar.

Dastur – hisoblash mashinasi tilida berilgan, masalani yechish algoritmining tavsifi.

Deklarativ bilim – masalani yechish amallaridan tashkil topmagan bilim.

Dempster-Shafer nazariyasi – ishonch funksiyasi (belief functions) va haqiqatnamolik funksiyasi (plausible reasoning) ga asoslangan ravishanlikning matematik nazariyasi bo'lib, hodisalarning ehtimolligini hisoblash uchun axborotlarning alohida qismlarini birlashtirishdan foydalanadi. Nazariya Artur P.Dempster (Arthur P.Dempster) va Glenn Shafer (Glenn Shafer) tomonidan rivojlantirilgan.

Deniel Kaneman va Amos Tverskining istiqbollar nazariyasi – inson tomonidan “sezilgan yutuqni yo'qotish” qarorini qabul qilinishini ko'rsatuvchi nazariya. Bundan tashqari, insonlar ko'proq o'zlarining holatlari foydaliligini o'zgarishiga taxmin qilishadi, subyektiv ehtimollarning mos baholari esa har bir “hisob nuqtasi” ga nisbatan ancha siljigan bo'ladi.

Dizyunksiya – agar hech bo'lmaganda operand (qo'shiluvchi) lardan biri “haqiqiy” bo'lganda, qiymati “haqiqiy” bo'ladigan mantiqiy “YOKI” amali.

Ehtimoliy mantiq – haqiqiylik qiymatlari ehtimollik orqali aks ettiriladigan mantiq.

Ekran – axborotlarni aks ettirish qurilmasi.

Ekspertli tizim – inson tajriba va bilim orttirishi uchun bir necha yil sarflanadigan sohalarida ishning yuqori sathiga erishuvchi mashinali tizim.

Ekspertli tizim – tor predmet sohasida, bilimlar bazasidan tuzilgan, to'plangan bilimlar asosida masalalarni yechuvchi ekspert-inson faoliyatini modellashtiruvchi EHM dasurlari.

Ekspertlik – sifatlar to‘plami bo‘lib, uning asosida inson-mutaxassislarning yuqori ish saviyalari yotuvchi keng anglash, evristik qoidalar, masala yechimiga bo‘lgan soddalashtiruvchi va yaxshilovchi yondashuvlar, metabilim va metaanglash, shuningdek yuqori malakali ishlarda katta tejamkorlikni ta‘minlovchi xulqning “qurama” xossalar yotadi.

Ekivalentlik – mantiqiy amal bo‘lib, agar ikkala operand ham bir xil qiymatga ega bo‘lsa, natijasi “rost” hisoblanadi. Aks holda natijasi “yolg‘on” bo‘ladi.

Element – murakkab butunlikning tarkibiy qismi.

Empirizm – bilimning yagona manbai – sezgi deb hisoblovchi yo‘nalish.

Ergonomika – insonga mashina imkoniyatlaridan samarali foydalanish imkonini beradigan inson-mashina interfeyslarini loyihalash masalasi.

Evristik qoida – biror bir masalani bajarish uchun to‘liq bo‘lmagan usul.

Fikrlashning teskari zanjiri (Back- chaining, backward-chaining) – boshqaruvchi amal bo‘lib, maqsadga erishish quyidagicha bo‘ladi: dastlab maqsadga erishish uchun yetarli bo‘lgan to‘plam, antetsedentlar qidiriladi, keyin esa bu antetsedentlar maqsad sifatida qaraladi.

Fikrlashning to‘g‘ri zanjiri (Forward chaining) – amaliyotni boshqaruvchi, konsekvent fikrlarni tasdiqlagan holda, yangi yechimlarni ishlab chiquvchi, ayni vaqtda bajarilgan hisoblanuvchi antetsedentli sathdagi xulosa qoidasi bilan berilgan.

Formalizm – matematik til asosida tavsiflash.

Formula – biror bir tasdiqdan tashkil topgan belgili yozuv.

Foydalanuvchi interfeysi – tizim va foydalanuvchi o‘rtasidagi o‘zaro harakat.

Foydalilik funksiyasi – muqobillarning bir qancha to‘plamlarida afzallikni namoyon etish mumkin bo‘lgan funksiya. Foydalilik funksiyasi juda qulay yordamchi vosita bo‘lib, iste‘molchi masalalarini yechishda optimallashtirish nazariyasidan foydalanish imkoniyatlarini ochib beradi.

Freym – ekspertli tizimlarda bilimlarni aks ettirish strukturasi.

Funksiya – qiymati boshqa o‘zgaruvchilarga bog‘liq bo‘lgan o‘zgaruvchan kattalik.

Funksiyaning aniqlanish sohasi – mustaqil argumentlar qabul qiladigan bilimlar to'plami.

Graf – uchlar (nuqtalar) to'plami va ularni bog'lovchi yoylar (qirralar) dan iborat matematik struktura.

Guruhli qaror qabul qilish – guruhning barcha a'zolari uchun umumiy bo'lgan masalalarni yechishdagi o'zaro axborotlar almashinuvi sharoitida muqobillar qatoridan guruhli tanlovni amalga oshirish (natijada guruh ma'lum qarorni qabul qiladi).

Haqiqiy (rost) – bir-birini inkor etmaydigan aksiomalar tizimidan olingan, to'g'ri va qat'iy isbotlangan tasdiqlarning xossasi.

Haqiqiylik qiymatini qo'llab-quvvatlash (Truth maintenance) – vaqt o'tishi bilan ishonchlar qayta ko'rib chiqiladigan fikrlar tizimida ishonchning joriy ma'lumot bilan muvofiqligini saqlash masalasi.

HEARSAY-II tizimi arxitekturası (HEAR-SAY-IIarchitecture) – bir nechta kooperatsiyalanuvchi mustaqil mutaxassislar tamoyiliga ko'ra masalalarni yechish tizimini tashkil etish, bunda mutaxassis, umumiy jamoaviy yechimni bosqichma-bosqich va muvofiq ravishda olgan holda "E'lonlar taxtasi" orqali oraliq natijalarni almashinuvchi turli bilimlar sohasini aks ettiradi.

Hisoblash – oldingi obyektlardan yangilarini chiqarish qoidalari tizimi.

Ifodalash – obyektning rasmiy shaklda tavsiflash jarayoni.

Imkoniyatlar nazariyasi – ehtimollik nazariyasiga muqobil bo'lgan aniqlanmaganlikning alohida turiga ega matematik nazariya. Professor Lutfi Zoda (Lotfi Zadeh) imkoniyatlar nazariyasini birinchi marta 1978 - yilda noaniq to'plamlar va noaniq mantiq nazariyasini kengaytirish maqsadida fanga kiritgan. D.Dyubua (D.Dubois) va G.Prade (H. Prade) keyinroq uning rivojlanishiga o'z hissalarini qo'shishdi. Oldinroq, o'tgan yuz yillikning 50-yillarida iqtisodchi J.L.S. SHakl (G.L.S.Shackle) potensial kutilmaganliklar darajasini tavsiflash uchun min/max algebrasini taklif etgan edi. XX asrning 90-yillari so'nggida MDU professori YU.P. Pitiyev imkoniyatlar nazariyasining variantini taklif etdi va unga ko'ra imkoniyat va zarurat chiziqli hisob-additivli funksional (integral) ning qiymatlari kabi belgilangan.

Induksiya – xususiydan umumiyga olib boruvchi xulosa.

Interpretatsiya (aks ettirish) – dalillar asosida aniq va tarkibiy belgili bilimlarni yozish, tushuntirish, bayon etish.

Isbot – rasmiy fikr bo'lib, uni surish davomida u yoki bu tasdiqning rost yoki yolg'onligi o'rnatiladi.

Ishonch (Belief) – 1) bir qancha kuzatilmaydigan vaziyatlarga taalluqli gipoteza; 2) to'la aniqlanmagan farazlardagi ishonchlilik darajasining o'lchami.

Ishonchlilik (Certainty) – ishonch, gipoteza yoki xulosa qoidasining to'g'riligi bilan foydalanuvi yoki ekspertli tizimni bog'lovchi ishonchlilik o'lchovi.

Istiqbollar nazariyasi – yo'qotishlar va yutuqlar kabi xavflarni baholash uchun yaratilgan iqtisodiy nazariyalardan biri. Nazariya Deniel Kaneman va Amos Tverski tomonidan rivojlantirilgan (1979). Empirik kuzatishlar va ma'lumotlardan qochgan holda, individ tomonidan yo'qotish va yutuqlarni qanday baholanishini tavsiflaydi. Original ifodalanishida "istiqbol" atamasi lotoreyaga taalluqli bo'lgan. Nazariya asosan ikki bosqich tahrirlash (editing) va baholash (evaluation) ga bo'linadi. Iqtisodda kuzatiladigan xulqlarning ba'zi turlari – joylashish samarasi yoki yutuq va yo'qotishlar sharoitida xavfni olmaslikka murojaat / xavfga intilish («qaytarish samarasi» deb ataladi) ham istiqbollar nazariyasi asosida tushuntirilishi mumkin.

Izomorfizm – biror narsa o'rtasidagi o'zaro bir qiymatli moslik.

Kesib tashlash – masala yechimini qidirish sohasini qisqartirish.

Kesimlar mantig'i – formulalari kesimlar hisoblanuvchi mantiq.

Kesimlarni hisoblash – argument-o'zgaruvchilardan mantiqiy formula (kesim) larni chiqarish qoidalari tizimi.

Keyingi hodisa (successor event) – biror hodisadan keyin oraliq hodisasiz keladigan hodisa. Hodisa bir nechta ketma-ket hodisalarga ega bo'lishi yoki bir nechta hodisalar ketma-ketligi bo'lishi mumkin.

Konyunksiya – "&" yoki "Λ" bilan belgilanadigan Bul amali bo'lib, agar barcha argumentlar rost bo'lsa, uning qiymati rost bo'ladi.

Konsensus usuli bilan qaror qabul qilish – bu usul boshqalari (masalan, Roberts Rules of Order) kabi ifodalanmagan bo'lib, amaliy qo'llanishi turli guruhlarda turlicha.

Shundan so'ng, kun tartibi shakllantirilgan bo'lib, yig'ilishni o'tkazishning umumiy qoidasi tasdiqlanadi va har bir band navbati bilan ko'rib chiqiladi. Har bir qarorni qabul qilish quyidagi sxemaga ko'ra olib boriladi:

Bandni muhokama qilish. Masala, ushbu mavzu bo'yicha barcha fikrlarni bilish va ko'proq axborot olish maqsadida muhokama qilinadi. Ko'pincha muhokama vaqtida guruhning asosiy tuzilishi va potensial takliflar olinadi.

Takliflarni shakllantirish. Muhokamadan kelib chiqqan holda, masalani yechish taklifi aniqlanadi.

Konsensusga murojaat. Guruh fasilitatori taklifga ko'ra konsensusga murojaat qiladi. Guruhning har bir a'zosi taklifga o'zining roziligini bildirishi zarur, agar jimlik yoki harakatsizlik bo'lsa, bu hol rozilik kabi qabul qilinadi.

Taklifga munosabatlarni o'rganish. Agar konsensusga erishilmasa, ilgari surilgan taklifga har bir norozilik o'zining munosabatini bildiradi.

Taklifni o'zgartirish. Taklif to'g'rilanadi, unga nisbatan qabul qilingan qarorga ko'ra qo'shimchalar kiritiladi. Keyin guruh yana konsensusga murojaatga qaytadi va toki barchani qanoatlantiruvchi qaror topilmaguncha davr takrorlanaveradi.

Konsept (Concept) – narsalar sinfi uchun tavsiflovchi sxemalar yoki bunday sxemalarning ma'lum namunasi bo'lib, ulardan ba'zilarining xossalari aniqlashtirilgan va shu asosida elementlar va kenja sinflarni tavsiflash mumkin.

Konsensus (lot. Consensus – rozilik) – qiziquvchi tomonlarning ko'pchiligida qarshiliklar bo'lmaganda qaror qabul qilish usuli bo'lib, bunda agarunga qarshilar bo'lmasa yoki juda oz norozilikni e'tiborga olinmasa, ovoz berish o'tkazilmasdan ko'pchilikning umumiy roziligi asosida qaror qabul qilinadi. «Konsensus» atamasi qaror qabul qilish jarayoni va shu usulda qabul qilingan qarorni bildiradi. Shunday qilib, qaror-konsensus jarayonning o'zi bilan chambarchas bog'liq. Konsensus usuli qaror qabul qilishning boshqa usullariga umuman o'xshamaydi.

Kontinuum – kesmadagi sonlar to'plami quvvatining nomi.

Kutilgan foydalilik nazariyasi. Iqtisod, o'yinlar nazariyasi, qarorlar qabul qilish nazariyasida kutilgan foydalilik nazariyasi, aniqlanmaganlik yordamida musbat aniqlangan o'zgartirishgacha bo'lgan aniqlik bilan foydani baholashga yordam beradi.

Kutilgan foydalilik nazariyasi to'rtta aksiomaga asoslanadi: to'liqlik aksiomasi, tranzitivlik aksiomasi, mustaqillik aksiomasi, tortiluvchanlik aksiomasi.

Kutilgan foydalilik nazariyasining muhim xulosalaridan biri, ratsional individ kutilgan foydalilikni maksimallashtirishi kerakligi hisoblanadi.

Kutilgan foydalilik funksiyasi additivdir. Xavf funksionali chiziqli bo'lganligi sababli, farovonlik uchun fon Neyman-Morgenshter foydaliligini quyidagi ko'rinishida yozish mumkin: $U = \sum_{i=1}^n p_i U(x_i)$.

Chunki $\sum_{i=1}^n p_i = 1$

Kutilmagan foydalilik nazariyasi (Nonexpected Utility Theory) – ehtimollik foydalilik funksiyasiga nochoziqli tarzda kiruvchi nazariya. Keng qo'llanilishiga qaramasdan, kutilgan foydalilik nazariyasi va subyektiv kutilgan foydalilik nazariyasi ko'p marta noto'g'riligi tasdiqlangan: 1950-yilda psixolog va iqtisodchilar birinchi bo'lib, insonning xulqi har doim ham tayanch aksioma va modeldagi bashoratga mos kelavermasligini payqashdi. Eng mashhur misolni fransuz iqtisodchisi Moris Alle (Alle paradoksi) ko'rsatib berdi.

Tadqiqotchilar dastlab 1960-yillarda subyektiv ehtimollik gipotezalarining sistematik buzilishini payqashdi. Eng mashhur misolni Daniel Ellsberg 1961-yilda keltirdi (Ellsberg paradoksi). Bunday empirik tasdiqlarga javob sifatida tadqiqotchilar tasdiq va ishonchlarning qator muqobil modellarini ishlab chiqishdi, aksiomalashtirishdi va tahlil qilishdi. Ularning ko'pchiligida kutilgan foydalilik formulasi muqobil formula bilan almashtirildi va insonlar ularni maksimallashtirildi deb taxmin qilishdi. Bu modellarning eng birinchisini Uord Edvards (Ward Edwards) 1950-yilda taklif etdi. Daniel Kaneman va Amos Tverski 1970-yillarda uni o'zlarining "istiqbollar nazariyasi" ning qismi sifatida qabul qilishdi. Iqtisodchilar tomonidan ishlab chiqilgan eng taniqli modellardan biri avstraliyalik iqtisodchi Jon Quijin (John Quiggin) ning "Rangga bog'liq bo'lgan kutilgan foydalilik" modeli hisoblanadi.

«Kutilgan qiymat (baho)» atamasi (hozirgi matematik kutilma) XVII asrdan beri ma'lum. Tushunchaning g'oyasi inson oldida harakatlar to'plami turganda. Ularning har biri turli ehtimollik bilan bir nechta natijalar berishi mumkin bo'lsa, ratsional amaliyot barcha mumkin bo'lgan natijalarni identifikatsiyalanishi, ularning qiymati (musbat, manfiy, foyda yoki zarar) va ehtimolligini aniqlashi zarur,

keyin mos qiymat va ehtimolliklarni ko'paytirish, natijalarni qo'shib, "kutilgan qiymatni" topishdan iborat.

Kutish vaqti (expected time) – narsalar har doim ham odatdagidek yuz bermasligini e'tiborga olgan holda, masalani bajarish uchun talab etiladigan vaqtning eng yaxshi bahosi.

Ma'lumotlar – ishlov berish uchun qulay ko'rinishga keltirilgan axborot.

Mahsulot – ekspertli tizimlardagi xulosa qoidasi.

Mantiq – fikrlash qonunlari va me'yorlari, isbotlash usullari haqidagi fan.

Masala – yechish va tahlil qilinadigan muammo.

Metabilim (Metaknowledge) – bilimlar haqidagi bilimlar.

Metaqoida (Metarule) – qoidadan qanday foydalanish kerakligini belgilovchi qoida.

Metrik fazo – metrika bilan bo'lingan to'plam.

Metrika – ikki nuqta o'rtasidagi masofani aniqlash usuli.

Mezon – belgi bo'lib, u asosida u yoki bu narsani baholash. Aniqlash yoki tasniflash amalga oshiriladi.

Modellashtirish – biror bir obyekt, jarayon yoki obyektlar tizimining modellarini qurish yo'llari bilan ularni tadqiq qilish.

Muhandis-kognitolog – axborot to'plash bo'yicha mutaxassis.

Muhandislikning asbobiy vositalari (Tools for knowledge engineering) – ekspert tizimlarini yaratish ishlarini soddalashtiruvchi dasturlash tizimlari, EMYCIN kabi ko'p uchraydigan paketlar, shuningdek ROSIE ga o'xshash evristik dasturlashning juda yuqori sathdagi til.

Mulohaza – rost yoki yolg'on sifatida qarayotgan fikrlar.

Munosabat – obyektlar o'rtasidagi aloqa shakli.

Mustaqillik – aksiomalarning hech biri boshqasidan keltirib chiqarilmaganligini bildiruvchi xossa.

Nazariya – xulosalash aksiomalari va qoidalari to'plami.

Noaniq bilim – to'liq bo'lmaganligi, bir-birini inkor etishi bilan farqlanuvchi bilimlar.

Noaniq mantiq – formulaning haqiqiylik darajasi tavsiflanadigan son $0 \leq \mu \leq 1$ bilan yoziladigan formulali mantiq.

Noklassik mantiq – haqiqiylikning ikkita ("yolg'on", "rost") dan ortiq qiymatlari yoki an'anaviydan farq qiluvchi xulosa qoidalari va aksiomalari ishlatiladigan mantiq.

«**Okkama ustarasi**» (baʼzida «**Okkama lezviyasi**» deyiladi, lot. **lexpar simoniae**) – uslubiy tamoyil boʻlib, ingliz monaxi, faylasuf-nominalist Uilyam Okkama nomi bilan ataladi (Ockham, Ockam. Occam; 1285-1349). Qisqacha koʻrinishda quyidagicha ifodalanadi: «Zaruratsiz mohiyatni koʻpaytirish mumkin emas» (yoki «Zaruratsiz yangi mohiyatni jalb etish mumkin emas»). Bu tamoyil tejamkorlik tamoyili yoki tejash qonuni deb ataladigan uslubiy reduksionizm bazisni shakllantiradi.

Zamonaviy tushunchalarda Okkama ustarasi quyidagilardan tashkil topadi: agar biror hodisa ikki usul bilan tushuntirilishi mumkin boʻlsa, masalan, birinchisi – mohiyatlar (atama, omil, oʻzgartirish va shu kabi) A, B va C ni jalb etish orqali, ikkinchisi esa A, B, C va D orqali, bunda ikkala usul ham bir xil natija beradi. Boshqa teng sharoitlarda birinchi tushuntirish oʻrinli, yaʼni mohiyat D-ortiqcha, uni jalb etish shart emas deb hisoblash mumkin. Bunda “Okkama ustarasi” aksioma emas, balki prezumpsiya (ehtimollikka asoslangan faraz) boʻlib, u tushuntirishda murakkablikdan foydalanishini taʼqiqlamaydi, faqatgina koʻp hollarda optimal boʻlgan farazlarni koʻrib chiqish ketma-ketligini tavsiya etadi.

Oldingi hodisa (predecessor event) – biror hodisadan oldin oraliq hodisalarsiz keluvchi hodisa.

Operator – 1) bir toʻplamni boshqasiga aks ettiruvchi vosita; 2) dasturdagi baʼzi tugallangan harakatlarni bildirish uchun moʻljallangan dasturlash tilidagi yozuv.

Optimal (lot. optimus – eng yaxshi) yechim (qaror) – u yoki bu belgisiga koʻra boshqalaridan afzal sanaluvchi yechim (qaror). Texnikada optimal (varaint, yechim, tanlov) deganda boshqalari orasidan eng maʼqulini tanlash tushuniladi. Bunday qoida *optimallashtirish mezon*i deb ataladi, muvofiqlik oʻlchami boʻlib sifat koʻrsatkichlari xizmat qiladi. Faqatgina quyidagi ikki shart qanoatlantirilganda optimal variant haqida soʻz yuritish mumkin:

- hech boʻlmaganda bitta mezon boʻlsa;
- ikkitadan kam boʻlmagan solishtiriladigan variantlarning borligi (tanlov oʻtkazish zarurati).

Eng yaxshi variantning har bir tanlovi aniq, chunki u maʼlum mezon asosida amalga oshiriladi. Optimal variant haqida soʻz yuritganda, doimo mezonni koʻrsatish lozim (yaʼni “...ga koʻra optimal”).

Optimal yechim tanlov turlaridan birining natijasi hisoblanadi. Optimal yechim (qaror) larni tanlash bilan bog'liq muammolarni o'rganish bilan amallarni tadqiq qilish nazariyasi va qaror qabul qilish nazariyasi shug'ullanadi.

Oqibat (natija) – xulosalash qoidasi yordamida boshqa formulalardan olingan formula.

Ortiqchalik – tizimning texnik tavsiflarini yaxshilash maqsadida unga kiritilgan qo'shimcha vositalar.

Osttizim – tizimning qismi.

Paradigma - namuna, variant.

Pareto bo'yicha optimal – bu tizimning shunday holatiki, unda tizimni tavsiflovchi xususiy ko'rsatkichlarning har birini qiymati boshqalari yomonlashmasdan yaxshilanmaydi. Paretoning so'ziga ko'ra: «Hech kimga zarar keltirmaydigan har qanday o'zgarishlarning kimgadir foyda keltirishi yaxshilanish hisoblanadi».

Pareto bo'yicha optimal bo'lgan tizimlar holatining to'plami **“Pareto to'plami”**, **“Pareto bo'yicha optimal bo'lgan muqobillar to'plami”** yoki **“Optimal muqobillarning Pareto to'plami”** deyiladi.

Qanoatlantirish (Satisfice) – barcha cheklanishlarni qanoatlantiruvchi yechimni olish (optimallashtirishdan farqli ravishda).

Qarama-qarshilik – formulalar nazariyasidagi φ va $\bar{\varphi}$ ning xulosasi.

Qaror (yechim) qabul qilish – natijaga erishish uchun muqobilni ratsional yoki irratsional tanlash jarayoni.

Qaror (yechim) qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi tizim (QQQQQT) (Decision Support System, DSS) – kompyuterli avtomatlashtirilgan tizim bo'lib, maqsadi predmetli faoliyat sohasini to'liq va obyektiv tahlil qilish uchun sharoit murakkab bo'lganda insonlarga yordam berish hisoblanadi. QQQQQT lar ma'lumotlar bazasini boshqarish tizimlari va boshqariluvchi axborot tizimlari natijasida yuzaga kelgan.

Qaror qabul qilish nazariyasi – insonlar tomonidan turli masalalarni yechish yo'llari o'rtasidagi qonuniyatlarni o'rganish, shuningdek mavjud yechimlar ichidan eng qulayini qidirish maqsadida matematika, statistika, iqtisodiyot, menejment va psixologiyaning tushunchalari va usullari jalb etiladigan tadqiqot sohasi. «Qaror qabul

qilish nazariyasi» atamasi bevosita E.L.Lemann tomonidan 1950-yildan boshlab foydalanila boshlangan.

Qaror qabul qilishning deskriptiv usullari – bu qaror qabul qilish jarayonida alohida shaxs yoki odamlar guruhining xulqini tavsiflash va empirik tadqiq qilishga yo'naltirilgan tadqiqotning baholash-tavsiflash usuli. U yaqqol ifodalangan tushuntirishga ega. Qaror qabul qilishning deskriptiv nazariyasi ko'pincha strukturalanmagan muammolar, ya'ni tajribali analitiklar qaror qabul qiluvchi shaxs (QQQSH) bilan birgalikda ishlab, faqatgina muammoni tavsiflovchi asosiy parametrlar ro'yxatini aniqlaydigan, lekin axborot yo'qligi sababli parametrlar o'rtasidagi miqdoriy bog'liqlarni aniqlash imkoni bo'lmagan muammolar bilan shug'ullanadi. Shuning uchun ham ushbu holda strukturani parametrlar o'rtasidagi aloqalar to'plami ko'rinishida aks ettirib bo'lmaydi, muammo esa strukturalanmagan deyiladi.

Qo'yim – "obyekt-qiymat" juftligi bilan ifodalangan bilimlar bazasining dalili.

Qoida (Rule) – fikrlashning to'g'ri yoki teskari zanjiri turidagi deduktiv jarayonda ishlatiladigan antetsedent shart va konsekvent taklifdan tashkil topgan juftlik.

Qoidalar to'plami (rule set) – evristik bilimlar modulini tashkil etuvchi qoidalar to'plami.

Rasmiy mantiq – fikrlash shakllarini o'rganuvchi matematik mantiq bo'limi.

Ratsional tanlov nazariyasi – iqtisodiy va ijtimoiy fanlardagi harakatlar nazariyasining turli yondoshuvlari uchun umumiy atama. Bu yondashuvlar mavjud subyektlar (aktor) ning ratsional xulqi bilan tavsiflanadi.

Ratsional tanlovning asosiy qo'yimlari Fukididning ishlarida uchraydi: - Davlatlar – xalqaro siyosatdagi bosh aktorlar;

- Davlatlar harakati ratsionaldir;

- Tabiat tomonidan tashqi ta'sirlar tartibsiz, lekin istisnalar ham mavjud;

- Davlatlarning asosiy maqsadi: qudrat va xavfsizlik.

Ratsional tanlov modellari klassik Homo economicus (iqtisodiy inson) konsepsiyasidan zamonaviy sotsiologiyaning RREEMM (ixtirochi, baholovchi, kutuvchi, maksimallashtiruvchi) modeligacha turlanadi.

Reduksiya – soddalashtiruvchi o'zgartirishlarni qisqartirish.

Rezolventa – ikkita dizyunktlarning mantiqiy natijasi

Sababli bilim – predmet sohasidagi obyektlar o'rtasidagi sabab-oqibat aloqalari haqidagi bilim.

Semantik (Semantic) – belgili ifodalashning ma'no, mazmun va mohiyatiga bog'liq, shakliga emas.

Semantika – ma'no (mazmun)li tarkib, ma'noni yozish usuli.

Simvol (belgi) – belgi, alifbo birligi.

Sintaksik – belgili ifodaning shakliga yoki strukturasi tegishli bo'lib, uning mazmuniga qaramaydi.

Sintaksis (Syntactic) – 1) tilning to'g'ri qurilishini shakllantiruvchi qoidalar to'plami; 2) so'zlarni ifodaga qo'shish usulari.

Slot (Slot) – freym vaqtida ba'zi obyektlarning komponentlari belgisi yoki tavsifi. Slotlar nom, ta'rif yoki kelib chiqish, shuningdek atributlar, qiymat, muhimlik yoki shunga o'xshash ichki mos belgilarga mos kelishi mumkin.

So'rovlarning strukturalangan tili SQL (ingl. Structured query language) – mos ma'lumotlar bazalarini boshqarish tizimlari (MBBT) bilan boshqariladigan ixtiyoriy relyatsion ma'lumotlar bazasini yaratish, takomillashtirish va boshqarish uchun qo'llaniladigan rasmiy noamaliy dasturlash tili. SQL kortejlarni hisoblashga asoslanadi.

Strategik o'yinlar – nizolari faol ishtirokchilarning qiziqishlarini aks ettiruvchi o'yinlar.

Strategiya – vaziyatdan kelib chiqqan holda, har bir jarayonda ma'lum harakat variantini tanlashning qoidalari to'plami.

Struktura – obyektlarning qayd etilgan tartiblangan to'plami va ular o'rtasidagi munosabatlar.

Subyekt – obyektga yo'naltirilgan faollik manbai.

Subyektiv kutilgan foydalilik nazariyasi – zamonaviy foydalilik yoki qaror qaul qilish nazariyalarining tarmoqlaridan biri bo'lib, Leonard Sevij tomonidan taklif etilgan (1954). Sevij o'zining ilmiy izlanishlarida o'tmishdoshlari, xususan J. fon Neyman va O. Morgenshternning tadqiqotlariga tayangan.

Subyektiv foydalilik nazariyasining asosi bo'lib quyidagilar xizmat qiladi:

- har bir individ uchun farovonlikning shaxsiy foydalilik funksiyasi;

- ehtimollikning shaxsiy taqsimlanishi (ehtimollikning bayesov nazariyasiga asosan).

Tabiiy til (Natural language) – insonlar o'rtasida axborot almashinuvining oddiy usuli: og'zaki nutq yoki rasmiy turli yozma tizim vositasidagi kommunikatsiya tizimi. umumiy qabul qilingan belgilar yordamida texnik fanlardagi dalillarni aks ettirish vositasi.

Tajriba – amaliyotga asoslangan harakatlarni anglatadi.

Tanlov – muqobil ko'pliklar sharoitida inson faoliyatida aniqlamaganlikka ruxsat berish.

Tasodifiy hodisalarning mustaqilligi – ikki A va B hodisalarga qo'llanganda, bu ikki holatning yuz berish ehtimolligi A hodisaning yuz berish ehtimolligini B hodisaning yuz berish ehtimolligiga ko'paytmasiga teng.

Teorema – ba'zi nazariyalarga ko'ra to'g'ri bo'lgan matematik taklif.

Teskari teorema – berilgan teorema uchun shunday teorema borki, uning sharti berilgan teoremaning xulosasi. xulosasi esa berilgan teoremaning sharti bo'ladi.

Til – belgilar to'plami (alifbo) va belgilardan so'z hosil qilish qoidalari to'plami (sintaksis).

Tizim – o'rtasidagi munosabatlari va ular ustidagi amallar bir butun sifatida qaraladigan obyektlar to'plami.

Tizimni o'rganish – ma'lum bilimlarni egallash jarayoni.

To'liq emaslik – nazariyaning biror formulasini nazariya doirasida isbotlanishi mumkin emasligini bildiradi.

To'liqlik – to'liqlik nazariyasi T shuni bildiradiki, nazariyaning ixtiyoriy formulasi φ yo haqiqiy yo unga teskari formula $\bar{\varphi}$ haqiqiy.

To'plam – birlamchi matematik tushuncha bo'lib, norasman to'plam, sinf, guruh kabi aks ettiriladi.

Tushuntirish (Explanation) – harakatlarni ularni belgilovchi tushunchalar – maqsad, qonunlar yoki evristik qoidalarni ko'rsatish yo'li bilan oqlash, tushuntirish.

Vaziyat – nizolarning bartaraf etilishi. Har bir vaziyat – har bir o'yinchining o'z strategiyasini tanlash natijasi.

Xavf – ehtimollik va noxush hodisalarning kelishini uyg'unligi. Noxush hodisalarning ehtimolligini bilish. $P_1=1-P_2$ formula bo'yicha ularning ehtimolligini aniqlash imkonini beradi. Shuningdek,

to'satdan zarar keltirishi mumkin bo'lgan hodisalarga ham xavf deyiladi.

Xavf – noxush oqibatlarga ega bo'lgan noaniq natijalarga ega bo'lgan vaziyatlarning tavsifi.

Tor ma'nodagi xavf – xavf-xatarning miqdoriy bahosi bo'lib, bir hodisaning boshqasini kelishidagi chastotasi kabi aniqlanadi.

Xavf – bu noaniq hodisa yoki sharoit bo'lib, uning yuz berishi natijasida kompaniyaning obro'siga ijobiy yoki salbiy ta'sir ko'rsatadi va pullik daromadlarning kelishi yoki yo'qotilishiga olib boradi.

Xavf – bu holatlarning yomon uyg'unligida u yoki bu narsani kutilmagan yo'qotilish ehtimolligi.

Xavf – bu zarar keltirishi mumkin bo'lgan ko'paytma. Agar xavf tug'iladigan obyekt investitsiyalash obyektini (xususan, moliyada investitsiyalangan kapital) hisoblansa va barcha kelib tushuvchilarni foyda (foyda ulush va ulushli asboblarning stavkasi kabi kutilsa) sifatida qabul qilinsa, xavfni stavka sifatida tavsitlash mumkin. Zararga olib boruvchi hodisalarning nomi – bu *xavf omillari ro'yxati*. Hodisalarning yuzaga kelish chastotasi – *xavf ehtimolini aniqlash asosi*.

Texnik xavf – xavfli ishlab chiqarish obyektining ma'lum ishlash davrida texnik qurilmalarning ma'lum darajada buzilish (ishdan chiqish) ehtimolligi.

Shaxsiy xavf – halokat xavfining tadqiq qilinayotgan omillari ta'siri natijasida alohida insonlarning shikastlanish chastotasi.

Potensial hududiy xavf (yoki potensial xavf) – hududning ko'rib chiqilayotgan nuqtasida shikastlovchi halokat omillarining amalga oshish chastotasi. Hududiy xavfning xususiy holi ekologik xavf hisoblanib, insonning tabiiy muhitga aralashuvi natijasida ekologik halokat, ofatlarning yuzaga kelishi va ekologik tizim va obyektlarning keyinchalik me'yoriy faoliyat yurita olmasligini bildiradi.

Jamoaviy xavf (guruhli, ijtimoiy) – bu u yoki bu guruhdagi, jamoadagi yoki ma'lum ijtimoiy va kasbiy guruh kishilari uchun u yoki bu turdagi xavfning yuzaga kelishi. Ijtimoiy xavfning xususiy holi iqtisodiy xavf bo'lib, jamiyatning u yoki bu faoliyati natijasida oladigan foydasi yoki zararlari nisbati bilan belgilanadi.

Halokatning maqbul (ruxsat etiladigan) xavfi – bu darajasi iqtisodiy-ijtimoiy holatdan aniqlanadigan xavf. Agar jamiyat berilgan obyektni ishlatishdan foyda olish maqsadida, ushbu xavfga boradigan

bo'lsa, bu xavf maqbul hisoblanadi. Uning turli guruhlar, ijtimoiy jamiyatlar uchun kattaligi turlicha bo'ladi. Bugungi kunda agar shaxsiy xavfning qiymati 10^{-6} dan oshmasa, u maqbul sanaladi.

Kasbiy xavf – bu insonning kasbiy faoliyati bilan bog'liq bo'lgan xavf.

Nanoxavf (nano – 10^{-9}) – xavfning alohida turi bo'lib, u nanomateriallar va nanotexnologiyalarni qo'llash, ularni yaratish va sinergetik samaradan foydalanish bilan bog'liq tadqiqotlarni o'tkazishda yuzaga keladi. Texnogen xavflardan farqli ravishda, nanomateriallar va nanotexnologiyalar xavfi – nanoxavf minimal miqdordagi moddalar va minimal energiya sarfi bilan belgilanadi va u tayyor mahsulot ishlab chiqarishda xavf darajasini 10^{-8} l/yilga yetkazish imkonini beradi. Nanomateriallar va nanotexnologiyalardan foydalanib, texnogen xavf darajasini 10^{-9} l/yilga yetkazish mumkin. Agar bu kattalikning qiymati yiliga 10^{-6} dan ko'proqni tashkil qilsa, texnosfera bilan bog'liq xavflar natijasida aholining o'lish ehtimolligi nomaqbul hisoblanadi, agar bu miqdor yiliga 10^{-8} dan kam bo'lsa, maqbul hisoblanadi. Obyektlarning yechimiga ko'ra, shaxsiy xavf darajasi yiliga 10^{-6} – 10^{-8} oraliqda bo'lishi ma'lum iqtisodiy va ijtimoiy jihatlariga ko'ra qabul qilinadi. Barcha nanomateriallar va nanotexnologiyalar uchun texnogen xavf darajasi yiliga 10^{-9} bo'lishi qonun bilan mustahkamlab qo'yilishi zarur.

Subyektiv (oqibatini obyektiv baholab bo'lmaydigan xavf); Obyektiv (oqibatlari aniq o'lchanadigan xavf); Moliyaviy (oqibatlari to'g'ridan-to'g'ri pul-mablag'lariga borib taqaladigan xavf); Nomoliyaviy (pul yo'qotilishiga bog'liq bo'lmagan xavf, masalan sog'liqni yo'qotish); Dinamik (ehtimolligi va oqibatlari vaziyatga ko'ra baholanadigan xavf, masalan, iqtisodiy inqiroz xavfi); Statik (vaqt bo'yicha uuman o'zgarmaydigan xavf, masalan, yong'in xavfi); Fundamental (to'la oqibatli, nosistematik xavf); Xususiy (sistematik, lokal oqibatli xavf); Sof (oqibati faqatgina zarar yoki joriy holatni saqlab qolish bo'lgan xavf); Spekulyativ (oqibatlaridan biri foyda keltirishi mumkin bo'lgan xavf, xavf va imkoniyatdan iborat ikki holatli hodisa hisoblanadi).

Moliyaviy xavf ko'pincha daromadning o'zgaruvchanligi bilan tavsiflanadi va kutilgan foydadan yo yomon yo yaxshi daromad olinadi.

Xavfga nisbatan munosabat – bu tushuncha iqtisodiyot, moliya va psixologiyada iste'molchi va investorlarning xavf-xatar sharoitida u yoki bu qarorni qabul qilishga moyilligini tavsiflaydi. Xavf haqida so'z yuritganda, investorning o'rtacha foyda bilan noma'lum natijani o'ziga ma'qul hisoblagani tushuniladi. Masalan, xavfni qabul qila olmaydigan investor, o'zining pullarini xavf yuqori bo'lgan, ko'proq foyda keltiradigan aksiyadan ko'ra kam, ammo kafolatlangan foyda beruvchi stavkali bank hisobiga qo'yadi.

Xulosa qoidasi (Inferential rule) - 1) nazariyaning bir formulasini boshqalaridan olish qoidasi; 2) antetseedent shart va konsekvant ishonch o'rtasidagi assotsiatsiya.

Xulosalash mashinasi – hali noma'lumligi ma'lum bo'lgan narsalarni qo'llash.

Yechim (qaror) – natija, yakuniy fikr, xulosa.

Yetarli shart – qaralayotgan tasdiq kelib chiqadigan biror bir shart.

Yo'qotishlar funksiyasi – statistik yechimlar nazariyasida kuzatish ma'lumotlari asosida noto'g'ri qaror qabul qilish natijasida yuzaga kelgan yo'qotishlarni tavsiflovchi funksiya. Agar xalaqitlar fonida signal parametrini baholash masalasi yechilayotgan bo'lsa, unda yo'qotishlar funksiyasi baholanayotgan parametrning haqiqiy qiymati va parametr bahosi o'rtasidagi farqining o'lchami hisoblanadi.

Yolg'on konsensus samarasi (yoki yolg'on rozilik samarasi) – bu o'zining fikrlash usulini boshqalarga o'tkazishga moyillik. Boshqacha so'z bilan aytganda, ba'zi odamlarning qolganlar ham xuddi mendek fikrlaydi deb o'ylashidir. Bunday mantiqiy adashish odamlar guruhi yoki alohida shaxslarni o'zlarining fikri jamiyatda kengroq tarqalganiga ishonishi bo'lib, aslida ular o'ylaganchalik bo'lmaydi.

Bu ko'pincha guruhdagi bir kishi "bizning guruhimizni fikri jamiyatdagi qarashlarga ko'proq mos keladi" deb o'ylashiga mos keladi. Chunki ularning konsensus shu darajaga yetadi, kam hollarda bu mavzuda ular bilan biron bahslashadi, ko'p hollarda esa ular hamma shunday o'ylaydi deb hisoblashadi. Kim ularning fikrini ma'qullamasa, ularni to'la baholanmagan deb hisoblashadi. Bunday konitiv buzilishning yagona sababi, uning asosida yotuvchi omillar evristikaning ochiqqligi (availability heuristic) va o'zini baholashning tugallanganligi (self-serving bias) hisoblanadi. Shuningdek, ushbu fenomen orqali himoya mexanizmi ham yashiringan bo'lishi mumkin.

Yolgʻon konsensus samarasi «koʻpchilik nodonligi fenomeniga» (pluralistic ignorance) qarshi qoʻyilgan boʻlishi mumkin boʻlib, ikkinchisi shuni bildiradiki, baʼzi odamlar oʻzlaridan hazar qilishadi, lekin jamoat oldida oʻzlarini meʼyordagidek tutishadi. Aksincha, yolgʻon konsensus samarasida insonlar koʻpchilik ular kabi fikrlaydi deb oʻylashadi (aslida bunday emas) va oʻzlarining noroziligini ochiq izhor etishadi.

Oʻqish (oʻrganish) (Learning) – boshqarish strukturasi yoki bilimlarni oʻzgartirish yoʻli bilan ish tavsiflarini yaxshilash jarayoni.

Oʻyin – oʻyinlar nazariyasida oʻrganiladigan va oʻzaro nizoli vaziyatlar boʻlib, oʻzida vaziyatning sxemalashtirilgan, sodda modelini namoyon etadi. Real nizoli vaziyatlardan oʻyinlar oʻzida ikkinchi darajali, mavjud boʻlmagan omillarni olmasligi bilan farqlanadi. Har qanday oʻyin uchta tashkil etuvchi: oʻyin ishtirokchilari – oʻyinchilar, oʻyin qoidalari va oʻyinchilar harakatlari natijalarini baholashni oʻz ichiga oladi.

Oʻyinchi – oʻyindagi qiziqishlarning alohida toʻplamlari himoya qiluvchilar (shaxs, tomon yoki tarafdorlar). Agar oʻyinda berilgan qiziqishlar toʻplamini bir nechta qatnashchi himoya qilayotgan boʻlsa, unda ular xuddi bir oʻyinchi kabi qaraladi. Oʻyinda bir-birining qiziqishlariga qarshi boʻlgan oʻyinchilar *raqib* deb ataladi. Oʻyinda bir yoki bir nechta raqiblarning qiziqishlari toʻqnashishi mumkin.

Oʻzaro harakat – obyektlarning bir-biri bilan oʻzaro harakatlanish (ishlash) jarayoni.

QAYDLAR UCHUN:

QAYDLAR UCHUN:

**Nodirbek Rustambekovich Yusupbekov, Rafiq Aziz o'g'li Aliyev,
Rashod Rafiq o'g'li Aliyev, Azizbek Nodirbekovich Yusupbekov**

BOSHQARISHNING INTELLEKTUAL TIZIMLARI VA QAROR QABUL QILISH

(Darslik)

«O'zbekiston milliy ensiklopediyasi»
Davlat ilmiy nashriyoti
Toshkent – 2015

Muharrir D. Xusanova
Dizayner A. Yoqubdjanov

Nashriyot litsenziyasi: AI №160. 14.08.2009-y.
Bosishga 06.07.2015 y. da ruxsat etildi. Format 60x84 ¹/₁₆.
Ofset bosma usuli. Garnitura «Times New Roman».
Shartli bosma tabog'i. 31,9. Nashr his. tabog'i 29,7. Adadi 300 dona.
Buyurtma № 12

«O'zbekiston milliy ensiklopediyasi»
Davlat ilmiy nashriyoti
Toshkent, 129. Navoiy ko'chasi, 30.

«AVTO-NASHIR» XK bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent shahri, 8-mart ko'chasi, 57-uy.