

**R.X. ALIMOV, A.I. ISHNAZAROV,
O.Q. RIXSIMBOYEV**

**IQTISODIYOTDA
MATEMATIK VA
IMITATION
USULLAR**

TOSHKENT

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

TOSHKENT DAVLAT IQTISODIYOT UNIVERSITETI

R.X. ALIMOV, A.I. ISHNAZAROV, O.Q. RIXSIMBOYEV

IQTISODIYOTDA MATEMATIK VA IMITATION USULLAR

(Kredit-modul bo‘yicha)

**O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligi
tomonidan o‘quv qo‘llanma sifatida tavsiya etilgan.**

Toshkent – 2022

UO‘K: 330.46.

KBK: 65s51.

A 59

R.X. Alimov, A.I. Ishnazarov, O.Q. Rixsimboyev.
Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar.
(O‘quv qo‘llanma). – T.: “Innovatsion rivojlanish
nashriyot-matbaa uyi”, 2022. – 240 b.

ISBN 978-9943-8619-1-6

O‘quv qo‘llanma “Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar” fani o‘quv dasturiga muvofiq yozilgan. Unda iqtisodiyotda matematik va imitatsion modellashtirish asoslari, iqtisodiyotda optimal dasturlash usullari, iqtisodiyotda matritsali usullardan foydalanish, iqtisodiyotda o‘yinlar nazariyasi usullari, iqtisodiyotda tarmoqli usullardan foydalanish, imitatsion modellashtirishning usuli va texnologiyasi, imitatsion modellarni tuzishda axborot texnologiyalaridan foydalanish masalalarining mazmun-mohiyati yoritib berilgan.

UO‘K: 330.46.

KBK: 65s51.

Taqrizchilar:

B.Q.Utanov – Toshkent moliya instituti “Statistika va ekonometrika” kafedrasi mudiri, i.f.b.f.d., dotsent;

R.A.Fayziyev – Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti “Iqtisodiyotda matematik metodlar” kafedrasi professori, i.f.n.

ISBN 978-9943-8619-1-6

© “Innovatsion rivojlanish nashriyot-matbaa uyi”, 2022.

KIRISH

Mamlakatimiz oliy ta'lim tizimida olib borilayotgan tub islohotlar ta'limning yangi shakllarini joriy etish, raqobatbardosh milliy kadrlarni tayyorlash, O'zbekistonni Markaziy Osiyoda "ta'lim xabi"ga aylantirish va jahondagi yuqori nufuzli oliy ta'lim muassasalari bilan integratsiyasini ta'minlashga qaratilgan.

Mamlakatimiz Prezidentining matematika fanini rivojlantirish, milliy iqtisodiyot tarmoqlari va sohalariga matematika fanining amaliy tatbiqi masalalari bir qator farmonlar va qarorlarda o'z aksini topgan.

2019-yil 9-iyulda O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-4387-sonli "Matematika ta'limi va fanlarini yanada rivojlantirishni davlat tomonidan qo'llab-quvvatlash, shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining V.I.Romanovskiy nomidagi matematika instituti faoliyatini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"¹gi qarori qabul qilindi. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti 2020-yil yanvar oyida Oliy Majlisga Murojaatnomasida har-yili ilm-fanning bir nechta ustuvor yo'nalishi rivojlantirilishini ta'kidlab, 2020-yilda matematika fani respublikamizda ustuvor yo'nalishga ega fanlardan biri sifatida belgilab berdi. Bu esa matematika yurtimizda chuqur tarixiy asosga ega va bugungi kunda taraqqiyot uchun g'oyat dolzarb ekanligidan dalolat beradi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 7-maydagi PQ-4708-sonli "Matematika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"²gi qarorida mamlakatimizda matematika ilm-fanni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida belgilandi.

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Matematika ta'limi va fanlarini yanada rivojlantirishni davlat tomonidan qo'llab-quvvatlash, shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasining V.I. Romanovskiy nomidagi matematika instituti faoliyatini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi 2019-yil 9-iyuldagi PQ-4387-sonli Qarori. <https://lex.uz/docs/4409503>.

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Matematika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida" 2020-yil 7-maydagi PQ-4708-sonli Qarori. <https://lex.uz/docs/4807552>

Bugungi kunga kelib mamlakatimizda matematika faniga va uning milliy iqtisodiyotning bir qator tarmoqlariga tatbiqi masalalari dolzarb bo'lib qolmoqda.

Bugungi kunda zamonaviy matematikadan turli fanlarda, u ijtimoiy yoki iqtisodiy fan bo'lishidan qat'i nazar jadal foydalanishi bilan ajralib turadi. Ko'p jihatdan, bu jarayon zamonaviy matematikaning bir qator mustaqil sohalarga bo'linishi tufayli yuzaga kelmoqda. Matematika ko'plab bilim sohalari uchun nafaqat miqdoriy hisoblash vositasi, balki aniq tadqiqot usuli va tadqiqot masalalarini shakllantirish vositasiga aylanib bormoqda.

Iqtisodiyot jamiyat faoliyati va rivojlanishining obyektiv sabablari haqidagi fan sifatida turli miqdoriy xarakteristikalar va matematik usullardan foydalanadi. Zamonaviy iqtisodiyotni tadqiq qilishda noaniqlik va tavakkalchilik sharoitlarini hisobga olgan holda turli xil imitatsion va optimallashtirish usullari qo'llaniladi, ular ko'p jihatdan matematik dasturlash, o'yinlar nazariyasi, tarmoqli rejalashtirish va modellash, ommaviy xizmat nazariyasi va boshqa bir qator amaliy fanlarga asoslanadi.

Zamonaviy iqtisodiyot nazariyasi tabiiy, zarur element sifatida matematik usullar va modellarni o'z ichiga oladi. Iqtisodiyotda matematikadan foydalanish, birinchidan, eng muhim, ahamiyatli bog'lanishlarni aniqlash va rasman tavsiflash imkonini beradi. Ikkinchidan, aniq shakllantirilgan dastlabki ma'lumotlar va munosabatlardan tanlangan shartlar bilan bir xil darajada o'rganilayotgan obyektga mos keladigan xulosalar chiqarish mumkin. Uchinchidan, matematika usullari induktiv usul yordamida obyekt to'g'risida yangi bilimlarni olish imkonini beradi: uning o'zgaruvchilari bog'liqliklarining shakli va parametrlarini mavjud kuzatishlar bilan eng mos keladigan tarzda baholaydi. To'rtinchidan, matematika tilidan foydalanish iqtisodiy nazariya qoidalarini to'g'ri va ixcham bayon etish, uning tushunchalarini shakllantirish imkonini beradi.

Mazkur o'quv qo'llanma magistraturaning "Iqtisodiyotda matematik metodlar" mutxassisligi talabalarini tayyorlashga mo'ljallangan. Uning ayrim boblaridan bakalavriatda "Ekonometrika", "Iqtisodiyot" va boshqa bir qator ta'lim yo'nalishlari talabalarini tayyorlashda ham foydalanish mumkin. Fanning matematik asoslari quyidagi boblarda keltirib o'tilgan: iqtisodiyotda optimal dasturlash usullari, ikki indeksli iqtisodiy masalalarni yechish usullari, chiziqsiz dasturlash usullari, matritsali usullar, dinamik dasturlash usullari, o'yinlar nazariyasi usullari, tarmoqli usullar, imitatsion modellashtirish usullari. Iqtisodiy amaliyotdan misollar keltirilgan va ularni MS Excel hamda dasturida yechish algoritmlari bayon etilgan. O'quv qo'llanmaning yakuniy bobida matematik va imitatsion modellashtirishda qo'llaniladigan amaliy dasturlar paketlari (MathCAD) hamda ularning imkoniyatlari batafsil keltirib o'tilgan.

Darslik, birinchi navbatda, aniq masalalar uchun iqtisodiy-matematik va imitatsion modellarni yaratish hamda ularni qo'llash bilan shug'ullanadigan talabalarga, amaliyotchilarga va ilmiy-tadqiqotchilarga mo'ljallangan. Amalda foydalaniladigan algoritmlarning matematik asoslari qulay tilda taqdim etishga harakat qilindi. Amaliyotdan olingan misollar esa, ulardan foydalanish hamda qo'llashning barcha bosqichlarini ko'rsatadi.

O'quv qo'llanma kredit-modul tizimida ta'lim olayotgan "Iqtisodiyotda matematik metodlar" mutxassisligi talabalarini tayyorlashga mo'ljallangan o'quv rejasidagi "Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar" fanining tasdiqlangan usuli asosida tayyorlangan.

MUNDARIJA

Kirish.....	3
1.BOB. IQTISODIYOTDA MATEMATIK VA IMITATSION	
USULLAR FANIGA KIRISH.....	6
1.1. Iqtisodiy-matematik va imitatsion modellashtirishning mohiyati va zarurligi.....	6
1.2. Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar va modellar tasnifi.....	9
1.3. Fanning maqsadi, vazifalari va boshqa fanlar bilan aloqasi.....	13
2.BOB. IJTIMOY-IQTISODIY TIZIMLARNI O‘LCHASH	
USULLARI.....	17
2.1. Model va modellashtirish jarayonining ma’nosi.....	17
2.2. Modellar va modellashtirish usullari tasnifi.....	21
2.3. Imitatsion model va imitatsion modellashtirish mohiyati.....	27
2.4. Modellashtirish bosqichlari.....	30
3.BOB. IQTISODIYOTDA OPTIMAL DASTURLASH	
USULLARI.....	35
3.1. Iqtisodiyotda optimallashtirishga oid masalalar.....	35
3.2. Optimal dasturlash usuli mohiyati.....	39
3.3. Optimal dasturlash masalasini yechish algoritmi. Simpleks usuli.....	45
3.4. Optimal dasturlash usulining ikkilangan masalalari.....	50
3.5. Optimal dasturlash usuli masalalarini yechishda axborot texnologiyalaridan foydalanish.....	55
4.BOB. IKKI INDEKSLI IQTISODIY MASALALARNI YECHISH	
USULLARI.....	63
4.1. Iqtisodiyotda ikki indeksli masalalar tasnifi.....	63
4.2. Transport masalasining qo‘yilishi va iqtisodiy-matematik modeli.....	68
4.3. Ko‘p bosqichli transport masalasi.....	71
5.BOB. IQTISODIYOTDA BALANS USULLARIDAN	
FOYDALANISH.....	76
5.1. Tarmoqlararo balansning mazmuni.....	76
5.2. Tarmoqlararo balans kvadrantlarining xarakteristikalarini.....	78
5.3. Tarmoqlararo balansda matematik bog‘lanishlar.....	79
5.4. Tarmoqlararo balans asosiy sxemasining modifikatsiyalari.....	82

6.BOB. IQTISODIYOTDA DINAMIK DASTURLASH	
USULLARINI QO‘LLASH.....	88
6.1. Dinamik dasturlash to‘g‘risida tushuncha. Dinamik masalalarning xususiyatlari va tuzish shartlari.....	88
6.2. Dinamik dasturlash usuli yordamida yechiladigan iqtisodiy masalalar.....	90
6.3. Dinamik dasturlash masalasining qo‘yilishi.....	91
6.4. Dinamik modellarning vektorli va matritsaviy shakli.....	93
7.BOB. IQTISODIYOTDA O‘YINLAR NAZARIYASI	
USULLARI.....	96
7.1. Iqtisodiyotda o‘yinlar nazariyasi elementlari.....	96
7.2. Noaniqlik sharoitida shartlarni qabul qilish.....	98
7.3. Matritsali o‘yinlarni simpleks usulida yechish.....	100
8.BOB. IQTISODIYOTDA TARMOQLI USULLARDAN	
FOYDALANISH.....	104
8.1. Tarmoqli rejalashtirish va boshqarish modellari.....	104
8.2. Tarmoqli rejalashtirish masalasining algoritmi.....	106
8.3. Tarmoqli grafiklar parametrlarini hisoblash qoidalari.....	107
8.4. Tarmoqli grafiklar parametrlarini hisoblashning analitik usuli.....	109
8.5. Tarmoqli modellarda “kritik yo‘l”.....	112
9.BOB. ISHLAB CHIQARISH FUNKSIYALARI.....	116
9.1. Ishlab chiqarish funksiyasi to‘g‘risida tushunchalar.....	116
9.2. Ishlab chiqarish funksiyalari turlari va xususiyatlari.....	120
9.3. Kobb-Duglas ishlab chiqarish funksiyasi va uning xarakteristikalarini.....	127
10.BOB. IMITATION MODELLASHTIRISH USULI.....	133
10.1. Murakkab tizimlar va ularning xususiyatlari.....	133
10.2. Kompyuterli modellashtirish. Imitation modellashtirish usuli.....	137
10.3. Murakkab tizimlarning modellarini tuzish va tadqiq qilish.....	140
11.BOB. IMITATION MODELLASHTIRISH	
TEKNOLOGIYASI.....	147
11.1. Imitation modellashtirish usuli va uning xususiyatlari.....	147
11.2. Diskret va uzluksiz imitation modellar.....	150
11.3. Modellashtiruvchi algoritm. Imitation model va hisoblash eksperimenti.....	153

12.BOB. IMITATION MODEL XUSUSIYATLARINI SINASH VA TADQIQ QILISH.....	159
12.1. Imitation modelni testdan o'tkazishga bo'lgan kompleks yondashuv.....	159
12.2. Imitation model adekvatligini tekshirish.....	163
12.3. Imitation modelni verifikatsiyalash.....	167
12.4. Imitation model sezgirligini tahlil qilish.....	171
12.5. Imitation eksperimentni taktik rejalashtirish.....	174
13.BOB. IMITATION MODELDA YO'NALTIRILGAN HISOBLASH EKSPERIMENTLARINI TASHKIL ETISH VA O'TKAZISH TEXNOLOGIYASI.....	180
13.1. Imitation modelda yo'naltirilgan hisoblash eksperimenti va uning mazmuni.....	180
13.2. Imitation modellashtirishda hisoblash eksperimentlarining asosiy maqsadlari va turlari.....	183
13.3. Eksperimentlarni rejalashtirishning asosiy nazariyalari. Asosiy tushunchalar: strukturaviy, funksional va eksperimental modellar.....	187
14.BOB. IMITATION MODELLARNI TUZISHDA AXBOROT TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISH.....	196
14.1. Imitation modellashtirishda Mathcad dasturining imkoniyatlari.....	196
14.2. MathCAD tizimida sodda hisoblashlarni bajarish.....	209
14.3. MathCAD tizimida massivlar bilan ishlash.....	214
Glossariy.....	224
Foydalanigan adabiyotlar	232

**ALIMOV RAIMJON XAKIMOVICH,
ISHNAZAROV AKRAM ISMOILOVICH,
RIXSIMBOYEV ODILJON QOBILJONOVICH**

IQTISODIYOTDA MATEMATIK VA IMITATION USULLAR

**Toshkent – «INNOVATION RIVOJLANISH
NASHRIYOT-MATBAA UYI» – 2022**

Muharrir:	N. Abdullayeva
Texnik muharrir:	M. Tursunov
Musavvir:	A. Shushunov
Musahhih:	L. Ibragimov
Kompyuterda sahifalovchi:	M. Zoyirova

E-mail: nashr2019@inbox.ru Tel: +99899920-90-35
№ 3226-275f-3128-7d30-5c28-4094-7907, 10.08.2020.

Bosishga ruxsat etildi 05.09.2022.

Bichimi 60x84 1/16. «Timez Uz» garniturası.

Ofset bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog'i: 15,5. Nashriyot bosma tabog'i 15,0.

Tiraji: 50. Buyurtma № 115

«INNOVATSION RIVOJLANISH NASHRIYOT-MATBAA UYL»

bosmaxonasida chop etildi.

100174, Toshkent sh, Olmazor tumani,

Universitet ko'chasi, 7-uy.



KIRISH

Mamlakatimiz oliy ta'lim tizimida olib borilayotgan tub islohotlar ta'limning yangi shakllarini joriy etish, raqobatbardosh milliy kadrlarni tayyorlash, O'zbekistonni Markaziy Osiyoda "ta'lim xabi"ga aylantirish va jahondagi yuqori nufuzli oliy ta'lim muassasalari bilan integratsiyasini ta'minlashga qaratilgan.

Mamlakatimiz Prezidentining matematika fanini rivojlantirish, milliy iqtisodiyot tarmoqlari va sohalariga matematika fanining amaliy tatbiqi masalalari bir qator farmonlar va qarorlarda o'z aksini topgan.

2019-yil 9-iyulda O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-4387-sonli "Matematika ta'limi va fanlarini yanada rivojlantirishni davlat tomonidan qo'llab-quvvatlash, shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining V.I.Romanovskiy nomidagi matematika instituti faoliyatini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"¹gi qarori qabul qilindi. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti 2020-yil yanvar oyida Oliy Majlisga Murojaatnomasida har-yili ilm-fanning bir nechta ustuvor yo'nalishi rivojlantirilishini ta'kidlab, 2020-yilda matematika fani respublikamizda ustuvor yo'nalishga ega fanlardan biri sifatida belgilab berdi. Bu esa matematika yurtimizda chuqur tarixiy asosga ega va bugungi kunda taraqqiyot uchun g'oyat dolzarb ekanligidan dalolat beradi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 7-maydagi PQ-4708-sonli "Matematika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"²gi qarorida mamlakatimizda matematika ilm-fanni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida belgilandi.

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Matematika ta'limi va fanlarini yanada rivojlantirishni davlat tomonidan qo'llab-quvvatlash, shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasining V.I. Romanovskiy nomidagi matematika instituti faoliyatini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi 2019-yil 9-iyuldagi PQ-4387-sonli Qarori. <https://lex.uz/docs/4409503>.

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Matematika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida" 2020-yil 7-maydagi PQ-4708-sonli Qarori. <https://lex.uz/docs/4807552>

Bugungi kunga kelib mamlakatimizda matematika faniga va uning milliy iqtisodiyotning bir qator tarmoqlariga tatbiqi masalalari dolzarb bo'lib qolmoqda.

Bugungi kunda zamonaviy matematikadan turli fanlarda, u ijtimoiy yoki iqtisodiy fan bo'lishidan qat'i nazar jadal foydalanishi bilan ajralib turadi. Ko'p jihatdan, bu jarayon zamonaviy matematikaning bir qator mustaqil sohalarga bo'linishi tufayli yuzaga kelmoqda. Matematika ko'plab bilim sohalari uchun nafaqat miqdoriy hisoblash vositasi, balki aniq tadqiqot usuli va tadqiqot masalalarini shakllantirish vositasiga aylanib bormoqda.

Iqtisodiyot jamiyat faoliyati va rivojlanishining obyektiv sabablari haqidagi fan sifatida turli miqdoriy xarakteristikalar va matematik usullardan foydalanadi. Zamonaviy iqtisodiyotni tadqiq qilishda noaniqlik va tavakkalchilik sharoitlarini hisobga olgan holda turli xil imitatsion va optimallashtirish usullari qo'llaniladi, ular ko'p jihatdan matematik dasturlash, o'yinlar nazariyasi, tarmoqli rejalashtirish va modellash, ommaviy xizmat nazariyasi va boshqa bir qator amaliy fanlarga asoslanadi.

Zamonaviy iqtisodiyot nazariyasi tabiiy, zarur element sifatida matematik usullar va modellarni o'z ichiga oladi. Iqtisodiyotda matematikadan foydalanish, birinchidan, eng muhim, ahamiyatli bog'lanishlarni aniqlash va rasman tavsiflash imkonini beradi. Ikkinchidan, aniq shakllantirilgan dastlabki ma'lumotlar va munosabatlardan tanlangan shartlar bilan bir xil darajada o'rganilayotgan obyektga mos keladigan xulosalar chiqarish mumkin. Uchinchidan, matematika usullari induktiv usul yordamida obyekt to'g'risida yangi bilimlarni olish imkonini beradi: uning o'zgaruvchilari bog'liqliklarining shakli va parametrlarini mavjud kuzatishlar bilan eng mos keladigan tarzda baholaydi. To'rtinchidan, matematika tilidan foydalanish iqtisodiy nazariya qoidalarini to'g'ri va ixcham bayon etish, uning tushunchalarini shakllantirish imkonini beradi.

Mazkur o‘quv qo‘llanma magistraturaning “Iqtisodiyotda matematik metodlar” mutxassisligi talabalarini tayyorlashga mo‘ljallangan. Uning ayrim boblaridan bakalavriatda “Ekonometrika”, “Iqtisodiyot” va boshqa bir qator ta’lim yo‘nalishlari talabalarini tayyorlashda ham foydalanish mumkin. Fanning matematik asoslari quyidagi boblarda keltirib o‘tilgan: iqtisodiyotda optimal dasturlash usullari, ikki indeksli iqtisodiy masalalarni yechish usullari, chiziqsiz dasturlash usullari, matritsali usullar, dinamik dasturlash usullari, o‘yinlar nazariyasi usullari, tarmoqli usullar, imitatsion modellashtirish usullari. Iqtisodiy amaliyotdan misollar keltirilgan va ularni MS Excel hamda dasturida yechish algoritmlari bayon etilgan. O‘quv qo‘llanmaning yakuniy bobida matematik va imitatsion modellashtirishda qo‘llaniladigan amaliy dasturlar paketlari (MathCAD) hamda ularning imkoniyatlari batafsil keltirib o‘tilgan.

Darslik, birinchi navbatda, aniq masalalar uchun iqtisodiy-matematik va imitatsion modellarni yaratish hamda ularni qo‘llash bilan shug‘ullanadigan talabalarga, amaliyotchilarga va ilmiy-tadqiqotchilarga mo‘ljallangan. Amalda foydalaniladigan algoritmlarning matematik asoslari qulay tilda taqdim etishga harakat qilindi. Amaliyotdan olingan misollar esa, ulardan foydalanish hamda qo‘llashning barcha bosqichlarini ko‘rsatadi.

O‘quv qo‘llanma kredit-modul tizimida ta’lim olayotgan “Iqtisodiyotda matematik metodlar” mutxassisligi talabalarini tayyorlashga mo‘ljallangan o‘quv rejasidagi “Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar” fanining tasdiqlangan usuli asosida tayyorlangan.

I-BOB. IQTISODIYOTDA MATEMATIK VA IMITATION USULLAR FANIGA KIRISH

REJA:

1.1. Iqtisodiy-matematik va imitatsion modellashtirishning mohiyati va zarurligi.

1.2. Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar hamda ularni tuzishmodellar tasnifi.

1.3. Fanning maqsadi, vazifalari va boshqa fanlar bilan aloqasi.

1.1. Iqtisodiy-matematik va imitatsion modellashtirishning mohiyati va zarurligi

Zamonaviy fan va texnikani matematik va imitatsion modellashtirishdan keng foydalanmasdan tasavvur qilib bo'lmaydi. Ushbu metodologiyani mohiyati dastlabki obyektning uning "obrazi" bilan almashtirish – matematik va imitatsion model hamda mazkur modellarni analitik usullar yoki kompyuter modeli yordamida o'rganishdir.

Ilmiy bilishning ushbu usuli o'zida ham nazariyaning, ham eksperimentning ko'plab afzalliklarini birlashtiradi. Obyektning o'zi (hodisalar, jarayon) bilan emas, balki uning modeli bilan ishlash uning xususiyatlarini va turli vaziyatlardagi xatti-harakatlarini o'rganishga imkon beradi (nazariyaning afzalliklari). Shu bilan birga, obyekt modellari bilan hisoblash (kompyuterda) eksperimentlari obyektlarni batafsil va chuqur o'rganish imkonini beradi (eksperiment afzalliklari). Shuning uchun ham matematik modellashtirish metodologiyasi jadal rivojlanmoqda va texnik tizimlarni ishlab chiqish hamda ularni boshqarishdan tortib eng murakkab iqtisodiy va ijtimoiy jarayonlarni tahlil qilishgacha bo'lgan barcha yangi sohalarni qamrab olmoqda.

Zamonaviy iqtisodiy tadqiqotlar iqtisodiy-matematik va imitatsion modellarni tuzish va ulardan foydalanishga tobora ko'proq murojaat qilmoqda. Bunday modellarni tuzish uchun klassik yoki maxsus ishlab chiqilgan iqtisodiy-matematik va imitatsion usullar

qo'llaniladi. Iqtisodiy va matematik modellarni tuzish zarurati Kontning mashhur – oldindan ko'rish uchun bilish, boshqarish uchun oldindan ko'rish fikrini tasdiqlaydi. Iqtisodiy-matematik va imitatsion modellar ushbu formulaning birinchi qismini amalga oshiradi va uning ikkinchi qismi uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Ma'lumki, model keng ma'noda tadqiqotchini qiziqtiradigan o'rganilayotgan obyektning ishlash xususiyatlarini aks ettiruvchi aqliy konstruksiyaning bir turi sifatida belgilanishi mumkin. Tadqiqot maqsadlariga qarab, bir xil obyektни tasvirlash uchun ko'plab modellardan foydalanish mumkin. Bu bilimlarning nisbiyligi va to'liq emasligi, tadqiqotchining o'rganilayotgan obyektga bo'lgan nuqtayi nafari, shuningdek, taklif qilingan modellashtirish maqsadlarining o'ziga xos xususiyatlarining natijasi bo'lib, unga ko'ra ba'zi elementlar, xususiyatlar va munosabatlar asosiy hisoblanadi hamda modelga kiritilgan, boshqalari ahamiyatsiz deb hisoblanadiva ularning ta'siri hisobga olinmaydi.

Yuqoridagi aytilganga qarama-qarshi tasdiq ham ma'lum darajada to'g'ri: bir xil model tabiatan har xil bo'lgan obyektlarning bir xil turdagi xossalari va ishlash mexanizmlarini tasvirlashi mumkin. Modelning to'g'riligi modellashtirilgan obyektning haqiqiy tuzilishiga taalluqli aksiomalar, gipotezalar, dastlabki ma'lumotlar, uning ishlash xususiyatlari va atrof-muhit bilan munosabatlariga muvofiqlik darajasi bilan belgilanadi. Umuman olganda, har qanday model haqiqatning soddalashtirilgan tasviri bo'lib, modellashtirish san'ati nimani, qayerda va qanday soddalashtirishni bilishdan iborat.

Hozirgi vaqtda kompyuter texnologiyalaridan faol foydalanish tufayli iqtisodiy-matematik va imitatsion modellashtirishning roli ortib bormoqda. Ilgari yechib bo'lmaydigan bo'lib tuyulgan masalalar endilikda kompyuterli modellashtirish yordamida muvaffaqiyatli hisoblab chiqilmoqda. Analitik turdagi matematik modellar va obyektga yo'naltirilgan dasturlashdan foydalanadigan modellarda soddalashtirishga tadqiqotchini qiziqtirgan real elementlar o'rtasidagi munosa-

batlarni matematik obyektlar orasidagi mos munosabatlar bilan almashtirish va keyin bog'liqliklarni tavsiflash uchun matematik va kompyuter tahlilining ma'lum usullaridan foydalanish orqali erishiladi. So'nggilari qatoriga – chiziqli algebra usullari, differensial tenglamalar, matematik statistika, optimallashtirish nazariyasi, o'yinlar nazariyasi, operatsiyalarni tadqiq qilish, matematik modellashtirish va boshqa matematik fanlar kiradi.

Iqtisodiy tizimlar rivojlanishini matematik va imitatsion modelashtirish istiqbolli yo'nalishi bo'lib, barqarorlikni bartaraf etish bosqichlari va yangi tuzilishga bosqichma-bosqich o'tishni o'z ichiga olgan yo'nalish hisoblanadi. Bunday tizimning dinamikasini tavsiflashda jarayonlarning vaqt jihatidan farqini hisobga olgan holda uning vaqtinchalik tashkil etilishi qayta ishlab chiqariladi. Modelga qo'yiladigan asosiy talab iqtisodiy tizimning evolutsiyasini takrorlashdan iborat bo'lib, uning davomida qisqa vaqt oralig'ida doimiy deb hisoblangan parametrlar o'zgarishi mumkin. Har qanday iqtisodiy ma'lumotlar qandaydir iqtisodiy obyektning xarakteristikasi hisoblanadi. Ular ko'pgina omillar ta'siri ostida shakllanadi, ularning hammasini ham kuzatish va nazorat qilish uchun mumkin emas. Boshqarib bo'lmaydigan (hisobga olinmagan) omillar ular taqdim etgan ma'lumotlarning tasodifiy bo'lish shartini qo'yadi.

Imitatsion model – bu obyekt faoliyatini loyihalash, tahlil qilish va baholash uchun kompyuterda eksperiment o'tkazish uchun foydalanish mumkin bo'lgan obyektning mantiqiy-matematik ifodasidir.

Murakkab ijtimoiy-iqtisodiy tizimlarni matematik va imitatsion modellashtirishning samarasi quyidagilardan iborat:

– O'rganilayotgan va loyihalashtirilgan tizimlardagi stoxastik jarayonlar oqimini o'rganish zarurati bilan bog'liq bo'lgan yirik tizimlar faoliyatining talab qilinadigan sifat ko'rsatkichlarini ta'minlash bir-birini to'ldiradigan nazariy va eksperimental tadqiqotlar majmuasini amalga oshirish imkonini beradi;

– murakkab tizimlarni eksperimental o‘rganish samaradorligi juda past bo‘lib chiqadi, chunki haqiqiy tizim bilan to‘liq miqyosli tajribalar katta miqdorda moddiy xarajatlar va ko‘p vaqtni talab qiladi yoki deyarli imkonsizdir;

– nazariy tadqiqotlarning amaliy nuqtayi nazardan samaradorligi, agar ularning natijalari zaruriy aniqlik va ishonchlilik darajasida o‘rganilayotgan tizimlarning analitik aloqalari yoki modellashtirish algoritmlari ko‘rinishida taqdim etilishi mumkin bo‘lganda to‘liq namoyon bo‘ladi;

– odatda, model ierarxik tamoyil asosida tuziladi, obyekt faoliyatining alohida tomonlari ketma-ket tahlil qilinganda va tadqiqotchining diqqat markazida o‘zgarganda, avval ko‘rib chiqilgan quyi tizimlar tashqi muhitga o‘tadi. Modellarning ierarxik tuzilishi real obyektning o‘rganilayotgan ketma-ketligini, ya’ni strukturaviy (topologik) darajadan funksional (algoritmik) darajaga va funksionaldan parametrikka o‘tish ketma-ketligini ham ochib berishi mumkin;

– modellashtirish natijasi ko‘p jihatdan dastlabki konseptual (tavsifiy) modelning adekvatligiga, haqiqiy obyekt tavsifining olingan o‘xshashlik darajasiga, modelni amalga oshirish soniga va boshqa ko‘plab omillarga bog‘liq. Ba’zi hollarda obyektning murakkabligi nafaqat obyektning matematik modelini tuzishga, balki yetarlicha yaqin kibernetik tavsif berishga imkon bermaydi va bu yerda obyektning eng murakkab qismini ajratib imitatsion modelga kiritish kerak bo‘ladi. Keyin model, bir tomondan, kompyuter texnikasi asosida amalga oshiriladi, ikkinchi tomondan esa, obyektning haqiqiy qismi mavjud bo‘ladi. Bu imkoniyatlarni sezilarli darajada kengaytiradi va modellashtirish natijalarining ishonchliligini oshiradi.

1.2. Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar hamda modellar tasnifi

“Model” atamasi turli semantik ma’nolarda qo‘llaniladi – kundalik (qurilish, avtomobil modeli) va ilmiy (to‘liq yoki qisman

rasmiylashtirilgan nazariya, gipoteza va boshqalar). Keyinchalik, biz faqat ushbu atamaning ilmiy ma'nosi haqida gapiramiz. "Model" tushunchasini birxillashtirishga urinishlar bir necha bor keng ilmiy munozaralarga sabab bo'lgan.

1960-yillarning oxirida modelning ta'rifi haqidagi munozara ayniqsa qizg'in bo'ldi. Tadqiqotlardan ma'lumki, unda o'sha paytda mahalliy va xorijiy mualliflar tomonidan model va modellash tirishning 37 xil tushunchalari taqdim etilgan va tahlil qilingan.

Biroq, bugungi kunda modelning umumiy qabul qilingan yagona ta'rifi mavjud emas. Klassikaga aylangan va bugungi kunda model-lashtirish amaliyotida eng ko'p qo'llaniladigan ba'zi ta'riflarni ko'rib chiqamiz.

Model – bu orginal obyektning ba'zi xususiyatlarini o'rganishni ta'minlaydigan hamda orginal obyektning o'rnini bosuvchi obyektidir.

Model – bu obyekt yoki obyektning tavsifi, uning asl xususiyat-larini yaxshiroq o'rganish yoki uning biron-bir xossasini takrorlash uchun bir tizimni (ya'ni originalni) boshqa tizim bilan almashtirishdir (ma'lum shartlar, taxminlar, gipotezalar).

Umumiy ma'noda model (umumlashtirilgan model) – bu ma'lumotni olish va saqlash uchun yaratilgan (aqliy tasvir shaklida, belgilar yoki moddiy tizim bilan tavsiflangan) obyekt. U subyekt tomonidan hal qilinadigan vazifa uchun zarur bo'lgan ixtiyoriy xarakterdagi orginal obyektning xususiyatlari, xarakterlari va aloqa-larini aks ettiradi.

Yuqoridagi ta'riflardan kelib chiqadiki, keng ma'noda modelni o'rganilayotgan obyekt, jarayon yoki hodisaning "o'rnini bosuvchi" sifatida ishlatiladigan har qanday obraz (analog) deb atash mumkin, ya'ni obyektning taxminiy o'xshashligi, orginal obyektga qaraganda ma'lumot jihatidan "kamroq" bo'lgan obrazdir. Shu bilan birga, model kognitiv rolni bajaradi, izohlash, tushuntirish, prognozlash, nazorat qilish (qaror qabul qilish) vositasi sifatida ishlaydi.

Quyidagi ta'rifga amal qilamiz.

1.1-ta'rif. Model shunday moddiy yoki aqliy tasvirlangan obyekt bo'lib, tadqiqot jarayonida asl obyektning o'rnini bosadi, shu bilan birga uning ushbu tadqiqot uchun muhim bo'lgan barcha xususiyatlarini saqlab qoladi.

Modelning komponentalari bo'lib, subyekt, subyekt tomonidan yechiladigan masala, obyekt-orginal va tasvirlash tili yoki modelni moddiy takrorlash usuli hisoblanadi.

Obyekt tomonidan yechiladigan masala modelning tuzilishida alohida rol o'ynaydi, chunki har bir o'rganilayotgan obyektning turli tomonlarini o'rganish yoki uni turli darajadagi tafsilotlar bilan tavsiflash vazifalari bilan bog'liq bo'lgan maxsus modellar to'plami bilan bog'lanishi mumkin. Shu bilan birga, "masala-obyekt" juftligi ham axborotni taqdim etish shakllaridan farq qiluvchi modellar to'plamiga mos keladi.

Modellar quyidagi umum qabul qilingan talablarga javob berishi kerak:

- asosiy vazifalarni hal qilish imkoniyatlari bo'yicha funksional jihatdan to'liq;
- adekvat (obyektning ushbu tadqiqot maqsadlari uchun muhim bo'lgan barcha xususiyatlarini kerakli to'liqlik va aniqlik bilan takrorlash qobiliyatiga ega);
- yetarlicha sodda;
- muomala va boshqarish osonligi;
- moslashuvchan (boshqa modifikatsiyalarga osongina o'tish yoki ma'lumotlarni yangilash imkonini beradi);
- o'zgarishlarga ruxsat berish (ishlash jarayonida u yanada murakkablashishi mumkin).

Modellarni tuzish quyidagi beshta tamoyilga asoslanadi: axborotning yetarliligi, amalga oshirilishi mumkinligi, to'plamliligi, agregatsiyalash va parametrlash.

1. Axborotning yetarlilik tamoyili. Ko'rinib turibdiki, obyekt haqida ma'lumot bo'lmasa, uning modelini qurish mumkin emas va

to'liq ma'lumot mavjud bo'lganda, modelni qurish ma'nosizdir. Shunday qilib, o'rganilayotgan obyektning adekvat modelini tuzish qobiliyatiga mos keladigan aprior ma'lumotlarning ma'lum darajasi mavjud.

2. Amalga oshirilishi mumkinligi tamoyili. Yaratilayotgan model tadqiqotda qo'yilgan maqsadlarga erishilishni ta'minlashi kerak. Amaliy masalalarda, ya'ni "modellashtirish uchun modellashtirish" qabul qilinishi mumkin bo'lmagan hollarda obyekt haqida ma'lumot to'plashdan oldin modellashtirish chegaralari, maqsadlari va ularga erishishning miqdoriy ko'rsatkichlari belgilanishi kerak.

3. To'plamlilik tamoyili. Yaratilgan model, birinchi navbatda, ushbu tadqiqot uchun muhim bo'lgan haqiqiy obyektning (tizim, jarayonning) xususiyatlarini aks ettirishi kerak. Har qanday muayyan modeldan foydalanilganda, faqat haqiqatning ayrim sohalari bilib olinadi. To'liq o'rganish uchun o'rganilayotgan obyektни turli tomonlardan va har xil darajadagi kichik tafsilotlar bilan aks ettiruvchi yetarlicha ko'p sonli modellarni tuzish kerak.

4. Agregatsiya qilish (birlashtirish) tamoyili. Ko'pgina tadqiqotlarda tizimni quyi tizimlar to'plami sifatida taqdim etish tavsiya etiladi, chunki ularni ifodalashda standart sxemalarni qo'llash mumkin. Nisbatan mustaqil quyi darajadagi bloklarning mavjudligi modelni qayta qurishni ancha osonlashtiradi (masalan, agar kerak bo'lsa, qaror qabul qiluvchi shaxsga modelni tuzish uchun turli xil variantlar taklif qilinadi).

5. Parametrlashtirish tamoyili. Model ma'lum tizim ko'rinishida tuziladi, uning parametrlari esa noma'lum bo'ladi. Ba'zi hollarda, model ma'lum bir parametr (ehtimol vektor bo'lishi mumkin) bilan tavsiflangan nisbatan izolatsiya qilingan quyi tizimlarni o'z ichiga oladi. Bunday quyi tizimlar modelda parametr qiymati bilan almashirilishi mumkin. Parametrlashtirish tamoyili hisob-kitoblar hajmini va modellashtirish davomiyligini kamaytirishga imkon beradi.

Modellashtirish deganda, mavjud yoki yaratilgan obyektlarning xususiyatlarini aniqlash yoki takomillashtirish uchun ishlatiladigan ko‘p funksiyali tadqiqot tushuniladi va unda uchta asosiy element ishtirok etadi: tadqiqotchi, o‘rganish obyekti, tadqiqotchi o‘rganadigan vosita bo‘lib xizmat qiladigan model.

1.2-ta’rif. Modellashtirish – bu modellarni tuzish, o‘rganish va qo‘llash jarayonidir.

Modellashtirishning asosiy xususiyati shundaki, u maxsus yaratilgan o‘rnini bosuvchi obyektlar yordamida bilvosita bilish usulidir. Modellashtirish tadqiqot obyektining o‘rnini bosuvchi vazifasini bajaruvchi tadqiqot obyektidan boshqa obyektga o‘tkazishni o‘z ichiga oladi.

1.3. Fanning maqsadi, vazifalari va boshqa fanlar bilan aloqasi

Respublikamizda iqtisodiyotni modernizatsiyalash, ishlab chiqarishni diversifikatsiyalash va texnologik jihatdan yangilash, to‘g‘ridan-to‘g‘ri xorijiy investitsiyalarni jalb etish siyosati izchil amalga oshirilmoqda. Ushbu masalalarni optimal ravishda hal etishda “Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar” fanining roli ortib bormoqda.

Jahon hamjamiyatida O‘zbekiston o‘z o‘rnini egallashi, raqobatbardosh iqtisodiyotni yaratish hamda barqaror iqtisodiy o‘sishni ta’minlash, yangi ish o‘rinlarini tashkil qilish orqali bandlik muammosini hal etish, aholining daromadlari va farovonligini oshirishda tobora muhim o‘rin tutayotgan kichik biznes va xususiy tadbirkorlikni jadal rivojlantirish, rag‘batlantirish va qo‘llab-quvvatlash, ta’lim tizimida zamonaviy axborot va ilg‘or pedagogik texnologiyalarni qo‘llash – ustuvor masalalar bo‘lib qolmoqda.

Raqamli iqtisodiyot sharoitida o‘zgaruvchan raqobat muhiti va bozor sharoitini ilg‘ab olish, ularning rivojlanish qonuniyatlarini chuqur tahlil qilishda matematik va imitatsion usullar va modellardan

foydalanish yordamida taqchil iqtisodiy resurslarni optimal taqsimlash, ko‘p variantli muqobil yechimlarni ishlab chiqish, tavakkalchilik va noaniqlik sharoitida optimal iqtisodiy qarorlar qabul qilish, keyinchalik, bu qarorlar bajarilishini kompyuter texnologiyalari orqali monitoring qilish masalalarining nazariy va amaliy tomonlarini o‘rganishda “Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar” fani muhim ahamiyat kasb etadi.

“Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar” fani:

- milliy iqtisodiyotning barcha tarmoq va sohalari bo‘yicha chuqur fundamental tadqiqotlar olib borishga, iqtisodiy rivojlanish modellarini tuzishga imkon beradi;

- milliy iqtisodiyotni yaxlit tizim tarzidagi matematik va imitatsion modellarini yaratish orqali unga tashqi ta’sirlar, jahonda yuz berayotgan inqirozning biznes sikllariga ta’sirini aniqlay oladigan va qarshi choralarni belgilash strategiyalarini ishlab chiqishga imkon beradi;

- qo‘yilgan muammoni nafaqat analitik ifodalab qolmasdan, balki kompyuter texnologiyalari asosida iqtisodiy jarayonlarning matematik va imitatsion modellarini tuzadigan, endogen va ekzogen omillar ta’sirini aniqlaydigan milliy iqtisodiyotdagi tarmoqlar va korxonalarning biznes-jarayonlarini modellashtirishga ko‘maklashadi;

- tadqiq qilinayotgan obyekt, korxona, tarmoqning yoxud milliy iqtisodiyotni deterministik va stoxastik modellarini tuzishga imkon berib, ushbu jarayonlarni sifat va miqdor jihatidan tizimli boshqara oladigan va prognoz qila oladigan modellarini yaratadi;

- tadqiq qilinayotgan obyektning samarali boshqarish uchun o‘tkazilgan tadqiqotlar asosida maslahat beruvchi takliflar yoki boshqaruv qarorlarini ishlab chiqishga imkon beradi.

“Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar” fanini o‘qitishdan maqsad – talabalarda milliy iqtisodiyot va uning tarmoqlarida, korxona va birlashmalarda uchraydigan murakkab iqtisodiy tizimlarni matematik va imitatsion modellashtirishning nazariy va

uslubiy asoslarini hamda amaliy joriy etishni, aniq iqtisodiy obyektlar misolida modellar yaratilishi, ularning iqtisodiy mazmuni, qo'yilgan masalalarni kompyuter dasturlarida yechish va olingan natijalarni iqtisodiy talqin qilish bo'yicha boshqaruv qarorlarini qabul qilishda yo'nalish profiliga mos bilim, ko'nikma va malakalarini shakllantirishdan iborat.

“Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar” fanining vazifalari quyidagilar:

- iqtisodiy jarayonlarni modellashtirish asoslarini o'rgatish;
- iqtisodiyot murakkab va ierarxik tuzilishga egaligi, iqtisodiy jarayonlarning mohiyati, mazmuni va xususiyatlarini o'rgatish
- mikro– va makro darajadagi iqtisodiy jarayonlarni modellashtirish tamoyillarini o'rgatish;
- korxona va firmalarning faoliyat ko'rsatish mexanizmini o'rgatish;
- korxonalarda o'rganilayotgan har bir jarayonga mos keluvchi matematik va imitatsion usullarni tanlash hamda mazkur modellarni tuzish yo'llarini o'rgatish;
- korxonalar ma'lumotlari bo'yicha optimallashtiruvchi, balans, trend modellarini tuzishni o'rgatish;
- tanlangan modelni maxsus kompyuter dasturlari asosida yechishni o'rgatish
- har bir iqtisodiy jarayon va hodisalarning ko'p variantli yechimlarini olishni o'rgatish;
- olingan yechimlarni iqtisodiy tahlil qilish va qaror qabul qilishni o'rgatish.

“Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar” fani magistrnlarni tayyorlash rejasiga asosan bir qator fanlarning asosi va ularni rivojlantirishga xizmat qiladi, jumladan, demografiyaning matematik modellari, biznesni rejalashtirish usullari va modellari, iqtisodiy o'sish nazariyasi, moliyaviy matematika usullari, imitatsion va statistik modellashtirish, o'yinlar nazariyasi va iqtisodiy modellar fanlari,

dinamik iqtisodiy modellar, ekonometrika-2. Ayrim fanlar “Iqtisodiyotda matematik va imitatsion usullar” fanining asosini tashkil etadi, jumladan, tizimli tahlil, mikroiqtisodiyot-2, makroiqtisodiyot-2.

Nazorat savollari

1. Matematika fanini iqtisodiy jarayonlarga qo‘llashning sababi nimalardan iborat?
2. Iqtisodiyot tarmoqlarida qo‘llanilayotgan matematik modellarga misollar keltiring.
3. Kont bo‘yicha iqtisodiy jarayonlarni modellashtirishning asosiy sababi nima hisoblanadi?
4. Bitta obyektни tadqiq qilish yoki tahlil qilishda nechta modeldan foydalanish maqsadga muvofiq deb o‘ylaysiz?
5. Modellashtirishda kompyuter texnologiyalarining rolini tushuntirib bering.
6. Modelga qo‘yiladigan asosiy talab nimalardan iborat?
7. Murakkab ijtimoiy-iqtisodiy tizimlarni tadqiq qilishda qanday modellardan foydalaniladi?
8. Model va modellashtirish tushunchalariga ta’rif bering.
9. Modellarni tuzishdagi beshta tamoyilni tushuntirib bering.
10. Imitatsion modellardan qaysi maqsadlarda foydalaniladi?
11. Adekvat model deb nimaga aytiladi?
12. Fanning maqsadi nimalardan iborat?
13. Fanning vaziflarini tushuntirib bering?
14. Fanning o‘quv rejasidagi boshqa fanlar bilan aloqasini tushuntirib bering.

II-BOB. IJTIMOIIY-IQTISODIY TIZIMLARNI O‘LCHASH USULLARI

REJA:

- 2.1. Model va modellashtirish jarayonining ma’nosi.**
- 2.2. Modellar va modellashtirish usullari tasnifi.**
- 2.3. Imitatsion model va imitatsion modellashtirish mohiyati.**
- 2.4. Modellashtirish bosqichlari.**

2.1. Model va modellashtirish jarayonining ma’nosi

Kuzatilayotgan obyektlarni chuqur va har tomonlama o‘rganish maqsadida tabiatda va jamiyatda ro‘y beradigan jarayonlarning modellari yaratiladi. Buning uchun obyektlar hamda ularni xossalari kuzatiladi va ular to‘g‘risida dastlabki tushunchalar hosil bo‘ladi. Bu tushunchalar oddiy so‘zlashuv tilida, turli rasmlar, sxemalar, belgilar, grafiklar orqali ifodalanishi mumkin. Ushbu tushunchalar model deb aytiladi.

Model so‘zi lotincha **modulus** so‘zidan olingan bo‘lib, o‘lchov, me‘yor degan ma’noni anglatadi. Keng ma’noda model biror obyektning yoki obyektlar tizimini namunasidir. Model tushunchasi biologiya tibbiyot, fizika va boshqa fanlarda ham qo‘llaniladi.

Tor ma’noda model – o‘rganilayotgan obyektning, jarayonning yoki hodisaning muhim xususiyatlarini, xossalarini aks ettiruvchi yordamchi obyekt.

Keng ma’noda model – biror obyekt yoki obyektlar tizimining namunasidir.

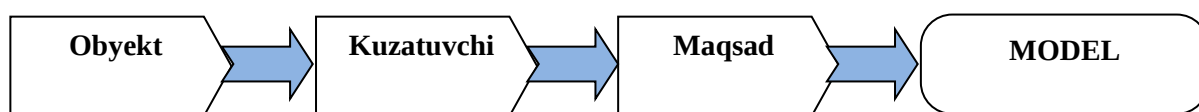
Iqtisodiy model – iqtisodiy obyektlarning soddalashtirilgan nusxasidir. Bunda modelning hayotiyiligi, uning modellashtiriladigan obyektga aynan mos kelishi muhim ahamiyatga ega. Lekin yagona modelda o‘rganilayotgan obyektning barcha tomonini aks ettirish mumkin emas. Shunda jarayonning eng xarakterli va eng muhim belgilari aks ettiriladi.

Demak, modelning haqiqiyliги to‘plangan ma’lumotlar hajmiga, aniqlik darajasiga, tadqiqotchining malakasiga va modellash tirish jarayoniga, aniqlanadigan masalaning xarakteriga bog‘liq ekan. Shuni ham unutmaslik kerakki, juda soddalashtirilgan model qo‘yilgan talablarga to‘la javob bermaydi va aksincha, murakkab model esa uni yechish jarayoniga qiyinchiliklar tug‘diradi.

Modelning hayotiyliги uning modellash tiriladigan obyektga qanchalik mos kelishiga bog‘liq. Bitta modelda obyektни hamma tomonini aks ettirish qiyin bo‘lganligidan unda obyektning eng xarakterli va muhim belgilarigina aks ettiriladi. Shuni ham ta’kidlab o‘tish kerakki, ortiqcha soddalashtirilgan model qo‘yilgan talablarga yaxshi javob bera olmaydi. O‘ta murakkab model esa masalani yechish jarayonida qiyinchiliklar tug‘diradi.

Jamiyatdagi va iqtisodiyotdagi obyektlarni matematik modellar yordamida kuzatish mumkin. Bu tushuncha **modellash tirish** deyiladi.

Ifodalangan model yordamida kuzatilayotgan obyektни bilish modellash tirish deyiladi. Modellash tirish jarayonini sxemasi quyidagicha (2.1-rasm):



2.1-rasm. Modellash tirish jarayoni sxemasi.¹

Bu sxemani asosiy bloki «Maqsad» bloki hisoblanadi, chunki qo‘yilgan maqsadga ko‘ra bitta obyekt uchun har xil modellar tuzilishi mumkin. Obyekt sifatida biror bir korxonani olsak, agar kuzatuvchini maqsadi ushbu obyektни ishlab chiqarish jarayonini o‘rganish bo‘lsa, bu holda modelni parametrlariga korxonani quvvati, ishlab chiqarish omillari, xomashyo, ishchilar soni, asosiy fondlar, ishlab chiqarish

¹Angel de la Fuente. Mathematical methods and models for economists. Cambridge university press, 2000. – 829 pp.

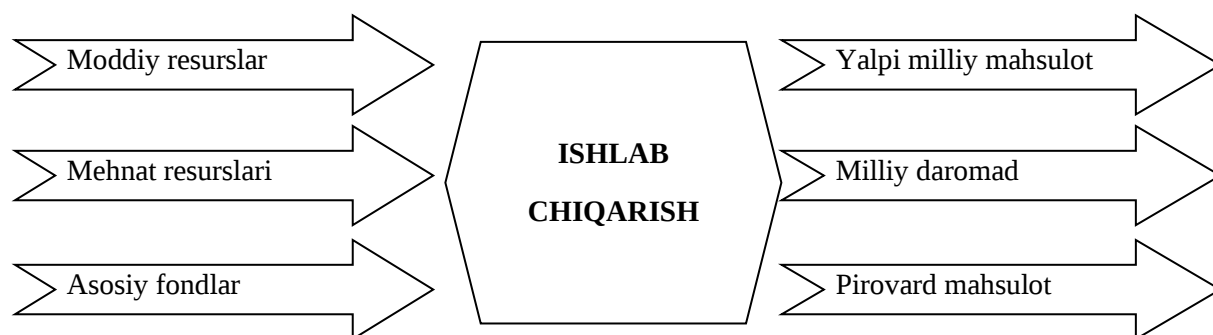
dasturi va hokazolar kiradi va model ishlab chiqarish funksiyasi ko‘rinishida ifodalanadi.

Agar kuzatuvchini maqsadi shu korxonani ijtimoiy tomonlarini o‘rganish bo‘lsa, unda ijtimoiy-matematik model tuzilib, xususiy usullar bilan yechiladi. Parametrlar sifatida ishchilarning soni, turmush darajasi, oladigan daromadi, ish sharoitlari, demografik tarkibi va boshqa parametrlar qo‘llanadi.

Agar kuzatuvchini ekologiya muammolari qiziqтира, unda tabiatni zararlanishi, sarflangan suv miqdori, ishlab chiqarish dasturi va hokazo parametrlar sifatida qo‘llanib, ekologik-matematik modellar tuziladi.

Modellashtirishning universal usul sifatida boshqa usullarga qaraganda afzalliklari mavjud. Ushbu afzalliklar esa quyidagilardan iborat.

Avvalo, modellashtirish katta va murakkab tizimni oddiy model yordamida ifodalashga imkoniyat beradi. Masalan, milliy iqtisod – bu o‘ta murakkab tizimdir. Uni oddiy “qora quti” sxemasi orqali ifodalash mumkin, ya’ni kirishda – resurslar va chiqishda – natijalar ko‘rinishida. Lekin “qora quti”da (2.2-rasm) sodir bo‘layotgan jarayonlar, texnologiyalar, ishlab chiqarish usullari – noma’lum.

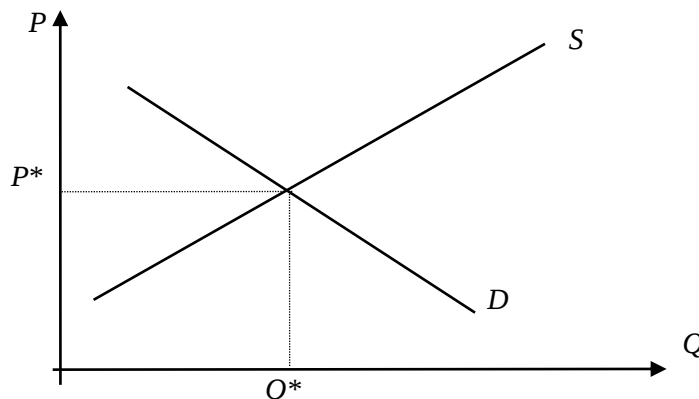


2.2-rasm. “Qora quti” sxemasi.

yoki:

$$F = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Bozor mexanizmini grafik usulda tasvirlash mumkin (2.3-rasm).



2.3-rasm. Talab va taklif grafigi.

Albatta, bu yerda ko‘p savollar tug‘iladi. Masalan, modelni qanchalik darajada soddalashtirish mumkin? O‘ta soddalashtirgan model qo‘yilgan talablarga javob bermasligi va uning yordamida qilingan hisob-kitoblar noto‘g‘ri chiqishi mumkin. O‘ta murakkab model, masalani yechish jarayonida ko‘p qiyinchiliklar tug‘diradi. Shuning uchun modelga faqat obyektning eng asosiy xarakterli, muhim omillarini kiritish zarur.

Modellashtirishning ahamiyati quyidagilarda namoyon bo‘ladi:

I. Model tuzilishi bilan kuzatuvchiga tajribalar qilish uchun keng maydon tug‘iladi. Modelning parametrlarini bir necha marta o‘zgartirib, obyektning faoliyatini eng optimal holatini aniqlab, undan keyin hayotda qo‘llash mumkin. Real obyektlar ustida tajriba qilish ko‘plab xatolarga va katta xarajatlarga olib kelishi mumkin.

II. Model, istalgan tizimni, matematik formulalar yordamida shakllantirishga imkoniyat beradi va EHMlar yordamida tizimni boshqarishga yordam beradi.

III. Modellashtirish o‘rganish va bilish jarayonini kengaytiradi. Model tuzish qilish uchun obyekt har tomonlama o‘rganiladi, tahlil

qilinadi. Model tuzilganidan so‘ng, uning yordamida obyekt to‘g‘risida yangi ma’lumotlar olish mumkin. Shunday qilib, obyekt to‘g‘risidagi bilish jarayoni uzluksiz jarayonga aylanadi.

2.2. Modellar va modellashtirish usullari tasnifi

Qaror qabul qilish jarayoni va maqsadi bilan bog‘liq masalalarning murakkabligi va mazkur jarayonlarda foydalaniladigan turli xil modellarni yaratishni keltirib chiqaradi. Shu bilan birga, umumiy xususiyatlarning mavjudligi modellarni alohida sinflarga birlashtirishga imkon beradi, bu esa ularni ishlab chiqish va o‘rganishni osonlashtiradi. Nazariy jihatdan, tasniflashning ko‘plab belgilari ko‘rib chiqiladi va ularning soni haligacha aniqlanmagan.

Ba’zi hollarda obyektning o‘rganilayotgan xususiyati dixotomik (yunonchadan *dixotomia*: ikki + toifaga + bo‘lish) tasnifga muvofiq modelni ma’lum bir sinfga kiritish imkonini beradi. 2.1-jadvalda dixotomiyali tasnif belgilarining ba’zi misollari va ushbu belgilarga mos keladigan modellar turlarini ko‘rsatadi.

2.1-jadval

Modellarni dixotomik tasniflashga misollar

Tasniflash belgisi	Modellar turlari
Ekzogen va endogen o‘zgaruvlar nisbati	Ochiq, yopiq
Tafsilot darajasi	Agregirlangan (makromodellar), maydalashtirilgan (mikromodellar)
Olish usuli	Nazariy, empirik
Ehtimolli tabiatga ega omillarni hisobga olish	Deterministik, stoxastik

Ayrim hollarda obyektning o‘rganilayotgan xossasi modelni trixotomik (yunoncha *trixomoto*: uchga – bo‘linish) tasnifiga muvofiq

ma'lum bir sinfga kiritish imkonini beradi. Trixotomik tasnif belgilari-ning ba'zi misollari va ushbu belgilarga mos keladigan modellarning turlari 2.2-jadvalda keltirilgan.

2.2-jadval

Modellarni trixotomik tasniflashga misollar

Tasniflash belgisi	Modellar turlari
Ierarxik darajaga tegishliligi	Mikro-, mezo– va makrodara-jadagi modellar
O'zgaruvchilar qiymatlar to'plami turi	Uzluksiz, diskret, diskretli-uzluksiz
Modelning to'liqlik darajasi	To'liq, to'liq bo'lmagan, taxminiy

Tasniflashning eng muhim belgilari quyidagilar:

- modelning to'liqlik darajasi;
- obyektning modellashtirilgan xususiyatining xarakteri;
- modellashtirish obyektida sodir bo'ladigan jarayonlarning xarakteri;
- modelni amalga oshirish usuli.

“Modelning to'liqlik darajasi” tasniflash belgisiga ko'ra, model-lar to'liq, to'liq bo'lmagan va taxminiyga bo'linadi. To'liq model o'zini vaqt va makonda namoyon qiluvchi obyekt-originalga o'xshashligiga asoslanadi, to'liq bo'lmagan model o'rganilayotgan obyektga to'liq bo'lmagan o'xshashlik bilan tavsiflanadi. Taxminiy modellarda real obyektning ayrim tomonlari umuman modellashtirilmaydi. O'xshashlik nazariyasi shuni ta'kidlaydiki, mutlaq o'xshashlik faqat bitta obyekt boshqasi bilan almashtirilgandagina mumkin. Shuning uchun modellashtirishda mutlaq o'xshashlik sodir bo'lmaydi.

“Modellashtirish obyektida sodir bo'ladigan jarayonlar xarakteri” asosida modellar deterministik va stoxastik, statik va dinamik, diskret, uzluksiz va diskret-uzluksizga bo'linadi. Deterministik modellar

tasodifiy ta'sirlar bo'lmagan jarayonlarni aks ettiradi. Stoxastik modellar ehtimoliy xarakterdagi jarayonlar va hodisalarni aks ettiradi. Statik modellar obyektning belgilangan vaqtdagi holatini yoki holati vaqtga bog'liq bo'lmagan obyektни tasvirlash uchun ishlatiladi. Dinamik modellar vaqt davomida obyektning harakatini ifodalaydi. Diskret modellar diskret holatlarga ega tizimlarning harakatini aks ettiradi. Uzlüksiz modellar uzluksiz jarayonlar bilan tavsiflangan tizimlarni ifodalaydi. Diskret-uzluksiz modellar dastlabki obyektда tadqiqotchi uchun bir xil darajada muhim bo'lgan ikkala turdagi jarayonlar sodir bo'lganda tuziladi.

“Modelni amalga oshirish usuli” asosidagi tasnifga muvofiq modellar ikkita katta sinfga bo'linadi: moddiy (material) va ideal (abstrakt).

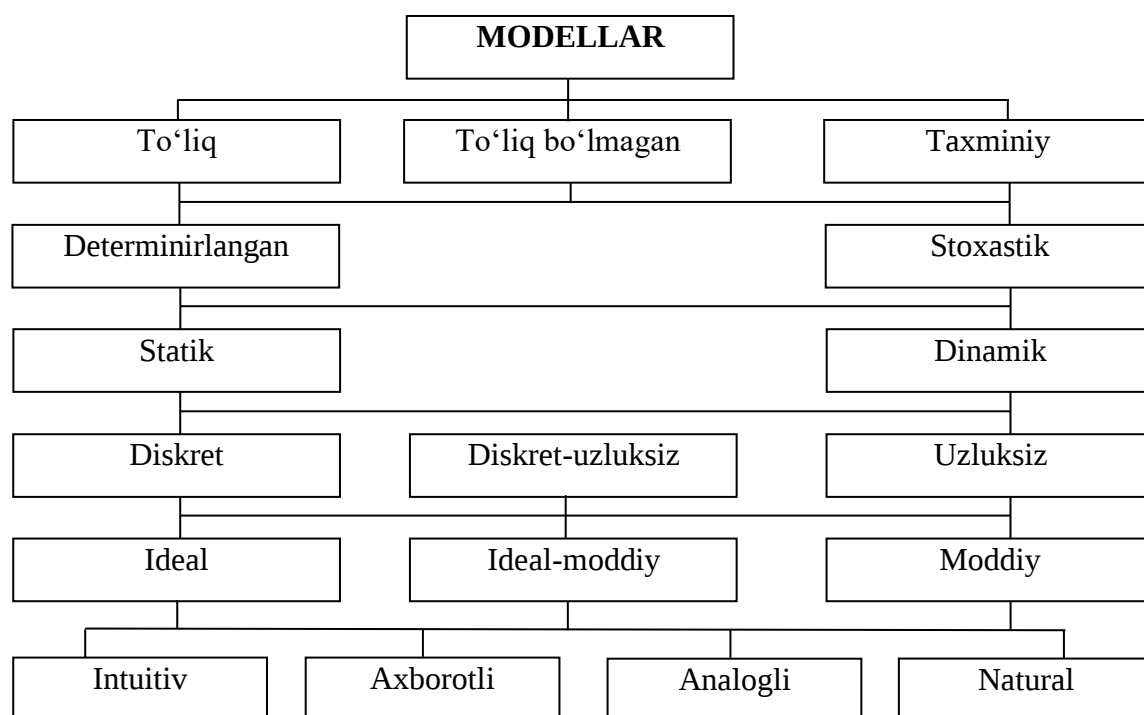
Moddiy modelda obyekt-originalning tashqi xususiyatlari yoki ichki tuzilishi yoki harakatlari takrorlanadi, ya'ni o'rganilayotgan obyekt haqidagi ma'lumotlar haqiqiy shaklga (shakli, nisbati, rangi, tezligi va boshqalarga) ega bo'lib, uni sezgi yoki o'lchash asboblari yordamida olish mumkin. Moddiy modellar odatda natural (fizik) modellarga (modellar, mahsulot namunalari, eksperimental qurilmalar) va boshqa fizik tabiatga ega bo'lgan hodisalarning analogiyasiga asoslangan analog modellarga bo'linadi. Analogli modellashtirishning klassik namunasi – maxsus elektr stend yordamida mexanik tebranishlarni (masalan, poyezd vagonlari yoki ko'priklarning tebranishlarini) o'rganish.

Ideal (abstrakt) analogiyaga asoslangan modelda o'rganilayotgan obyekt haqidagi ma'lumotlar abstrakt, mavhum ko'rinishda (fikr, bayonot, formula, chizma, algoritm) taqdim etiladi. Ideal modellar, o'z navbatida, intuitive va axborotli (qisman yoki to'liq rasmiylashtirilgan) bo'linadi. Intuitiv model – o'rganilayotgan obyektning aqliy tasviri. Bunday model moddiy yoki axborotli modelni yaratishdan oldin bo'ladi. Shakldagi axborotli modellar matnlar, diagrammalar, grafiklar, chizmalar, formulalar bo'lishi mumkin. Axborotli model – bu

obyekt-originalning xususiyatlari haqida ogʻzaki tavsif, matn, rasm, jadval, diagramma, chizma, formula va boshqalar koʻrinishidagi maʼlumotlar yigʻindisidir.

Obyektning abstrakt modellarini quyidagicha tuzish mumkin: obyektning abstrakt tasvirlab boʻlmaydigan qismi moddiy jihatdan modellashtiriladi, qolgan qismi abstrakt modellashtiriladi.

2.4-rasmda yuqorida tasniflash belgilarini hisobga oluvchi modellar tasnifi keltirilgan. Uni modellarni tasniflashning umumiy sxemasi deb ataymiz.



2.4-rasm. Modellarni tasniflashning umumiy sxemasi.

Axborotli modellar keyingi tadqiqotlar uchun eng muhimi boʻlganligi sababli, biz ushbu turdagi modellarni batafsil koʻrib chiqamiz.

Taʼrif. Axborotli model – obyekt, jarayon, hodisaning muhim xususiyatlari va holatlarini, shuningdek, tashqi dunyo bilan munosabatlarini tavsiflovchi maʼlumotlar toʻplami.

Har qanday axborotli model u yaratilgan maqsadni hisobga olgan holda faqat obyekt haqida muhim maʼlumotlarni oʻz ichiga oladi.

Shuni yodda tutish kerakki, bir xil obyektning turli xil tadqiqot maqsadlari uchun mo'ljallangan axborotli modellari butunlay boshqacha bo'lishi mumkin, chunki obyektning tavsiflovchi ma'lumotlar tadqiqotning boshqa shakliga ega bo'lishi mumkin.

Formallashtirish darajasiga ko'ra, axborotli modellar obrazli, belgili va obrazli-belgili modellarga bo'linadi. Bu bo'linish ancha shartli, chunki ko'pgina obrazli modellarda belgi elementlari, belgi modellarida esa majoziy elementlar mavjud. Obrazli modellar – har qanday axborot tashuvchisiga (qog'oz, kino, raqamli tashuvchilar) yozib olingan obyektlarning tasvirlaridir (vizual, eshitish va boshqalar). Belgili modellar – bu belgilar bilan ishlash uchun belgilar va qoidalardan foydalangan holda rasmiy tilda ifodalangan modellar. Obrazli – belgili modelga misol qilib, masalan, geografik xaritani keltirish mumkin. Xaritada tasvirlangan qit'alar, tog'lar, okeanlarning rangi va shakli (ko'k ranglar dengiz tubini, jigarrang – tog'larni, yashil – pasttekislikni ko'rsatadi) relyefni obrazli assotsiatsiyalar asosida baholash imkonini beradi. Belgilar ushbu belgi tilini biladigan odamga uni qiziqtirgan obyekt haqida ma'lumot olish imkonini beradi. Bu holda axborotli model shartli tasvirlar shaklida taqdim etilgan hislar va shartli chizmalar yordamida olingan ma'lumotlarni tushunish natijasi bo'ladi.

Ta'rif. Matematik model – bu o'rganilayotgan obyekt, tizim yoki jarayonni ifodalovchi tenglamalar, tengsizliklar, mantiqiy munosabatlar va boshqalar to'plamidir. Boshqacha qilib aytganda, matematik model – bu matematik belgilar yordamida ifodalangan obyektlar yoki hodisalarning ayrim sinfining taxminiy ifodasidir.

Amalga oshirish usuliga ko'ra, matematik modellar odatda analitik va algoritmik turlarga bo'linadi. Analitik modellar algebraik, differensial, integral-differensial munosabatlar yoki ularning tizimlari yig'indisidir. Bunday modellarni nisbatan sodda holatlarda o'rganish metodologiya va turli xil analitik modellashtirish vositalaridan foydalangan holda analitik tarzda amalga oshirilishi mumkin. O'rgani-

layotgan obyektning murakkabligi oshib borishi, analitik modellash-tirish imkoniyatlarining pasayishi bilan tadqiqotchi o'rganilayotgan obyektning ifodalanishini soddalashtirishga yoki kompyuter texnikasi imkoniyatlaridan foydalanish uchun maxsus usullarni jalb qilishga majbur bo'ladi. Bunday holda, modelni tadqiq qilish va qo'llash jarayonini algoritmizatsiya zarur bo'ladi. Algoritmik modelni tuzishda obyekt-original bo'lib analitik model hisoblanadi, maqsadi esa hisoblash jarayonini tashkil etish, uning asosini algoritm tashkil qiladi.

Shuni ta'kidlash kerakki, modellar tasniflanadigan ko'plab xususiyatlar va har xil turdagi modellarga murojaat qilish uchun bir xil atamalardan foydalanish, ko'pincha matematik modellar deganda analitik modellarni tushunishga olib keldi, algoritmik modellar esa oddiygina algoritmlar deb atalib kelinmoqda. Ko'p hollarda kompyuter yordamida modellashtirish ham, kompyuterli modellashtirish va imitatsion modellashtirish ham modellashtirish deb tushuniladi.

Ushbu tushunchalar o'rtasidagi farq nimadan iborat? Kompyuter yordamida modellashtirish deganda analitik modelni o'rganish tushuniladi, bunda kompyuter ko'p o'lchovli hisob-kitoblarni tez bajarish imkonini beruvchi kuchli kalkulator rolini o'ynaydi, analitik model esa hisoblash obyektini rasmiy tavsiflash usuli sifatida qaralishi mumkin. Kompyuterli modellashtirish tushunchasi an'anaviy "kompyuter yordamida modellashtirish" tushunchasiga qaraganda kengroq talqin qilinadi.

Ta'rif. Kompyuter modeli – bu o'rganilayotgan obyekt yoki jarayonning shartli tasviri bo'lib, tenglamalar, tengsizliklar, mantiqiy munosabatlar, o'zaro bog'langan kompyuter jadvallari, graflar, diagrammalar, grafiklar, chizmalar, animatsiya fragmentlari, gipermatnlar va boshqalar yordamida tasvirlangan, obyektning tuzilishini aks ettiradi va uning elementlari orasidagi bog'lanish hamda kompyuter dasturi yoki dasturlar to'plami shaklida amalga oshiriladi.

Boshqacha aytganda, kompyuterli modellashtirish – o'rgani-layotgan obyektning foydali dasturlar (masalan, grafiklar) bilan to'ldiril-

gan matematik modelning dasturiy ta'minoti asosida o'rganishdir. Bu holda kompyuter o'ziga xos eksperimental o'rnatish funksiyasini bajaradi, ikkita komponentga ega bo'lgan – dasturiy ta'minot va apparat ta'minotiga ega intellektual tadqiqot vositasi hisoblanadi. Kompyuterli modellashtirish o'ziga xos uslub va modellashtirish vositalariga ega.

2.3. Imitatsion model va imitatsion modellashtirish mohiyati

Imitatsion modellashtirish – bu matematik modellashtirishning xususiy holidir. Shunday obyektlar sinfi mavjudki, turli sabablarga ko'ra, ular uchun analitik modellar ishlab chiqilmagan, analitik modelni yaratish prinsipial jihatdan imkonsiz, olingan modelni yechish usullari ishlab chiqilmagan yoki yechimlari beqaror bo'lgan. Bunda analitik model imitator yoki imitatsion model bilan almashtiriladi.

Differensial tenglamalarning analitik yechimidan farqli o'laroq, modellashtirilayotgan tizimga qaysi parametrlar ta'sir qilishini va bu parametrlarning bir-biri bilan qanday bog'liqligini aniq ko'rsatadigan formulaga erishiladi, imitatsion modellashtirish natijasida raqamlar to'plami olinib, ular parametrlar o'rtasidagi bog'liqlikni o'rnatishga imkon bermaydi.

Imitatsion modellashtirish ba'zan xususiy analitik yechimlar yoki raqamli usullardan foydalangan holda tuzilgan muammoning aniq raqamli yechimlarini olish deb ataladi.

Quyidagi hollarda imitatsion modellashtirishga murojaat qilinadi:

- haqiqiy obyekt ustida eksperiment o'tkazish qimmat yoki imkonsiz bo'lsa;
- analitik modelni tuzish mumkin emas: tizimda vaqt, sabab-oqibat munosabatlari, oqibatlar, chiziqli bo'lmagan, stoxastik (tasodifiy) o'zgaruvchilar mavjud;
- tizimning harakatini vaqtda imitatsiya qilish kerak.

Imitatsion modellashtirishning maqsadi – o‘rganilayotgan tizimning xatti-harakatlarini uning elementlari orasidagi eng muhim munosabatlarni tahlil qilish natijalariga ko‘ra takrorlash yoki turli eksperimentlar o‘tkazish uchun o‘rganilayotgan predmet sohasining simulyatorini (inglizcha *simulation modeling*) ishlab chiqishdan iborat.

Imitatsion modellashtirish turlari.

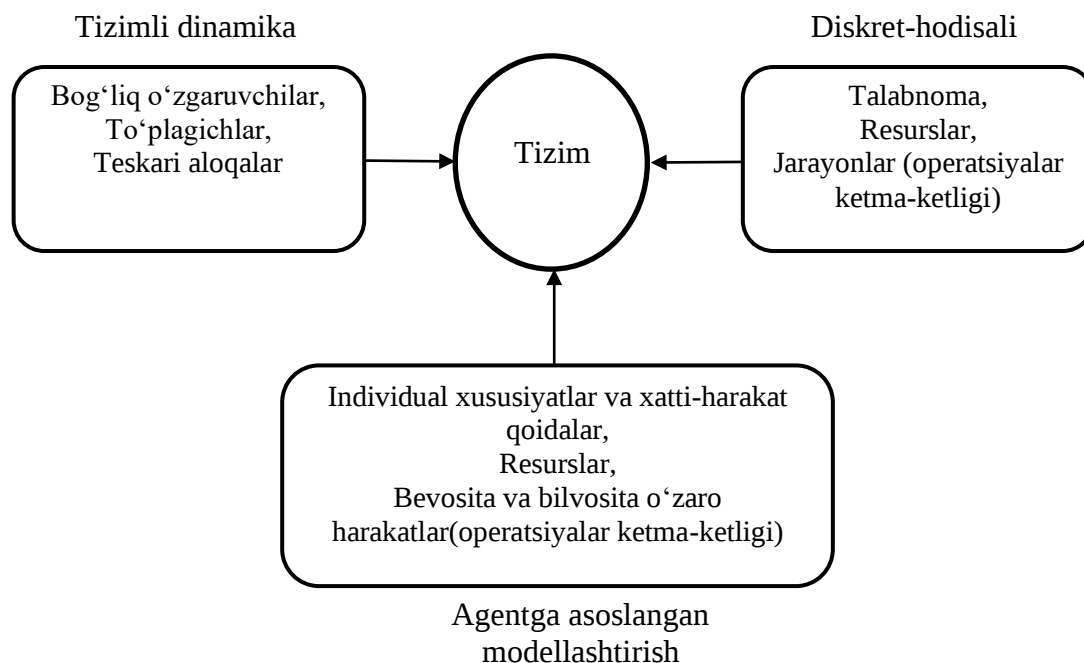
Imitatsion modellashtirish turlari quyidagilar: diskret-hodisali modellashtirish, tizimli dinamika va agentli modellashtirish.

Diskret-hodisali modellashtirish – bu hodisalarning uzluksiz tabiatidan mavhum bo‘lishni taklif qiladigan va modellashtiriladigan tizimning faqat asosiy hodisalarini ko‘rib chiqishni taklif qiladigan modellashtirishga yondashuv, masalan: “kutish”, “buyurtmani qayta ishlash”, “yuk bilan harakat qilish”, “yukni tushirish” va boshqalar. Diskret-hodisali modellashtirish eng rivojlangan bo‘lib, juda ko‘p sohalarda – logistika va ommaviy xizmat tizimlaridan tortib transport va ishlab chiqarish tizimlarida qo‘llanilishi mumkin. Ushbu turdagi modellashtirish ishlab chiqarish jarayonlarini modellashtirish uchun eng mos keladi. Diskret-hodisali modellashtirishga 1960-yillarda Jeffri Gordon tomonidan asos solingan.

Tizimli dinamika – bu modellashtirish paradigmasi bo‘lib, unda o‘rganilayotgan tizim uchun sabab-oqibat munosabatlari va ba’zi parametrlarning vaqt ichida boshqalarga global ta’sirining grafik diagrammalari tuziladi, so‘ngra ushbu diagrammalar asosida yaratilgan model kompyuterda imitatsiya qilinadi. Darhaqiqat, ushbu turdagi modellashtirish boshqa barcha paradigmalarga qaraganda ko‘proq narsa va hodisalar o‘rtasidagi sabab-oqibat munosabatlarini doimiy ravishda aniqlashning mohiyatini tushunishga yordam beradi. Tizimli dinamika yordamida biznes-jarayonlarning modellari, shahar rivojlanishi, ishlab chiqarish modellari, aholi dinamikasi, ekologiya va epidemiya rivojlanishi modellari tuziladi. Ushbu usul 1950-yillarda Jey Forrester tomonidan asos solingan.

Agentga asoslangan modellashtirish – imitatsion modellashtirishning nisbatan yangi (1990-2000-yillar) yo‘nalishi bo‘lib, u markazlashmagan tizimlarni o‘rganish uchun ishlatiladi, uning dinamikasi global qoidalar va qonunlar bilan belgilanadi (boshqa modellashtirish paradigmalarida bo‘lgani kabi), aksincha, bu global qoidalar va qonunlar guruh a‘zolarining individual faoliyati natijasi hisoblansa. Agentga asoslangan modellarining maqsadi – bu global qoidalar, tizimning umumiy xatti-harakati, individual, uning individual faol obyektlarining o‘ziga xos xatti-harakatlari va tizimdagi ushbu obyektlarning o‘zaro ta’siri haqidagi taxminlarga asoslangan. Agent – bu faoliyatga, avtonom xulq-atvorga ega bo‘lgan, ma’lum qoidalar to‘plamiga muvofiq qaror qabul qila oladigan, atrof-muhit bilan o‘zaro munosabatda bo‘ladigan, shuningdek, mustaqil ravishda o‘zgarishi mumkin bo‘lgan muayyan shaxs.

Imitatsion modellashtirigan bo‘lgan ushbu 3 ta yondashuni quyidagicha ifodalash mumkin (2.5-rasm).



2.5-rasm. Modellashtirishdagi uchta yondashuv.

Imitatsion modellarni qo‘llash sohalari:

– Biznes-jarayonlari;

- biznes-imitatsiya;
- jangovor harakatlar;
- aholi dinamikasi;
- yo‘l harakati;
- temir yo‘lda yuklarni tashish;
- IT-infratuzilmasi;
- tarixiy jarayonlarni matematik modellashtirish;
- logistika;
- ishlab chiqarish;
- bozor va raqobat;
- servis markazlari;
- yetkazib berish zanjirlari;
- loyihalarni boshqarish;
- ekotizim;
- axborot xavfsizligi.

2.4. Modellashtirish bosqichlari

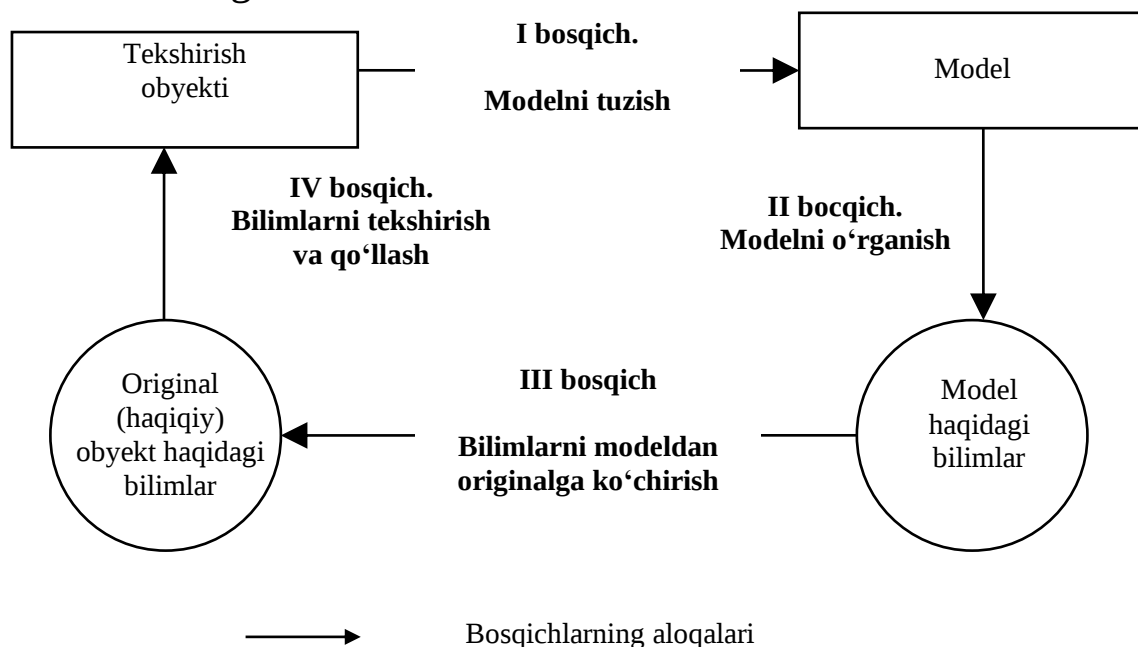
Iqtisodiy hodisalar va ko‘rsatkichlarni modellashtirish murakkab jarayon hisoblanadi. Modellashtirish jarayonini amalga oshirish uchun avvalo obyekt to‘g‘risida (firma, korxona, tarmoq, milliy iqtisod) yetarli va ishonchli ma’lumotlarga ega bo‘lish lozim.

Ushbu ma’lumotlarning ishonchliligi va yetarli darajada bo‘lishi tuzilayotgan yoki yaratilayotgan modelning sifatiga va hayotiyligiga ko‘p jihatdan bog‘liq bo‘ladi.

Modellashtirish jarayonining mohiyati 2.6-rasmda keltirilgan.

Modelni tuzish bosqichi haqiqiy (original) obyekt haqida ba’zi bilimlarni talab qiladi. Original obyekt va modelning yetarli darajada o‘xshashlik masalasi aniq tahlilni talab etadi. Modellashtirishning 2-bosqichida model o‘rganilayotgan mustaqil obyekt sifatida maydonga chiqadi. Bunday tekshiruvlarning shakllaridan biri “modelli” tajribalar o‘tkazish hisoblanadi.

Ularda modelning ishlash shartlari ongli ravishda o'zgartiriladi va uning "xulqi" haqidagi ma'lumotlar tartibga solinadi. Bu bosqichning yakuniy natijasi R model haqida olingan jami bilimlar hisoblanadi. 3-bosqichda bilimlarni modeldan haqiqiy obyektga ko'chirish amalga oshiriladi.



2.6-rasm. Modellashtirish jarayoni.

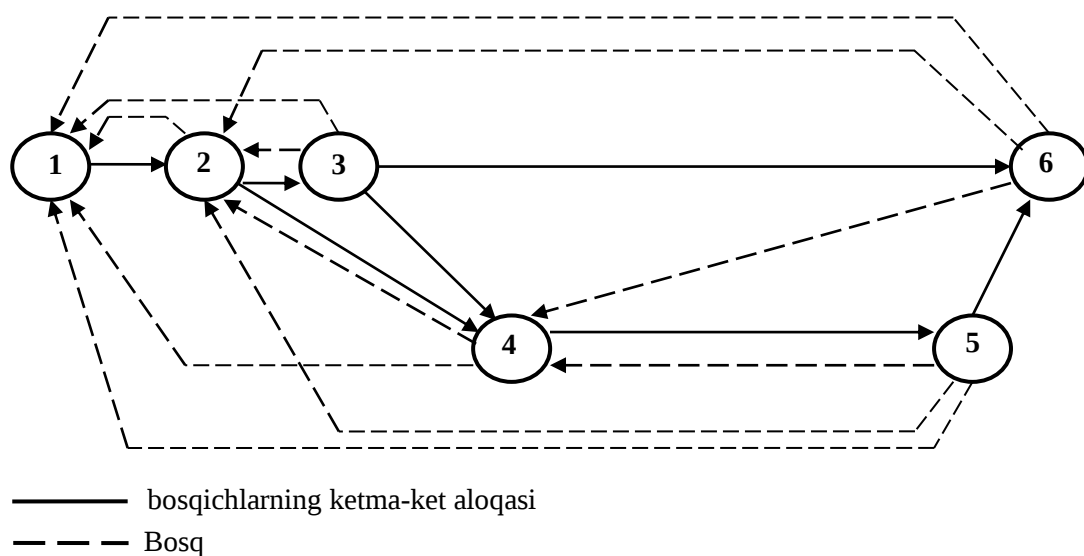
S-obyekt haqida jami bilimlar to'planadi. Bu bosqich aniq qoidalar asosida o'tkaziladi. Model haqidagi bilimlar shunday tizimlashtirilishi kerakki, unda haqiqiy obyektning modelni tuzishda o'zgartiriladigan yoki o'z aksini topmagan xususiyatlari hisobga olinishi zarur. Biz original obyekt va modelni o'xshashlik belgilarini o'zida aks ettira olgan har qanday natijani to'la asos bilan modeldan originalga ko'chira olamiz. Agar bu modelni tekshirishning ma'lum natijasi haqiqiy obyekt bilan bog'liq bo'lsa, bu natijani ko'chirish asosida hisoblanadi.

4-bosqichda model yordamida olinadigan bilimlarning amaliy tekshiruv va obyekt haqidagi umumlashtiruvchi nazariyani yaratish, obyektning o'zgartirish yoki boshqarishda olingan bilimlarni qo'llashdan iboratdir. Modellashtirishning mohiyatini tushunishda shuni esda

tutish lozimki, modellashtirish – obyekt haqidagi bilimlarning yagona manbai emas. Modellashtirish jarayonini juda keng bo‘lgan umumiy o‘rganish jarayonini o‘z ichiga oladi. Bu hol faqatgina modellashtirish jarayonida emas, balki o‘rganishning turli-tuman vositalari asosida olinadigan tekshiruvlar natijasini umumlashtirish va birlashtirishni o‘z ichiga oluvchi yakuniy bosqichda ham hisobga olinishi zarur.

Modellashtirish – takrorlanuvchi (siklik) jarayondir. Bu shuni bildiradiki, birinchi 4-bosqichli sikldan so‘ng ikkinchisi, uchinchisi va hokazo keladi. Bunda tekshirilayotgan obyekt haqidagi bilimlar kengayadi va tobora aniqroq bo‘ladi, boshlang‘ich model esa takomillashib boradi. Obyektni ham o‘rganish natijasida paydo bo‘lgan kamchilik va model tuzishdagi xatolar birinchi sikldan so‘ng aniqlanib, keyingi sikllarda tuzatilishi mumkin. Demak, modellashtirish uslubiyotida o‘z-o‘zini rivojlantirish asoslari mavjud.

Iqtisodiy-matematik modellarni tuzish bir qancha bosqichlardan tashkil topadi (2.7-rasm).



2.7– rasm. Modellashtirish bosqichlari.

Birinchi bosqich – iqtisodiy muammoning qo‘yilishi va uning nazariy sifat jihatdan tahlili.

Bu bosqichda iqtisodiy jarayon har tomonlama o‘rganiladi, uning ichki va tashqi axborot aloqalar, ishlab chiqarish resurslari, rejalashtirish davri kabi asosiy parametrlari aniqlanadi. Bu bosqichda asosan

muammoni asl ma'nosi ifodalanadi. Qanday masalalarga javob topilishi kerakligini aniqlash mumkin bo'ladi. Izlanayotgan noma'lum o'zgaruvchilar nima, qanday maqsadni ko'zda tutadi, natija nimalarga olib keladi, kabi savollar aniqlanadi.

Modellashtiriladigan iqtisodiy jarayonning optimallik mezonini aniqlanadi. Mezon – maqsad funksiyasi shaklida ifodalanadi.

Ikkinchi bosqich – matematik modelni tuzish.

Modellashtirayotgan jarayonning iqtisodiy matematik modeli tenglamalar, tengsizliklar tizimi, funksiyalar shaklida ifodalanadi. Oldindan modelni turi, keyin uning o'zgaruvchilari, parametrlari, aloqa shakllari aniqlanadi. Demak, matematik modelni qurilishini o'zi bir necha bosqichlardan iborat.

Uchinchi bosqich – modelning matematik tahlili.

Bu bosqichning maqsadi – modelni umumiy xususiyatlarini aniqlash. Bu yerda modelni matematik usullar bilan tekshiriladi. Eng asosiysi, modelni yechimi borligini isbotlash zarur. Agar modelni matematik yechimi bo'lmasa, unda keyingi bosqichlarni bajarish mumkin emas bo'lib qoladi. Shuning uchun yoki masalani iqtisodiy qo'yilishini o'zgartirish kerak yoki matematik ifodalashni yanada aniqroq qo'yilishi zarur bo'lib qoladi.

To'rtinchi bosqich – iqtisodiy ma'lumotlarni tayyorlash.

Modellashtirishda bu bosqichni ahamiyati juda muhim. Ma'lumotni real olinishi, modellarni ishlatilishini cheklashtiradi. Shunda ma'lumotni tayyorlashga ketadigan xarajatni e'tiborga olish kerak. Bu xarajatlar modellashtirishdan bergan samaradan kam bo'lishi zarur. Masalani yechish uchun kerak bo'lgan barcha iqtisodiy ma'lumotlar to'planadi va zarur bo'lsa statistik usullar bilan qayta ishlanadi. Modelda qatnashadigan koeffitsiyentlar aniqlanadi. Masalani yechish uchun uning dastlabki matritsasi tuziladi.

Beshinchi bosqich – algoritmlarni tuzish, dasturlarni tayyorlash va ular asosida masalani hisoblash, yechimini olish.

Bu bosqichning murakkabligi, masalaning katta o'lchamligi va juda katta ma'lumotlar massivlarini qayta ishlashdan iborat. Masalaning matritsasini iqtisodiy axborotlar bilan to'ldirilib, kompyuterdagi maxsus dasturga kiritiladi.

Oltinchi bosqich – yechimni miqdoriy tahlili va uning qo'llanishi.

Masalaning yechimi miqdor va sifat jihatidan tahlil qilinadi. Bu yerda ishlab chiqarish samaradorligini oshirishning yo'llari, resurslardan optimal foydalanish variantlari, izlanayotgan noma'lumlarning miqdoriy qiymatlari topiladi.

Yuqorida sanab o'tilgan bosqichlar bir-biri bilan chambarchas bog'liq va biri ikkinchisini to'ldirib, yagona maqsadni amalga oshirish uchun xizmat qiladi.

Nazorat savollari

1. Tor ma'noda modelga ta'rif bering.
2. Keng ma'nodagi model deganda nimani tushunasiz?
3. Modelning haqiqiyliги nimalarga bog'liq bo'ladi?
4. Modellashtirish jarayoni sxemasini tushuntirib bering.
5. Murakkab tizimni ifodalashning "qora quti" sxemasini tushuntirib bering.
6. Talab va taklif modelining ma'nosini tushuntirib bering.
7. Modellashtirishning ahamiyati qanday namoyon bo'ladi? Tushuntirib bering.
8. Nazariy modellar amaliy modellardan nimasi bilan farqlanadi?
9. Modellarni o'rganishda dixotomik tasniflash qanday qo'llaniladi?
10. Deterministik va stoxastik modellarni tushuntirib bering.
11. Obyekt-original nima va u nima uchun qo'llaniladi?
12. Ideal modellarini tushuntirib bering.
13. Imitatsion model nima va undan qachon foydalanish mumkin?
14. Qaysi holda imitatsion modellashtirishga murojaat qilinadi?
15. Imitatsion modellashtirishning qanday turlari mavjud?
16. Imitatsion modellashtirishga uchta yondashuvni tushuntirib bering.
17. Imitatsion modellashtirishni qo'llash sohalariga ta'rif bering.

III-BOB. IQTISODIYOTDA OPTIMAL DASTURLASH USULLARI

REJA:

- 3.1. Iqtisodiyotda optimallashtirishga oid masalalar.**
- 3.2. Optimal dasturlash usuli mohiyati.**
- 3.3. Optimal dasturlash masalasini yechish algoritmi. Simpleks usuli.**
- 3.4. Optimal dasturlash usulining ikkilangan masalalari.**
- 3.5. Optimal dasturlash usuli masalalarini yechishda axborot texnologiyalaridan foydalanish.**

3.1. Iqtisodiyotda optimallashtirishga oid masalalar

Bugungi kunda nafaqat iqtisodiyot sohasida, balki boshqa sohalarda ham optimallashtirish usullaridan keng foydalanib kelinmoqda. Optimallashtirishga oid masalalar asosan taqsimlash masalalari deb ataladi. Ya'ni ishlab chiqarishda resurslarning ishlab chiqarilayotgan mahsulotlar o'rtasida taqsimlanishi, ishlab chiqarish jihozlarning mahsulotlarni ishlab chiqarishda taqsimlanishi, investitsiyalarning turli xil investitsion loyihalar o'rtasida taqsimlanishi, davlat budjetining milliy iqtisodiyot tarmoqlari va sohalari o'rtasida taqsimlanishi, korxonalarda ishlarning xodimlar o'rtasida taqsimlanishi va boshqalar.

Optimallashtirishning klassik iqtisodiy masalalari bo'lib, chiziqli dasturlash masalalari, ya'ni ishlab chiqarishni rejalashtirish masalasi va dieta masalasi hisoblanadi.

Mazkur masalalarning qisqacha bayonini ko'rib chiqamiz.

Ishlab chiqarishni rejalashtirish masalasi. Faraz qilaylik, korxona n turli xil mahsulot (assortiment) ishlab chiqarish qobiliyatiga ega (sanoat korxonasi uchun turli xil detallar, qishloq xo'jaligi korxonasi uchun ekinlar, chorvachilikning turli xil mahsulotlari va hokazo), shu bilan birga, ushbu mahsulotlarni ishlab chiqarish uchun korxonada m

xildagi resurslar mavjud bo'lib (uskunalar vaqti, yer, ishchi kuchi, urug'lik, ozuqa, yoqilg'i va boshqalar), ularning zaxiralari quyidagicha:

$$b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_m.$$

Ishlab chiqariladigan har bir turdagi mahsulotdan olinadigan iqtisodiy foyda ham ma'lum bo'lib, ular

$$c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_n$$

Har bir turdagi mahsulotni ishlab chiqarish uchun zarur bo'lgan resurslarning sarflanish normalari ham ma'lum:

$$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{mn},$$

bu yerda, a_{11} – birinchi turdagi mahsulotning bir-birligini ishlab chiqarish uchun birinchi turdagi resursdan qancha kerakligini ko'rsatadi.

Umumiy holda $\sum a_{ij}x_j$, $j (j=1,2,\dots,n)$ turdagi mahsulotdan bir birlik ishlab chiqarish uchun $i (i=1,2,\dots,m)$ turdagi resursdan qancha kerakligini ko'rsatadi.

Bu ifodalar texnologik koeffitsiyentlar deb atalib, ularning soni $m \times n$ ga teng.

Korxona uchun foydani maksimallashtiruvchi assortiment mahsulot ishlab chiqarish rejasini tuzish zarur. Avvalo masalaning maqsad funksiyasini tuzish kerak.

Umumiy foyda

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_jx_j + \dots + c_nx_n = \sum_{j=1}^n c_jx_j \rightarrow \max$$

ko'rinishda bo'lib, bu masalaning maqsad funksiyasini ifodalaydi.

Endi chegaraviy shartlar sistemasini, ya'ni izlanayotgan rejaning komponentlari bo'lgan x_j larni qanoatlantiradigan shartlarni yozamiz. Buning uchun mahsulotlarni ishlab chiqarish uchun sarflanadigan har bir resursning miqdorini topamiz. Resurslarning umumiy sarfi quyidagi tenglamalar sistemasini yordamida topiladi.

Ushbu tenglamalar sistemasini yechish hamda maqsad funksiyaning ekstremal qiymatini topish orqali ishlab chiqarishda qatnashadigan mahsulotlarni aniqlash mumkin bo'ladi.

Barcha ma'lumotlarni quyidagi jadvalda umumlashtiramiz (3.1-jadval).

3.1-jadval

Dieta masalasining ma'lumotlari

Minimal moddalar va o'zgartirilmaydigan komponentalar	Sutkalik minimal ehtiyoj	100 gr. mahsulotda to'yimli moddalarning mavjudligi			
		P_1	P_2	...	P_m
B_1	b_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1m}
B_2	b_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2m}
...	...	...	...	...	...
B_n	b_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nm}
100 gr. mahsulot qiymati		S_1	S_2	...	S_m
100 gr. mahsulotning kaloriyaligi		e_1	e_2	...	e_m

Yuqorida shakllantirilgan dieta masalasini yechish uchun iqtisodiy-matematik modelini tuzamiz.

1. Noma'lumlarni aniqlab olamiz. Dietaga kirgan P_j mahsulotning miqdori (gramm) – x_j ($j=1,m$) deb belgilab olamiz.

2. Maqsad funksiyani yozib olamiz:

$$\text{I. } F_s(x_1, x_2, \dots, x_m) = \frac{S_1 \cdot x_1 + S_2 \cdot x_2 + \dots + S_m \cdot x_m}{100} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{100} \cdot S_j \cdot x_j \rightarrow \min$$

$$K = F_e(x_1^{opt}, x_2^{opt}, \dots, x_m^{opt}) = \sum_{j=1}^m \frac{1}{100} \cdot e_j \cdot x_j^{opt}$$

$$\text{II. } F_e(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{j=1}^m \frac{1}{100} \cdot e_j \cdot x_j = K_{\text{berilgan}}$$

$$c = F_s(x_1^{opt}, x_2^{opt}, \dots, x_m^{opt}) = \sum_{j=1}^m \frac{1}{100} \cdot S_j \cdot x_j^{opt}$$

3. Chegaraviy shartlar

3.1. Minimal sutkalik ehtiyoj bo'yicha

$x_i \geq 0$ – o‘zgaruvchilarning nomafiylik sharti.

Chegaraviy shartlarning mavjudligi matematik dasturlash masalalarini funksiyaning ekstremal qiymatlarini topishda matematik analizning klassik masalalaridan tubdan farq qiladi. Matematik dasturlash masalalarida funksiyaning ekstremumini topish uchun matematik tahlil usullari yaroqsiz bo'lib qoladi.

Matematik dasturlash masalalarini yechish uchun maxsus usullar va nazariyalar ishlab chiqilgan va ishlab chiqilmoqda. Ushbu muammolarni hal qilishda juda katta miqdordagi hisob-kitoblarni bajarish kerakligi sababli, usullarni qiyosiy baholashda ularni kompyuterda amalga oshirishning samaradorligi va qulayligiga katta ahamiyat beriladi.

Matematik dasturlashni muayyan sinflar muammolarini yechish usullarini o'rganish va ishlab chiqish bilan shug'ullanadigan mustaqil bo'limlar to'plami sifatida ko'rish mumkin.

Maqsad funksiyasi va chegaraviy shartlar funksiyalarining xossalari ko'ra matematik dasturlashning barcha masalalari ikkita asosiy sinfga bo'linadi:

- chiziqli dasturlash masalalari;
- chiziqsiz dasturlash masalalari.

Agar maqsad funksiya va chegaraviy shartlar funksiyalari chiziqli funksiyalar bo'lsa, u holda ekstremumni topishga oid tegishli masala chiziqli dasturlash masalasidir. Agar ushbu funksiyalardan kamida bittasi chiziqli bo'lmasa, u holda tegishli ekstremum qidirish masalasi chiziqsiz dasturlash masalasidir.

Optimal dasturlash usuli masalasining umumiy qo'yilishi.

Biror miqdorning eng katta va eng kichik qiymatini topish va bunday qiymatlar mavjud bo'lish shartlarini aniqlash talab qilinadigan masalalarni «ekstremumga oid» masalalar deb ataladi. Ular masalaning mohiyatidan kelib chiqqan holda «maksimum» yoki «minimum» (eng katta va eng kichik) qiymatni izlash masalasi deb ham ataladi. Bunday masalalarni texnika, tabiatda, iqtisodiyot,

biznesda shug'ullanuvchi kishilarning kundalik faoliyatida turli qarorlarni qabul qilishni asoslashda doimo yechishga to'g'ri keladi.

Bozor iqtisodiyoti sharoitida, uning barcha ishtirokchilari o'z faoliyatlarini maksimal foyda olishga yo'naltiradi. Buning sababi, pulga har qanday tovar va xizmatlarni xarid qilish mumkinligidir. Muvaffaqiyatli faoliyat olib borayotgan tadbirkor daromadining bir qismini olib borayotgan faoliyatini kengaytirishga yo'naltiradi, ya'ni biznesini kengaytiradi. Bunday masalalarda maqsad mezonni chiziqli funktsiya ko'rinishida beriladi. Masalan, firma hil mahsulot ishlab chiqarsin va bozorda sotsin. Bunda uning ishlab chiqarish imkoniyatlari firmadagi asbob-uskunalarining ishlash vaqti, mavjud xomashyo, materiallar zaxiralari va ishchilar soni bilan belgilanadi.

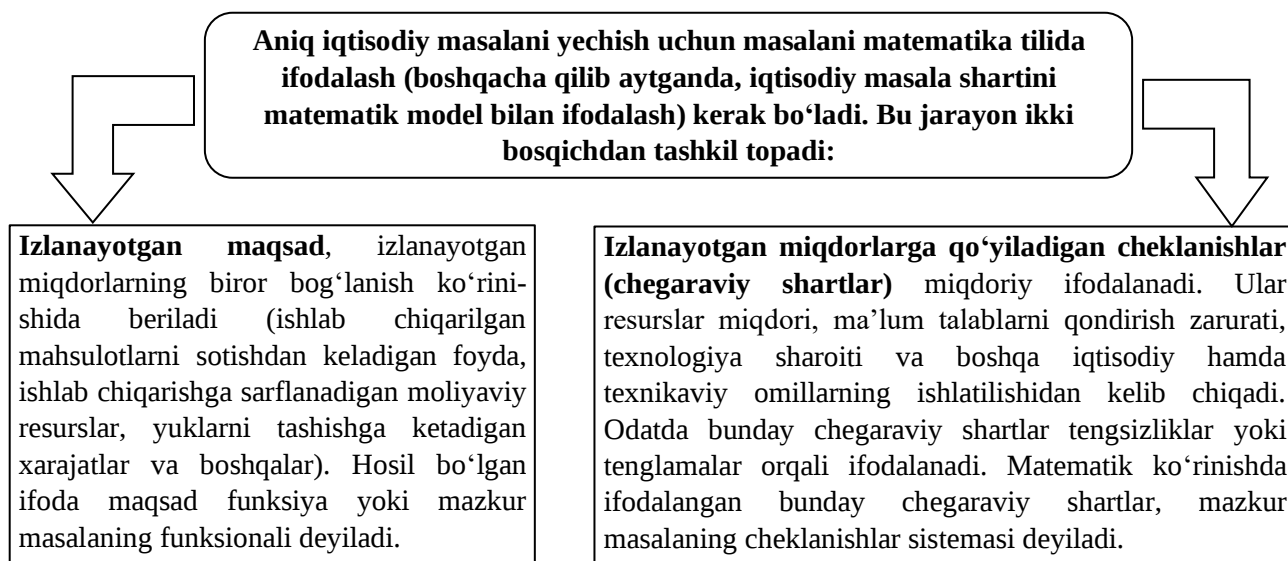
Raqobat sharoitida korxona va firmalarni boshqarish hamda rejalashtirish jarayonida, iqtisodchi quyidagi xususiyatlarga ega bo'lgan masalalarga duch keladi:

- 1) Izlanayotgan miqdorlarga juda ko'p cheklanishlar qo'yiladi.
- 2) Masala cheksiz ko'p yechimga ega bo'lib, ulardan eng yaxshisini tanlab olish zarur bo'ladi.

Masalaning bunday qo'yilishi iqtisodchi yoki menejer uchun katta qiyinchiliklar tug'diradi. Yaqin vaqtlargacha bunday masalalarning ko'pchiligi empirik yo'l bilan, ya'ni cheklanishlarga bo'ysunuvchi izlanayotgan miqdorlar tanlab olish usuli bilan hal etilar edi. Yana ham aniqroq yechim olish uchun bir necha variant o'zaro solishtirib ko'rilar va eng yaxshisi tanlab olinar edi. Bu tanlangan yechim eng yaxshi degan so'z emas, albatta, chunki cheksiz ko'p yechimdan faqat bir nechasi olib tekshirilardi.

Dasturlash amaliy jihatdan mumkin bo'lgan dasturni (reja, jadval, taqsimot) aniqlashdan iborat, u ma'lum nuqtayi nazardan qabul qilingan mezoniga asosan optimal bo'ladi. Matematik dasturlashga fan sifatida Nobel mukofotining laureati, akademik L.V. Kantorovich asos soldi.

Optimallashtirish usulining qo'llanilish shartlari quyidagi 3.1-rasmda keltirilgan.



**3.1-rasm. Optimallashtirish usulining qo‘llanilish shartlari.
Chiziqli dasturlash masalasining qo‘yilishi.**

Ta'rif. Berilgan

[illegible]

chiziqli chegaraviy shartlarni (chiziqli sistemani) qanoatlantiruvchi va

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_jx_j + \dots + c_nx_n \rightarrow \max \text{ (min)} \quad (3.2)$$

funksiyaga ekstremum (max, min) qiymat beruvchi nomanfiy

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_i \geq 0, \dots, x_n \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

o'zgaruvchilarning qiymatlarini topish masalasiga **chiziqli dasturlash masalasi** deyiladi.

Bu yerda a_{ij}, b_i, c_j ($i=\overline{1,m}; j=\overline{1,n}$) – berilgan o‘zgarmas sonlar.

(3.1) tenglamalar sistemasidagi barcha b_i ($i = \overline{1, m}$) sonlarni nomanfiy deb qabul qilish mumkin.

Chiziqli dasturlash masalasini turli shakllarda yozish mumkin.

a) Vektor shaklida:

$$P_1x_1 + P_2x_2 + \dots + P_jx_j + \dots + P_nx_n \quad (3.4)$$

chegaraviy shartni qanoatlantiruvchi va

$$Z = (CX) \quad (3.5)$$

chiziqli funksiyaga *min* (*max*) qiymat beruvchi $X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0$ vektorni aniqlash lozim.

Bu yerda, $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$, (CX) – skalyar ko‘paytma.

$$P_1 = \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ \dots \\ a_{m1} \end{pmatrix}, P_2 = \begin{pmatrix} a_{12} \\ a_{22} \\ \dots \\ a_{m2} \end{pmatrix}, \dots, P_n = \begin{pmatrix} a_{1n} \\ a_{2n} \\ \dots \\ a_{mn} \end{pmatrix}, P_0 = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{pmatrix} - \text{vektorlar}$$

b) Matritsali shaklda

Chiziqli funksiya

$$f = CX \rightarrow \max (\min) \quad (3.6)$$

Chegaraviy shartlar:

$$AX = P_0, \quad X \geq 0, \quad (3.7)$$

bu yerda $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ – bir qatorli matritsa; $A = (a_{ij})$.

(3.1) chiziqli sistemaning koeffitsiyentlaridan tuzilgan matritsa.

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix} - \text{ustun matritsa}, P_0 = \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \dots \\ p_m \end{pmatrix} - \text{ustun matritsa}.$$

d) Yig‘indi belgisi bilan berilgan shaklda.

$F = \sum_{j=1}^n C_j X_j$ chiziqli funksiyaning *min* (*max*) qiymati

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, \quad i = \overline{1, m},$$

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}$$

shartlarda aniqlansin.

Chiziqli dasturlash masalasi vektor shaklida berilgan bo‘lsin:

$$f(X) = CX \quad (3.8)$$

maqsad funksiyaning *min* qiymati

$$P_1x_1 + P_2x_2 + \dots + P_nx_n = P_0 \quad (3.9)$$

$$X \geq 0, \quad (3.10)$$

chegaraviy shartlarda topilsin.

Bu yerda, $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$; $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, CX – skalyar ko‘paytma.

$P_1, P_2, \dots, P_n, P_0$ – vektorlar.

Chiziqli dasturlash masalasi berilgan: f – maqsad funksiya; (3.9), (3.10) – masalaning chegaraviy shartlari a_{ij}, b_i, c_j – berilgan o‘zgarmas sonlar.

1-ta’rif. (3.9), (3.10) – chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – n o‘lchovli vektor berilgan chiziqli dasturlash masalasining joiz yechimi yoki rejasi deyiladi.

2-ta’rif. (3.8) – maqsad funksiya *min* (*max*) qiymat beruvchi $X^*(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ – joiz yechimni masalaning optimal yechimi deyiladi.

f – maqsad funksiyaning $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – rejadagi qiymati $f(X)$ bo‘lsin.

Agar har qanday X uchun $F(X) \geq F(X^*)$ ($F(X) \leq F(X^*)$) tengsizlik bajarilsa, X^* vektor berilgan masalaning optimal yechimi bo‘ladi.

(3.8), (3.9), (3.10) ko‘rinishda berilgan chiziqli dasturlash masalasining vektor shaklini tuzamiz:

$$f = CX \rightarrow \max \quad (3.11)$$

$$P_1x_1 + P_2x_2 + \dots + P_nx_n = P_0 \quad (3.12)$$

$$X \geq 0, \quad (3.13)$$

3-ta’rif. (3.4) tenglamada musbat x_i koeffitsiyentlar bilan qatnashuvchi P_i ($i = \overline{1, m}$) vektorlar o‘zaro chiziqli bog‘liqsiz bo‘lsa, joiz $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ yechimni masalaning tayanch yechimi deyiladi.

Har bir P_i vektor m – o‘lchovli bo‘lgani uchun musbat koordinatalar soni m dan ortmaydi.

4-ta’rif. Musbat koordinatalar soni m ga teng bo‘lgan $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ tayanch yechim – xosmas tayanch yechim, aks holda esa xos tayanch yechim deyiladi.

5-ta'rif. Chiziqli dasturlash masalasining (3.2) chiziqli tizimi nomanfiy ($x_j \geq 0$) yechimga ega bo'lmasa, masalaning o'zi ham yechimga ega bo'lmaydi.

3.3. Optimal dasturlash masalasini yechish algoritmi.

Simpleks usuli

Simpleks usuli har qanday chiziqli dasturlash masalasini yechishning universal usuli hisoblanadi. Uning g'oyasi quyidagicha: umumiy ko'rinishga keltirilgan chegaraviy shartlar tizimidan foydalanib, ya'ni n ta o'zgaruvchili m tenglamalar sistemasining ($m < n$) har qanday bazis yechimini sodda usulda topish hisoblanadi. Agar birinchi topilgan bazis yechim mumkin bo'lgan yechim bo'lsa, u holda u optimallikka tekshiriladi. Agar u optimal bo'lmasa, boshqa mumkin bo'lgan bazis yechimga o'tiladi.

Ushbu yangi yechim bilan chiziqli funksiya, agar u optimumga erishmasa, simpleks usuli unga yaqinlashishini kafolatlaydi (singulyar (xosmas) bazis yechimga o'tishda chiziqli funksiyaning qiymati o'zgarmaydi). Yangi mumkin bo'lgan bazis yechim optimal yechim topilgunga qadar xuddi shu tarzda davom ettiriladi.

Agar birinchi topilgan bazis yechim mumkin bo'lmagan yechim bo'lsa, u holda simpleks usuli yordamida boshqa bazis yechimlarga o'tish amalga oshiriladi, bu esa bir vaqtning o'zida maqbul asosiy yechim olinmaguncha, mumkin bo'lgan yechimlar maydoniga yaqinlashishga imkon beradi.

Shunday qilib, simpleks usuldan foydalanish ikki bosqichga bo'linadi:

- 1) chegaraviy shartlar tizimining tayanch yechimini topish;
- 2) optimal yechimni topish.

Bundan tashqari, har bir bosqich u yoki bu asosiy yechimga mos keladigan bir necha bosqichlarni o'z ichiga oladi. Bazis yechimlar soni

har doim cheklangan bo'lgani uchun, simpleks usulining qadamlar soni ham cheklangan bo'ladi.

Quyida simpleks usuli yordamida iqtisodiy masalani yechish algoritmini ko'rib chiqamiz.

Masala 1. Quyidagi chegaraviy shartlar asosida

$$\begin{cases} x_1 \leq 40, \\ x_2 \leq 30, \\ x_1 + x_2 \leq 60, \\ x_1 + 2x_2 \leq 80. \end{cases}$$
$$x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0.$$

ushbu

$$Z = 2x_1 + 3x_2$$

maqsad funksiyaning maksimum qiymati topilsin.

Chegaraviy shartlar – tengsizliklar tizimini tenglamalar tizimiga keltirish uchun har bir tengsizlikning chap tomoniga qo'shimcha manfiy bo'lmagan x_3, x_4, x_5, x_6 o'zgaruvchilarni qo'shamiz:

$$\begin{cases} x_1 + x_3 = 40, \\ x_2 + x_4 = 30, \\ x_1 + x_2 + x_5 = 60, \\ x_1 + 2x_2 + x_6 = 80. \end{cases} \quad (3.14)$$

$$x_j \geq 0, \quad (j=1,2,3,\dots,6).$$

Chegaraviy shartlar tizimi oltita o'zgaruvchiga ega to'rtta mustaqil tenglamalar tizimidan iborat, shuning uchun asosiy o'zgaruvchilar soni to'rtta va asosiy bo'lmagan o'zgaruvchilar soni ikkita bo'lishi kerak.

Masalani simpleks usulida yechish uchun birinchi navbatda har qanday bazis yechimni topish kerak. Bunday holda, asosiy o'zgaruvchilar sifatida qo'shimcha x_3, x_4, x_5, x_6 o'zgaruvchilarni olish kifoya qiladi, chunki ushbu o'zgaruvchilar oldidagi koeffitsiyentlar birlik matritsasini tashkil etadi. Asosiy bo'lmagan x_1 va x_2 o'zgaruvchilarni nolga teng deb hisoblab, bazis yechimni olamiz (0; 0; 40; 30; 60; 80), bu ham tayanch yechim bo'lib chiqdi. Endi ikkinchi bosqich – optimal yechimni izlash bosqichiga o'tamiz.

I qadam. Asosiy o‘zgaruvchilar: x_3, x_4, x_5, x_6 asosiy bo‘lmagan o‘zgaruvchilar: x_1, x_2 (1) tizimda asosiy o‘zgaruvchilarni asosiy bo‘lmagan o‘zgaruvchilar bilan ifodalaymiz. Ular orqali chiziqli funktsiyani ifodalaymiz (bu holda, u x_1 va x_2 orqali ifodalangan).

Quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\begin{cases} x_3 = 40 - x_1, \\ x_4 = 30 - x_2, \\ x_5 = 60 - x_1 - x_2, \\ x_6 = 80 - x_1 - 2x_2. \end{cases} \quad (3.15)$$

$$Z = 2x_1 + 3x_2.$$

$x_1=x_2=0$ bo‘lganda $x_3=40, x_4=30, x_5=60$ va $x_6=80$ ga ega bo‘lamiz, bu esa biz dastlabki deb hisoblagan $(0; 0; 40; 30; 60; 80)$ bazis yechimni beradi. Shu bilan birga, chiziqli funktsiya qiymatlarining bazis yechimi $Z = 2x_1 + 3x_2 = 0$ ga teng.

Endi bu dastlabki yechimdan boshqa yechimga o‘tish kerak, unda chiziqli funktsiyaning qiymati ortadi. Uning qiymati x_1 va x_2 o‘zgaruvchilar qiymatlarining oshishi bilan o‘sadi, shuning uchun bu o‘zgaruvchilarni asosiy emas deb hisoblash foydasizdir, ya’ni nolga teng bo‘lgan deb, shuning uchun ularni asosiy o‘zgaruvchilarga aylantirish kerak. Bu esa yangi bazis yechimga o‘tishni anglatadi. Simpleks usulida yechimning har bir qadamida faqat bitta erkin o‘zgaruvchi asosiyga o‘tkaziladi deb taxmin qilinadi.

Asosiy o‘zgaruvchilar qatoriga x_2 o‘zgaruvchini o‘tkazamiz, chunki u chiziqli funktsiyaga eng katta koeffitsiyent bilan kirgan.

Erkin o‘zgaruvchilardan biri asosiylar qatoriga o‘tishi bilan, asosiy o‘zgaruvchilardan biri asosiy bo‘lmaganlar qatoridagi o‘rniga o‘tkazilishi kerak. x_2 qiymatini iloji boricha kattaroq qilish kerak, chunki bu pirovard maqsad – Z ni maksimallashtirishga mos keladi. Biroq, x_2 ning o‘sishi faqat o‘zgaruvchilarning manfiy bo‘lmasligi sharti buzilmaguncha davom etishi mumkin.

(2) tizimning ikkinchi tenglamasidan $x_2 \leq 30$ (agar $x_2 > 30$ bo‘lsa, u holda $x_4 < 0$), uchinchi tenglamasidan: $x_2 \leq 60$, to‘rtinchi tenglamasidan:

$x_2 \leq \frac{80}{2}$, ya'ni $x_2 \leq 40$ (birinchi tenglamaga x_2 kirmaydi) kelib chiqadi.

Ushbu barcha shartlarni $x_2 \leq 30$ qanoatlantiradi, ya'ni quyidagini qabul qilish kerak:

$$x_2 = \min\left\{\frac{30}{1}; \frac{60}{1}; \frac{80}{2}\right\} = 30.$$

U holda $x_4 = 0$ va x_4 asosiy bo'lmagan o'zgaruvchilar qatoriga o'tadi, x_3 va x_5 lar esa musbat bo'lib qoladi.

II qadam. Asosiy o'zgaruvchilar x_2, x_3, x_5, x_6 , asosiy bo'lmagan o'zgaruvchilar x_1 va x_4 . Asosiy o'zgaruvchilar va chiziqli funktsiyani asosiy bo'lmagan o'zgaruvchilar orqali ifodalaymiz. Tenglamalar tizimidan shunday tenglamani tanlab olishimiz kerakki, undan ozod hadga nisbatan va x_2 oldidagi koeffitsiyentga nisbatan minimal qiymat olish mumkin bo'lsin (tenglamaning tagiga chizilgan). Ushbu tenglamadan x_2 ni ifodalaymiz: $x_2 = 30 - x_4$. Ushbu x_2 ifodani (2) tizimning barcha tenglamalariga hamda chiziqli funktsiya Z ga ham qo'yib chiqamiz, natijada quyidagini olamiz:

$$\begin{cases} x_2 = 30 - x_4, \\ x_3 = 40 - x_1, \\ x_5 = 30 - x_1 + x_4, \\ x_6 = 20 - x_1 + 2x_4. \end{cases} \quad (3.16)$$

$$Z = 90 + 2x_1 - 3x_4.$$

Bu yerda $x_1 = x_4 = 0$ bo'lganda $Z = 90$ bo'ladi. Bu I qadamdagidan yaxshiroq, ammo qidirilgan maksimum qiymat emas. Z funktsiyani yanada oshirishga asosiy o'zgaruvchilar qatoriga x_1 kiritish orqali erishish mumkin (uning ortishi chiziqli formaning ortishiga olib keladi). $x_1 = \min\left\{\frac{40}{1}; \frac{30}{1}; \frac{20}{1}\right\} = 20$ deb qabul qilamiz. U holda $x_6 = 0$ va x_6 asosiy bo'lmagan o'zgaruvchilar qatoriga o'tadi. Birinchi tenglama ko'rsatilgan minimumni topishda foydalanilmaydi, chunki x_1 ushbu tenglamaga kirmaydi.

III qadam. Asosiy o'zgaruvchilar x_1, x_2, x_3, x_5 asosiy bo'lmagan o'zgaruvchilar x_4 va x_6 . Asosiy o'zgaruvchilar va chiziqli funktsiyani

asosiy bo'lmagan o'zgaruvchilar orqali ifodalaymiz. Tenglamalar tizimining oxirgi tenglamasidan (ushbu tenglamaning tagiga chizilgan) $x_1 = 20 + 2x_4 - x_6$ ega bo'lamiz. Ushbu ifodani tenglamalar tizimidagi boshqa tenglamalar va chiziqli funksiyaga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$\begin{cases} x_1 = 20 + 2x_4 - x_6, \\ x_2 = 30 - x_4, \\ x_3 = 20 - 2x_4 + x_6, \\ x_5 = 10 - x_4 + x_6. \end{cases} \quad (3.17)$$

$$Z = 130 + x_4 - 2x_6.$$

Chiziqli funksiya ifodasidan ko'rish mumkinki, uning maksimal qiymatiga hali erishilmagan, chunki tenglamalar tizimiga asosiy o'zgaruvchi x_4 ni kiritish orqali Z funksiyaning qiymatini oshirish mumkin, $x_4 = \min\left\{\frac{30}{1}; \frac{20}{2}; \frac{10}{1}\right\} = 10$.

Bunda x_4 o'zgaruvchi x_1 uchun ifodaga kiradi ((4) tenglamalar tizimining birinchi tenglamasi), ammo musbat koeffitsiyentga ega va x_4 o'zgaruvchining har qanday o'sishida x_1 o'zgaruvchi manfiy bo'lishi mumkin emas, shuning uchun minimal qiymatlarni tanlashda birinchi tenglama hisobga olinmaydi.

Bundan tashqari, biz yana bir xil 10 teng bo'lgan ikkita minimal qiymatni oldik. Agar $x_4=10$ bo'lsa, u holda $x_3=0$ va $x_5=0$. Bu holda o'zgaruvchilarning birini (x_3 yoki x_5) asosiy o'zgaruvchilar qatorida qoldiriladi, ammo shu bilan birga uning qiymati nolga teng deb hisoblanadi, ya'ni keyingi qadamda olinadigan bazis yechim xosmas (singulyar) bo'lib qoladi. Masalan, x_3 ni asosiy o'zgaruvchilar qatorida qoldiramiz hamda x_5 ni asosiy bo'lmagan o'zgaruvchilar qatoriga o'tkazamiz.

IV qadam. Asosiy o'zgaruvchilar x_1, x_2, x_3, x_4 asosiy bo'lmagan o'zgaruvchilar x_5 va x_6 . Asosiy o'zgaruvchilar va chiziqli funktsiyani asosiy bo'lmagan o'zgaruvchilar orqali ifodalaymiz. Natijada quyidagini olamiz:

$$\begin{cases} x_1 = 40 - 2x_5 + x_6, \\ x_2 = 20 + x_5 - x_6, \\ x_3 = 2x_5 - x_6, \\ x_4 = 10 - x_5 + x_6. \end{cases}$$

$$Z = 140 - x_5 - x_6.$$

Chiziqli funksiyaning ifodasiga x_5 va x_6 o'zgaruvchilar manfiy koeffitsiyentlar kirgani uchun, ushbu o'zgaruvchilar hisobidan Z ni oshirib bo'lmaydi.

Maksimal izlanayotgan Z chiziqli funktsiyani ifodalashda biron bir bosqichda simpleks usulining ijobiy koeffitsiyentli asosiy bo'lmagan o'zgaruvchilarning yo'qligi optimallik mezonini hisoblanadi.

Shuning uchun IV qadamda optimallik mezoniga erishildi va masalaning yechimi olindi. Masalaning optimal yechimi (40; 20; 0; 10; 0; 0) bo'lganda, $Z_{\max}=140$ ga teng.

3.4. Optimal dasturlash usulining ikkilangan masalalari

Optimal dasturlash usulining berilgan masalasiga teskari bo‘lgan masala mavduj bo‘lib, u ikkilangan masala deyiladi. Agar berilgan masalada maqsad funksiya maksimumga intilsa, ikkilangan masalada esa minimumga intiladi.

Optimal dasturlashning ikkita masalasini ko‘rib chiqamiz.

Quyidagi funksiya maksimallashtirilsin $Z = c_1x_1 + \dots + c_nx_n$	Quyidagi funksiya minimallashtirilsin $F = b_1y_1 + \dots + b_my_m$
quyidagi chegaraviy shartlar bajarilsin	quyidagi chegaraviy shartlar bajarilsin
$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}x_1 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1, \\ a_{21}x_1 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2, \\ \\ a_{m1}x_1 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m, \\ x_j \geq 0, (j=1,2,\dots,n). \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}y_1 + \dots + a_{m1}y_m \geq c_1, \\ a_{12}y_1 + \dots + a_{m2}y_m \geq c_2, \\ \\ a_{1n}y_1 + \dots + a_{mn}y_m \geq c_n, \\ x_i \geq 0, (i=1,2,\dots,m). \end{array} \right.$

Ushbu masalalar quyidagi xususiyatlarga ega:

1. Bitta masalada chiziqli funksiyaning (maqsad funksiyaning) maksimumi, ikkinchisida esa minimumi izlanadi.

2. Bitta masalaning chiziqli ko‘rinishidagi o‘zgaruvchilar koeffitsiyentlari boshqa masala chegaraviy shartlar tizimining ozod hadlari, aksincha, bitta masaladagi chegaraviy shartlar tizimining ozod hadlari boshqa masalaning chiziqli funksiyaqidagi o‘zgaruvchilar koeffitsiyentlari bo‘lib keladi.

3. Har bir masalada chegaraviy shartlar tizimi tengsizliklar shaklida berilgan va ularning barchasi bir xil ma’noga ega, ya’ni: chiziqli funksiyaning maksimumini topishda bu tengsizliklar “ $\leq$ ” ko‘rinishiga ega bo‘ladi, minimumini topishda esa, ular “ $\geq$ ” ga ko‘rinishini oladi.

4. Chegaraviy shartlar tizimidagi o‘zgaruvchilar uchun koeffitsiyentlar quyidagi matritsalar orqali yoziladi

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}, \quad A^T = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{m1} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{m2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{1n} & a_{2n} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

Mazkur matritsalar bir-biriga nisbatan transponirlangan hisoblanadi.

5. Bitta masalaning chegaraviy shartlar tizimidagi tengsizliklar soni boshqa masalaning o‘zgaruvchilari soniga mos keladi.

6. Ikkala masalada ham o‘zgaruvchilarning manfiy bo‘lmaslik shartlari saqlanib qoladi.

Yuqorida ko‘rsatilgan shartlarni qanoatlantiradigan optimal dasturlashning ushbu ikkita masalasi simmetrik o‘zaro ikkilangan masalalar deyiladi.

Shunday qilib, optimal dasturlashning har bir masalasiga mos bo‘lgan simmetrik ikkilangan masala qo‘yish mumkin. Dastlabki masala berilgan yoki to‘g‘ri (bevosita) masala deb ataladi. Berilgan masala va uning ikkilangan masalasi birgalikda olganda o‘zaro ikkilangan masalalar juftligini tashkil qiladi va ularning istalgan birini

berilgan masala, ikkinchisini esa unga ikkilangan masala deyish mumkin. Kanonik shaklda berilgan masala uchun ham ikkilangan masala tuzish mumkin:

Quyidagi funksiya maksimallashtirilsin $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$	Quyidagi funksiya minimallashtirilsin $F = b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_my_m$
quyidagi chegaraviy shartlar bajarilsin	quyidagi chegaraviy shartlar bajarilsin
$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2, \\ \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m, \end{cases}$ $x_j \geq 0, (j=1,2,\dots,n).$	$\begin{cases} a_{11}y_1 + a_{21}y_2 + \dots + a_{m1}y_m \geq c_1, \\ a_{12}y_1 + a_{22}y_2 + \dots + a_{m2}y_m \geq c_2, \\ \\ a_{1n}y_1 + a_{2n}y_2 + \dots + a_{mn}y_m \geq c_n, \end{cases}$ $x_i \geq 0, (i=1,2,\dots,m).$

yoki

Quyidagi funksiya minimallashtirilsin $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$	Quyidagi funksiya maksimallashtirilsin $F = b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_my_m$
quyidagi chegaraviy shartlar bajarilsin	quyidagi chegaraviy shartlar bajarilsin
$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2, \\ \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m, \end{cases}$ $x_j \geq 0, (j=1,2,\dots,n).$	$\begin{cases} a_{11}y_1 + a_{21}y_2 + \dots + a_{m1}y_m \leq c_1, \\ a_{12}y_1 + a_{22}y_2 + \dots + a_{m2}y_m \leq c_2, \\ \\ a_{1n}y_1 + a_{2n}y_2 + \dots + a_{mn}y_m \leq c_n, \end{cases}$ $x_i \geq 0, (i=1,2,\dots,m).$

Ta’rif. Agar optimal dasturlash usulining bitta masalasi yakuniy optimumga ega bo‘lsa, u holda unga ikkilangan masala ham yakuniy optimumga ega bo‘ladi va ikkala masalaning maqsad funksiyalari birbiriga mos keladi, ya’ni $Z_{max}=F_{min}$ yoki $Z_{min}=F_{max}$.

Masala 1. Uch xil turdagi A , B va C mahsulotlarni ishlab chiqarish uchun uch turdagi xomashyolardan foydalaniladi. Har bir

turdagi xomashyo mos ravishda 140, 250 va 244 kg dan ko'p bo'lmagan miqdorda ishlatilishi mumkin.

Ushbu turdagi mahsulotning bir-birligini ishlab chiqarish uchun xomashyo turlarining me'yorlari va har bir turdagi mahsulotning bir-birligining narxi 3.2-jadvalda keltirilgan. Uning maksimal narxini ta'minlaydigan ishlab chiqarish rejasini aniqlang. Maqsad funksiyaning maksimal qiymatini ta'minlovchi mahsulot ishlab chiqarish rejasini aniqlang.

3.2-jadval

Mahsulot ishlab chiqarishda foydalaniladigan xomashyo me'yorlari va hajmlari

Xomashyo turi	Bir-birlik mahsulotga sarflanadigan xomashyo me'yorlari, kg		
	A	B	C
I	4	2	1
II	3	1	3
III	1	2	5
Mahsulot bir-birligining narxi, ming so'm	10	14	12

Masalani yechish uchun quyidagicha belgilashlarni amalga oshiramiz.

Masalaning sharti bo'yicha x_1 miqdorda A mahsulot, x_2 miqdorda B mahsulot va x_3 miqdorda C mahsulot ishlab chiqarilsin. $Z = 10x_1 + 14x_2 + 12x_3$ maqsad funksiyaning maksimal qiymatini topish talab etilsin hamda quyidagi chegaraviy shartlarga rioya qilinsin:

$$\begin{cases} 4x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 140, \\ 3x_1 + x_2 + 3x_3 \leq 250, \\ x_1 + 2x_2 + 5x_3 \leq 244, \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0. \end{cases}$$

Kanonik ko‘rinishda chegaraviy shartlar tizimi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\begin{cases} 4x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 = 140, \\ 3x_1 + x_2 + 3x_3 + x_5 = 250, \\ x_1 + 2x_2 + 5x_3 + x_6 = 244, \\ x_j \geq 0, (j=1,2,\dots,6). \end{cases}$$

Masalani simpleks usulida yechsak maqsad funksiya $Z_{max}=1110$, optimal reja esa $(0; 57; 26)$ ga teng. Mazkur optimal rejada ishlab chiqarishda 115 kg ikkinchi turdagi xomashyo ishlatilmay qoldi.

Yuqoridagi masalaga ikkilangan masala quyidagicha bo‘ladi. Quyidagi maqsad funksiyaning $F = 140y_1 + 250y_2 + 244y_3$ minimumini toping va quyidagi shartlar bajarilsin:

$$\begin{cases} 4y_1 + 3y_2 + y_3 \geq 10, \\ 2y_1 + y_2 + 2y_3 \geq 14, \\ y_1 + 3y_2 + 5y_3 \geq 12, \\ y_1 \geq 0, y_2 \geq 0, y_3 \geq 0. \end{cases}$$

Ushbu masalani ham simpleks usulida yechganimizda quyidagi natijalarni olamiz – $F_{min}=1110$, optimal reja esa $\left(\frac{23}{4}; 0; \frac{5}{4}\right)$ ga teng.

Ikkilangan masala mahsulot ishlab chiqarish uchun foydalaniladigan har bir turdagi xomashyoni baholaydi.

Xomashyoning har bir turiga beriladigan baholar shundayki, foydalanilgan barcha xomashyoning bahosi minimal bo‘lib, har bir turdagi mahsulotning bir birligini ishlab chiqarish uchun foydalaniladigan xomashyoning umumiy bahosi ishlab chiqarish birligi narxidan kam bo‘lmasligi kerak. Masala yechimidagi y_1 va y_3 o‘zgaruvchilar mos ravishda I va III turdagi xomashyolarning shartli ikkilangan baholarini bildiradi. Ushbu baholar noldan farqli, I va III turdagi xomashyolar optimal ishlab chiqarish rejasida to‘liq ishlagan. II turdagi xomashyoning ikkilangan bahosi nolga teng. Ushbu turdagi xomashyo optimal ishlab chiqarish rejasida to‘liq ishlatilmagan.

Shunday qilib, faqat mahsulot ishlab chiqarishning optimal rejasida to‘liq foydalaniladigan xomashyo turlari musbat ikkilangan

bahoga ega. Shuning uchun ikkilangan baholar korxonada foydalani-
ladigan xomashyolar taqchilligini aniqlaydi. Bundan tashqari, ushbu
ikkilangan bahoning qiymati berilgan masalaning maqsad funksiya-
sining maksimal qiymati mos keladigan turdagi xomashyo miqdori 1
kg ga ortishi bilan qanchagaortishini ko'rsatadi. I turdagi xomashyo-
ning miqdori 1 kg ga ortishi natijasida mahsulot ishlab chiqarishning
yangi optimal rejasini topish imkoniyati paydo bo'ladi va buning
natijasida mahsulot ishlab chiqarish narxi $\frac{23}{4}=5,75$ ming so'mga ortadi
hamda $1110+5,75=1115,75$ ming so'mga teng bo'ladi.

Shu bilan birga ikkilangan masalaning chegaraviy shartlar
tizimiga optimal ikkilangan baholarni qo'yganda, birinchi bo'lib qat'i
tengsizlik sifatida bajariladi. Bu shuni bildiradiki, A turdagi bir-birlik
mahsulotni ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan xomashyoni
ikkilangan bahosi ushbu mahsulot narxidan yuqori va shuning uchun A
turdagi mahsulotni ishlab chiqarish ma'qul emas. Uni ishlab chiqarish
berilgan masalaning optimal rejasida ham ko'zda tutilmagan. Ikkinchi
va uchinchi chegaraviy shartlar tenglikdir. Bu shuni anglatadiki, B va
C mahsulotlarning bir-birligini ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan
xomashyoning ikkilangan bahosi mos ravishda ularning narxlariga
tengdir, shuning uchun ushbu mahsulotlarni ishlab chiqarish iqtisodiy
jihatdan maqsadga muvofiq, bu esa ishlab chiqarishning optimal
rejasida ko'zda tutilgan.

3.5. Optimal dasturlash usuli masalalarini yechishda axborot texnologiyalaridan foydalanish

Bugungi kunda optimal dasturlash usuli yordamida tuzilgan
masalalarni yechishda bir qator kompyuter amaliy dasturlar paket-
laridan foydalanilmoqda. Mazkur dasturlar o'zlarining universalligi,
funksionalligi, o'zgaruvchilar hajmining chegaralanganligi, hisobot-
larni chiqarishdagi qulayligi kabi xususiyatlari bilan ajralib turadi.

Ayrim amaliy dasturlar paketlarida menyu qo'llanilgan bo'lib, foydalanuvchidan biror-bir operatsiyani bajarishda dasturlash talab qilinmaydi. Bunday dasturlarga LPX88, Excel, Simplex dasturlari kiradi. So'nggi vaqtlarda optimallashtirish masalalarini yechish uchun dasturlash asosiga ega bo'lgan bir qator amaliy dasturlar majmualari paydo bo'lgan. Bunday majmualarda optimallashtirish masalalarini yechishda foydalanuvchilardan dasturlash bo'yicha bilim va ko'nikmalar talab qilinadi. Bundan majmuali dasturlarga Matlab, Pyton, CVX, Optimization Toolbox va bir qator boshqa dasturlar kiradi.

Bugungi kunda MS Office oilasiga mansub bo'lgan jadval protsessori MS Excel dasturi ham bir qator optimallashtirish masalalarini yechishda foydalanuvchiga katta imkoniyatlar yaratadi. Shu munosabat bilan mazkur dastur yordamida optimallashtirish masalasini yechish texnologiyasini ko'rib chiqamiz.

MS Excel dasturida optimallashtirish masalalarini yechish xususiyatlari quyidagilardan iborat:

1. Excel-texnologiyalarining soddaligi. Elektron jadvallar (EJ) foydalanuvchiga masalaning qo'yilishi va dasturlashga vaqt sarflamasdan turli xildagi optimallashtirish masalalarini yechishga keng imkoniyatlar beradi. Agar foydalanuvchi oldiga qo'yilgan masalaning mazmunini yaxshi tushunsa, uning turi va yechish usulini hamda EJning maxsus vositalarini bilishga ega bo'lsa, unda masalani yechish usuli qulay va samarali omilga aylanadi.

Boshlang'ich ma'lumotlarni kiritgach, masalaning shartlari bilan tanishish bosqichlarida va yechimini rejalashtirishda foydalanuvchi Excel muloqot oynasida maqsad funksiyasi va uning ekstremumi uchun yacheykalar ko'rsatadi, masala yechimini joylashtirish yacheykalar diapazonini ajratadi, murakkab bo'lmagan arifmetik formulalarni kiritadi va masala chegaraviy shartlarini o'rnatadi. Ushbu jarayon aslida masalaning iqtisodiy qo'yilishi deyiladi, natijada Excelda avtomatik ravishda mavjud dasturiy modullar yordamida bajariladigan aniq optimallashtirish masalasining matematik modeli tuziladi.

Excel dasturi foydalanuvchilar uchun optimallashtiruvchi modellar haqida ma'lumotlarni to'plashga qulay vositalarni ta'minlaydi hamda olingan yechimlar variantlarini (oldindan tuzilgan iqtisodiy-matematik modellar asosida) uch xil turdagi standartlashgan shakldagi hisobotlarni beradi hamda masalani yechish ssenariylarini kompyuter xotirasida saqlashga imkon beradi.

2. Optimallashtirish masalalarining alomatlari. Exceldagi optimizator moduli yordamida yechiladigan masalalarga xos bo'lgan uch xil alomatlar mavjud:

- 1) maqsad funktsiya yacheykasi;
- 2) masaladagi o'zgaruvchilar yacheykalari;
- 3) masala chegaraviy shartlari yacheykalarining mavjudligi.

Ushbu xususiyatlardan foydalanib, quyidagi ishlab chiqarish masalasining optimal yechimini topamiz.

Masalaning qo'yilishi. To'rt xildagi mahsulotlarni ishlab chiqarish uchun 3 xil turdagi xomashyodan foydalaniladi. Xomashyo zaxiralari, bir birlik mahsulotga sarflanadigan me'yorlar, bir birlik mahsulotni sotishdan olinadigan foyda quyidagi 3.3-jadvalda keltirilgan.

3.3-jadval

Masalaning shartlari

Xomashyo turi	Bir birlik mahsulotni ishlab chiqarishga sarflanadigan xomashyo me'yori (kg)				Xomashyolar zaxirasi, kg
	A	B	C	D	
I	2	1	0,5	4	2400
II	1	5	3	0	1200
III	3	0	6	1	3000
Bir-birlik mahsulotdan olinadigan foyda, \$	7,5	3	6	12	

Jadval ma'lumotlaridan foydalanib, maksimum foyda olishga mo'ljallangan optimallashtirishning berilgan masalasi tuzilsin. Optimal reja hisoblansin.

Mazkur masalani yechish uchun avvalo uning iqtisodiy-matematik modelini tuzish lozim. Masalaning iqtisodiy-matematik modeli quyidagi ko‘rinishga ega.

Maqsad funksiyasi

$$F = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \rightarrow \max \quad (3.18)$$

Quyidagi chegaraviy shartlar bajarilsin

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \leq b_i . \quad (3.19)$$

Hamda o‘zgaruvchilarning nomanfiylik sharti

$$x_j \geq 0. \quad (3.20)$$

3.3-javdal ma’lumotlarini quyidagi (3.18) – (3.20) modelga qo‘yamiz.

Maqsad funksiyasi

$$F = 7,5 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 + 6 \cdot x_3 + 12 \cdot x_4 \rightarrow \max \quad (3.21)$$

Chegaraviy shartlar tizimi

$$\begin{cases} 2x_1 + x_2 + 0,5x_3 + 4x_4 \leq 2400 \\ x_1 + 5x_2 + 3x_3 \leq 1200 \\ 3x_1 + 6x_3 + x_4 \leq 3000 \end{cases} . \quad (3.22)$$

Hamda o‘zgaruvchilarning nomanfiylik sharti

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0. \quad (3.23)$$

Endi ushbu ma’lumotlarni MS Excel dasturiga kiritamiz (3.2-rasm).

	A	B	C	D	E	F
1	Xomashyo turi	Bir birlik mahsulotni ishlab chiqarishga sarflanadigan xomashyo me'yori (kg)				Xomashyolar zaxirasi, kg
2		A	B	C	D	
3	I	2	1	0,5	4	2400
4	II	1	5	3	0	1200
5	III	3	0	6	1	3000
6	Bir-birlik mahsulotdan olinadigan foyda, ming so'm	7,5	3	6	12	

3.2-rasm. Masala ma’lumotlarini MS Excel dasturiga kiritish.

Endi masalaning maqsad funksiyasi va chegaraviy shartlarini kiritamiz (3.3-rasm).

	A	B	C	D	E
8		Optimal reja			
9		A	B	C	D
10					
11					
12	Maqsad funksiya				=СУММПРОИЗВ(B6:E6;B10:E10)
13					
14	Chegaraviy shartlar	Foydalanilgan resurslar hajmi	Resurslar hajmi	Resurslar qoldig'i	
15		=СУММПРОИЗВ(B3:E3;\$B\$10:\$E\$10)	=F3	=C15-B15	
16		=СУММПРОИЗВ(B4:E4;\$B\$10:\$E\$10)	=F4	=C16-B16	
17		=СУММПРОИЗВ(B5:E5;\$B\$10:\$E\$10)	=F5	=C17-B17	

3.3-rasm. Masalaning kiritilgan maqsad funksiyasi va chegaraviy shartlari.

3.3-rasmdan shuni ko'rish mumkinki, maqsad funksiya qatoriga alohida bo'yalgan yacheykaga (3.21') dagi ifoda quyidagicha kiritildi:

$$=SUMMPROIZV(B6:E6;B10:E10),$$

ya'ni har bir mahsulotdan olinadigan foyda miqdori (c_j) har bir mahsulotning hajmiga (x_j) ga ko'paytirildi. Har bir mahsulotdan olinadigan foyda miqdori B6:E6 yacheykalar diapazonidan joylashgan va har bir mahsulotni optimal rejaga kirish diapazoni B10:E10 yacheykalar diapazonida joylashgan.

Masalaning chegaraviy shartlari quyidagicha kiritildi:

I turdagi xomashyo uchun =СУММПРОИЗВ(B3:E3;B10:E10);

II turdagi xomashyo uchun =СУММПРОИЗВ(B4:E4;B10:E10);

III turdagi xomashyo uchun =СУММПРОИЗВ(B5:E5;B10:E10).

Resurslar qolidig'i mavjud resurslar hajmidan foydalanilgan resurslar hajmini ayirish orqali hisoblanadi.

Endi masalaning barcha ma'lumotlari kiritib bo'lingandan so'ng, MS Excel ning optimizator modulidan foydalanamiz. Buning uchun Данные menyusidan foydalanamiz. Ushbu menyudan esa Поиск решения modulini tanlaymiz. Поиск решения modulining so'ralgan kataklariga masaladagi keltirilgan yacheykalarni belgilaymiz (3.4-rasm).

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До: ☒ Максимум ☐ Минимум ☐ Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

Добавить

Изменить

Удалить

Сбросить

Загрузить/сохранить

☒ Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения:

Параметры

Метод решения

Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Справка

Найти решение

Заккрыть

3.4-rasm. Masalaning shartlarini kiritish.

3.4-rasmda keltirilgan Параметры поиска решения oynasida eng pastda joylashgan Найте решение knopkasi bosilsa, masalaning yechimi chiqadi (3.5-rasm).

	A	B	C	D	E
8		Optimal reja			
9		A	B	C	D
10		0	0	400	550
11					
12	Maqsad funksiya				9000
13					
14	Chegaraviy shartlar	Foydalanilgan resurslar hajmi	Resurslar hajmi	Resurslar qoldig'i	
15		2400	2400	0	
16		1200	1200	0	
17		2950	3000	50	

3.5-rasm. Masalaning optimal yechimi.

3.5-rasmda keltirilgan masalaning yechimi shuni ko'rsatdi, optimal rejaga C mahsulotdan 400 dona va D mahsulotdan 550 dona ishlab chiqarish kirgan. A va B mahsulotlar optimal rejaga kirmagan va ular samarali mahsulotlar hisoblanmaydi.

Shu bilan birga, mazkur mahsulotlarni ishlab chiqarib sotish korxonaga 9000 pul birligida foyda keltiradi.

Mahsulot ishlab chiqarishda foydalanilgan I va II resurslar to'liq ishlatilgan, chunki mos ravishda ularning hajmi 2400 va 1200 bo'lgan, foydalanilgan resurslar hajmida ham mos ravishda 2400 va 1200 bo'ldi, mazkur resurslarning qoldiqlari esa nolga teng. Lekin III-resurs to'liq ishlatilmadi, mavjud 3000 birlik resursdan 2950 birligi ishlatildi va 50 birlik ortib qoldi.

Nazorat savollari

1. Optimaal dasturlash usulining mohiyatini tushuntirib bering.
2. Maqsad funksiya nimani ifodalaydi va u qanday tuziladi?
3. Chegaraviy shartlar tizimini qanday tuzish mumkin?
4. Texnologik koeffitsiyentlar nima va ularning iqtisodiy talqini.
5. Optimal dasturlash masalasi qanday shakllarda tuziladi?
6. Assortiment masalasi qanday tuziladi?
7. Dieta, materiallarni qirqish, transport masalasi kabi masalalarning iqtisodiy mohiyatini tushuntirib bering.
8. Berilgan yoki dastlabki masala deb nimaga aytiladi?
9. Ikkilangan masala deb nimaga aytiladi?
10. Dastlabki masalani ikkilangan masalaga aylantirish shartlarini tushuntirib bering.
11. Dastlabki va ikkilangan masalalarning umumiy tomonlari nimalardan iborat?
12. Simmetrik qo'shma masalalarni tushuntirib bering.
13. Ikkilangan baho deb nimaga aytiladi?
14. Mahsulotlar bo'yicha ikkilangan baholarning iqtisodiy ma'nosini tushuntirib bering.

15. Resurslar bo'yicha ikkilangan baholarning iqtisodiy ma'nosini tushuntirib bering.

16. Simmetrik bo'lmagan masalalarni ikkilangan masalalarga aylantirishni tushuntirib bering.

17. Optimal dasturlash usuli masalalarini yechishda axborot texnologiyalarini rolini tushuntirib bering.

18. Excel dasturida optimallashtirish masalasini yechish texnologiyasini tushuntirib bering.

19. Optimallashtiriladigan masalaning alomatlarini tushuntirib bering.

20. Поиск решения modulida masalani kiritish va yechish bosqichlarini tushuntirib bering.

IV-BOB. IKKI INDEKSLI IQTISODIY MASALALARNI YECHISH USULLARI

REJA:

- 4.1. Iqtisodiyotda ikki indeksli masalalar tasnifi.**
- 4.2. Transport masalasining qo'yilishi va iqtisodiy-matematik modeli.**
- 4.3. Ko'p bosqichli transport masalasi.**

4.1. Iqtisodiyotda ikki indeksli masalalar tasnifi

Iqtisodiy jarayonlarning tahlili shuni ko'rsatadi, optimal dasturlash usulining ayrim masalalari bir indeksli masalalar bo'lsa, boshqalari ikki indeksli masalalar guruhiga kiradi. Masalan, taqsimlash masalalarini bir qismi bir indeksli masalalarga kiradi. Jumladan assortiment mahsulot ishlab chiqarish, korxonalarda xomashyo va materiallarni optimal qirqish, korxona ishlab chiqarish dasturini optimallashtirish, ishlab chiqarish zaxiralarini boshqarish, o'yinlar nazariyasi masalalari va boshqalar.

Optimal dasturlash usulining ba'zi iqtisodiy-matematik usullari (potensiallar usuli, shimoli-g'arbiy burchak usuli, eng kam xarajat usuli, Vogel usuli) taqsimlash masalalarini yagona guruhga birlashtirilgan ma'lum bir sinf masalalarini yechish uchun maxsus ishlab chiqilgan. Ushbu masalalarning o'ziga xos xususiyati formal sharoitda ikkita indeksga ega bo'lgan o'zgaruvchilarni topishdir, shuning uchun ularning nomi ikki indeksli optimal dasturlash masalalari deyiladi.

Hozirgi vaqtda iqtisodiy amaliyotida bu usullar yordamida yuk tashish (transport) masalalarini, xodimlar o'rtasida ishlarni optimal taqsimlash, ekinlarni yoki dalalarni almashlab ekish bo'yicha taqsimlash, ishlab chiqarish jihozlarini optimal yuklash, firma xodimlarining optimal shtatini shakllantirish, ishlab chiqarishning kalendar rejasi masalasi, bozorni optimal tadqiq qilish va boshqa masalalar yechib kelinmoqda.

Mazkur masalalarning ayrimlari bilan tanishib chiqamiz.

Uskunalarni optimal taqsimlash masalasi. Korxonada m turdagi uskunalarni n ta ishchi bo'limlarga o'rtasida taqsimlash zarur. Bir birlik i -turdagi uskunaning j -ishchi bo'limdagi unumdorligi p_{ij} ga teng ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$). Korxonadagi j -ishchi bo'limning uskunaga bo'lgan talabi b_j ni tashkil etadi, $j = \overline{1, n}$. Korxonada i -turdagi uskunaning zaxirasi a_i ga teng, $i = \overline{1, m}$. Masalaning maqsadi – uskunalarning umumiy unumdorligi maksimal bo'lgan ish joylari bo'yicha taqsimlanishini topishdan iborat. Mazkur masala transport masalalari sinfiga kiradi, chunki unumdorlik chiziqli ravishda ishlatiladigan uskunalar miqdoriga bog'liq degan shart qo'yiladi. Masalada yetkazib beruvchilar bo'lib, turli xil uskunalar hisoblansa, iste'molchilar bo'lib esa – ish joylari hisoblanadi. Korxonaning j -ishchi bo'limiga ajratilgan i -turdagi uskunaning bir-birlik miqdorini x_{ij} bilan belgilaymiz ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$).

U holda masalaning iqtisodiy-matematik modeli quyidagi ko'rinishga ega:

Maqsad funksiyasi – uskunalarning umumiy unumdorligi maksimal bo'lsin:

$$P = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \rightarrow \max. \quad (4.1)$$

Quyidagi chegaraviy shartlar bajarilsin:

– uskunalar zaxirasining korxona ishchi bo'limlariga taqsimlanishi, ishchi bo'limlarga taqsimlangan uskunalar zaxiradagi uskunalar soniga teng bo'lsin:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad (4.2)$$

– korxonadagi har bir ishchi bo'lim zarur uskunalar bilan to'liq ta'minlansin:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, \dots, n, \quad (4.3)$$

– korxonada taqsimlangan uskunalar soni, ishchi bo'limlarga taqsimlangan uskunalar soniga teng bo'lsin:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j, \quad (4.4)$$

– o‘zgaruvchilarning nomanfiylik sharti:

$$x_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (4.5)$$

O‘zaro almashinuvchi uskunalarni optimal yuklash masalasi.

Masalaning iqtisodiy qo‘yilishi. Ishlab chiqarish korxonasida bir necha xil o‘zaro almashadigan uskunalar mavjud. Har bir turdagi uskunada bir necha turdagi detallarga ishlov berish mumkin. Yana har bir uskuna turining ish vaqti fondi ma’lum. Har bitta detalga ishlov berish vaqt xarajati me’yori ma’lum. Bundan tashqari, har bir detalni ishlab chiqarish tannarxi ham aniq. Detallarni ishlab chiqarish uskunalarida ishlov berish uchun shunday taqsimlash kerakki, umumiy sarflangan pul xarajatlarining miqdori minimal bo‘lsin.

Masalaning sodda iqtisodiy-matematik modelini tuzish uchun quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

i – uskuna turining nomeri;

j – detal turining nomeri;

A_i – i -turdagi uskunaning ish vaqti fondi;

α_{ij} – j -turdagi detalni bir-birligiga i -nomerdagi uskunada ishlov berish vaqt xarajati me’yori;

B_j – j -turdagi detalga ishlov berish rejasi;

C_{ij} – i -turdagi uskunada bir dona j -turdagi detalga ishlov berish uchun ketadigan pul xarajatlari;

X_{ij} – i -turdagi vositada ishlab chiqariladigan j -turdagi detallar soni.

Masalaning iqtisodiy-matematik modeli.

Masalaning maqsad funksiyasi:

Barcha detallarga ishlov berish uchun ketgan umumiy pul xarajatlari eng kam bo‘lsin:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ij} \rightarrow \min \quad (4.6)$$

1) Detaillarga ishlov berganda i -turdagi uskuna vaqt xarajati shu uskunaning ishlash vaqt fondidan ortib ketmasin:

$$F = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \cdot X_{ij} \leq A_i \quad (4.7)$$

2) Barcha turdagi uskunalarda ishlov berilgan detallarning soni ishlab chiqarish rejasiga teng bo'lishi kerak:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = B_j \quad (4.8)$$

3) O'zgaruvchilarning nomanfiylik sharti:

$$X_{ij} \geq 0. \quad (4.9)$$

Firma xodimlarining optimal shtatini shakllantirish. Yangi tashkil etilgan firma xodimlarni ishga qabul qilmoqda. Firmada har bir guruhda b_j bo'sh ish o'rinlari bo'lgan n ta turli lavozimdagi guruhlar bor, $j = \overline{1, n}$. Lavozimga nomzodlar testdan o'tkaziladi, ularning natijalariga ko'ra ular har bir guruhdagi a_{ij} nomzodlar m ta guruhlarga bo'linadi, $i = \overline{1, m}$. i -guruhdagi har nomzod uchun j -lavozimni egallashi uchun ma'lum xarajatlar

Lavozimga nomzodlar sinovdan o'tkaziladi, ularning natijalariga ko'ra ular har bir guruhdagi nomzodlar guruhiga bo'linadi.

i -guruhdagi har bir nomzod j -lavozimni egallashlari uchun ularni o'qitish lozim, o'qitish esa ma'lum c_{ij} pul xarajatlarini talab qilinadi ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$). (Xususan, ayrim $c_{ij}=0$, ya'ni ishga kiruvchi nomzod taklif qilingan lavozimga to'liq mos keladi, yoki $c_{ij}=\infty$, ($c_{ij}=M$), ya'ni nomzod makur lavozimni umuman egallashi mumkin emas). Nomzodlarni o'qitish uchun minimal mablag' sarflagan holda lavozimlarga taqsimlash talab etiladi. Nomzodlarning umumiy soni bo'sh ish o'rinlari soniga to'g'ri keladi deb faraz qilinadi. Keyin esa bu masala transport modeliga mos keladi. Yetkazib beruvchilar bo'lib ishga kirmoqchi bo'lgan nomzodlar guruhlar, iste'molchilar vazifasini esa – lavozimlar guruhlar bajaradi. Qayta tayyorlash xarajatlari transport ta'riflari sifatida hisobga olinadi.

Masalaning iqtisodiy-matematik modeli quyidagicha yoziladi:

Maqsad funksiyasi – nomzodlarni qayta tayyorlashga sarflandigan umumiy xarajatlar minimal bo'lsin:

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (4.10)$$

Quyidagi chegaraviy shartlar bajarilsin:

– ishga kiruvchi nomzodlar o‘rtasida lavozimlarning taqsimlanishi, ya’ni nomzodlar soni bilan firmadagi lavozimlar soniga teng bo‘lsin:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad (4.11)$$

– har bir lavozim ishga kiruvchi nomzodlar bilan to‘liq ta’minlansin:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, \dots, n, \quad (4.12)$$

– firmaga ishga kiruvchi nomzodlar soni, firmadagi lavozimlar soniga teng bo‘lsin:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j, \quad (4.13)$$

– o‘zgaruvchilarning nomanfiylik sharti:

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n} \quad (4.14)$$

Bozorni optimal tadqiq qilish.

Bozorni tadqiq qilayotgan guruhga n xil joydan ma’lumotlarni olish talab qilinadi. Guruhning ixtiyorida n kun bor va u har bir joyda bir kunlik a_j ($j = \overline{1, n}$) so‘rovlar o‘tkazishni taxmin qilmoqda. Har bir joyda muvaffaqiyatli so‘rov o‘tkazish ehtimoli P matritsasi bilan beriladi. Matritsaning p_{ij} elementi i -kun davomida j -joyda ($j = \overline{1, n}$) muvaffaqiyatli so‘rov o‘tkazish ehtimolligini xarakterlaydi. Masalaning maqsadi so‘rovlarning umumiy soni maksimal bo‘lgan so‘rovlar vaqtini aniqlashdan iborat.

Masalani yechish uni tayinlash masalasiga keltiramiz. Buning uchun $r_{ij} = p_{ij} a_j$ miqdorni kiritamiz. Ushbu miqdor i -kun davomida j -joyda ($j = \overline{1, n}$) muvaffaqiyatli so‘rovlar sonini ko‘rsatadi. $x_{ij} = 1$ – agar so‘rovnoma i -kun j -joyda o‘tkazilsa. $x_{ij} = 0$ – aks holda.

Masalaning iqtisodiy-matematik modeli quyidagi ko‘rinishga ega:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij} x_{ij} \rightarrow \max. \quad (4.15)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n, \quad (4.16)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, n, \quad (4.17)$$

$$x_{ij} \in \{0;1\}, \quad i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n} \quad (4.18)$$

Maqsad funksiya F muvaffaqiyatli so‘rovlarning umumiy sonini bildiradi. Mazkur funksiyanı maksimallashtirish zarur. Birinchi (4.16) va ikkinchi (4.17) chegaraviy shartlar siz faqat bir kun davomida bir joyda qolishingiz mumkinligiga mos keladi.

4.2. Transport masalasining qo‘yilishi va iqtisodiy-matematik modeli

Faraz qilaylik, bir necha ishlab chiqarish korxonalarida bir xil mahsulot zaxiralari mavjud. Ularni iste‘molchilarga yetkazib berish zarur. Har bir ishlab chiqarish korxonasi taklif qiladigan mahsulotlar hajmi, iste‘molchilarning talablari hajmi, har bir ishlab chiqaruvchidan har bir iste‘molchiga bir-birlik mahsulot tashish uchun sarflanadigan transport xarajatlari ma’lum.

Ta‘minotchilar (ishlab chiqaruvchilar) va iste‘molchilar orasida shunday optimal xo‘jalik aloqalarni aniqlash kerakki, natijada iste‘molchilarning mahsulotlarga bo‘lgan talabi, ishlab chiqaruvchilarning imkoniyatiga qarab to‘liq qondirilsin va mahsulotlarni tashishga sarflanadigan umumiy transport xarajatlari eng kam bo‘lsin.

Yuqoridagi masalani yechilishida transport modelidan foydalaniladi. Transport modeli ikki indeksli masalalarning asosini tashkil etadi. Iqtisodiyotdagi ko‘plab masalalar transport masalasiga keltirib yechiladi. Transport modeli mahsulot turiga ko‘ra bir mahsulotli va ko‘p mahsulotli transport modellariga bo‘linadi.

Ko'p mahsulotli transport modeli o'z o'rnida o'zaro almashinuvchi va o'zaro almashishi mumkin bo'lmagan mahsulotlar uchun alohida tuziladi. Agar tovarlar o'zaro almashinuvchi bo'lsa, bu holda ularni shartli mahsulotga keltirib, oddiy, bir mahsulotli transport masalasi usullari bilan yechish mumkin. Masalan sut, sut mahsulotlarni tashish bo'yicha.

Mahsulotlarni iste'molchilarga yetkazib berishdan avval, qayta ishlash jarayonidan o'tishi zarur bo'lsa, bu holda ko'p bosqichli transport masalasi hosil bo'ladi va xususiy usullar bilan yechiladi.

O'rganilayotgan davrga ko'ra statik va dinamik transport masalalari mavjud. Dinamik transport masalasini matritsaviy modeli blok shaklida tuzilib, vaqt omilini e'tiborga oladi.

Ba'zi bir masalalarda transport xarajatlaridan tashqari ishlab chiqarish xarajatlari ham e'tiborga olinadi. Bu holda ishlab chiqarish-transport masalasi hosil bo'ladi.

Transport masalasini iqtisodiy-matematik modelini tuzish uchun quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

i – ishlab chiqaruvchi punktlar indeksi, $(i = \overline{1, m})$;

j – iste'molchi punktlar indeksi, $(j = \overline{1, n})$;

A_i – i -ishlab chiqarish punktidagi mahsulot zaxirasi hajmi;

B_j – j -iste'mol punktidagi mahsulotga bo'lgan talab hajmi;

t_{ij} – i -ishlab chiqarish punktidan j -iste'mol punktiga bir-birlik mahsulotni tashish uchun ketgan transport xarajatlari;

x_{ij} – i -ishlab chiqarish punktidan j -iste'mol punktiga tashilishi kerak bo'lgan yukning izlanayotgan hajmi.

Iqtisodiyotda iste'molchilarni ishlab chiqaruvchilar bilan optimal biriktirishning asosiy iqtisodiy-matematik modeli bo'lib, chiziqli dasturlashning transport masalasi hisoblanadi va umumiy holda quyidagicha ta'riflanadi: m ta ishlab chiqarish punktlarida $A_1, A_2, \dots, A_m$ miqdorda bir xildagi mahsulotlar ishlab chiqarish tashkil etilgan. Bu mahsulotlarni n ta punktlarda joylashgan iste'molchilarga $B_1, B_2, \dots, B_n$

miqdorda yetkazib berish kerak. Ishlab chiqaruvchilar va iste'molchilar o'rtasida mahsulotni tashish xarajatlari – t_{ij} ma'lum deb qabul qilinadi va transport xarajatlari matritsasi $T = (t_{ij})$ ni tashkil qiladi.

Masalaning maqsadi – iste'molchilarni ishlab chiqaruvchilarga shunday biriktirish rejasini tuzish kerakki, natijada A_i ishlab chiqaruvchi punktlarda taklif qilinayotgan mahsulotlar B_j iste'mol punktlaridagi iste'molchilar talablariga mos ravishda tashib ketilsin va bunda umumiy transport xarajatlari miqdori minimal bo'lsin.

Transport masalasining matritsaviy va iqtisodiy-matematik modeli. Transport masalasining matritsaviy modeli quyidagi ko'rinishda bo'ladi (4.1-jadval).

4.1-jadval

Transport masalasining matritsaviy modeli

$i \backslash j$	B_1	B_2	...	B_j	...	B_n
A_1	t_{11} X_{11}	t_{12} X_{12}	...	t_{1j} X_{1j}	...	t_{1n} X_{1n}
A_2	t_{21} X_{21}	t_{22} X_{22}	...	t_{2j} X_{2j}	...	t_{2n} X_{2n}
...	...	...	...	...	...	...
A_i	t_{i1} X_{i1}	t_{i2} X_{i2}	...	t_{ij} X_{ij}	...	t_{in} X_{in}
...	...	...	...	...	...	...
A_m	t_{m1} X_{m1}	t_{m2} X_{m2}	...	t_{mj} X_{mj}	...	t_{mn} X_{mn}

Masalaning iqtisodiy-matematik modeli.

Maqsad funksiya. Umumiy transport xarajatlari minimal bo'lsin:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} \cdot X_{ij} \rightarrow \min \quad (4.19)$$

Chegaraviy shartlar tizimi:

1. Ishlab chiqarish punktlaridan tashilishi kerak bo'lgan mahsulotlar (yuklar) hajmi korxonaning quvvatlariga teng bo'lsin:

$$\sum_j X_{ij} = A_i, \quad (i = \overline{1, m}) \quad (4.20)$$

2. Iste'molchi punktlarning mahsulotlarga (yuklarga) bo'lgan talablari to'liq qondirilsin:

$$\sum_i X_{ij} = B_j, \quad (j = \overline{1, n}) \quad (4.21)$$

3. Agar ta'minotchilarni umumiy quvvati iste'molchilarni umumiy talabiga teng bo'lsa 1) va 2) shartlar qat'iy tenglik ko'rinishida beriladi va yopiq transport masalasi hosil bo'ladi.

Ayrim hollarda bunday muvozanat hosil bo'lmasligi mumkin, bu holda transport masalasining ochiq modeli tuziladi.

$$\sum_i A_i < \sum_j B_j$$

$$\sum_i A_i > \sum_j B_j$$

Ochiq turdagi transport masalasi modelini yopiq holga keltirish uchun fiktiv ta'minotchi yoki fiktiv iste'molchi kiritiladi.

Agar

$$\sum_i A_i > \sum_j B_j \quad \sum_i A_i = \sum_j B_j + B^{\text{fkt.}}$$

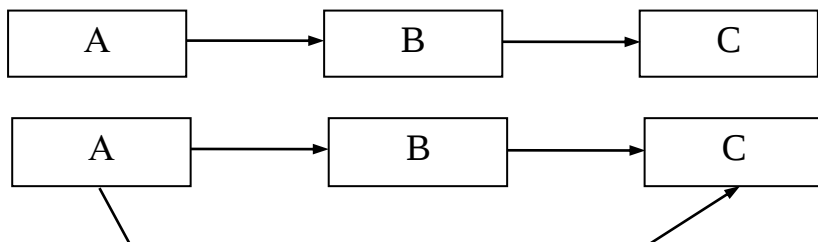
$$\sum_i A_i < \sum_j B_j \quad \sum_i A_i + A^{\text{fkt.}} = \sum_j B_j$$

Yopiq holga keltirilgan transport masalasi modelini ma'lum usullar bilan yechish mumkin (potensiallar usuli, Brudno usuli va boshqalar).

4.3. Ko'p bosqichli transport masalasi

Ko'p bosqichli transport masalalari savdo korxonalarining joylashishi va rivojlanishi tipidagi muammolar, transport masalalarini yechish jarayonida vujudga keladi. Agar yuk bir xil bo'lsa va o'zining yo'lida bir necha bosqichni bosib o'tsa, masalan, yuk ta'minotchidan bazaga yuborilsa va u yerdan iste'molchilarga bo'lib berilsa, bunday masala ko'p bosqichli deb yuritiladi. Bunday masalalarni yechishda ikki holat yuz berishi mumkin:

1) Yuk, albatta ta'minotchidan bazaga yuborilgan va u yerdan iste'molchilar o'rtasida taqsimlangan bo'lishi lozim. Bu xil masalaning chizmasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:



2) Yuk ta'minotchidan to'g'ri iste'molchilarga, shuningdek, baza yoki qayta ishlash punktlari orqali yuborilishi mumkin. Bu xil masalaning chizmasi quyidagi ko'rinishga ega:

1 va 2 xildagi masalalar tekshirilayotgan obyektning faoliyat yo'nalishidan kelib chiqadi.

Masalan, 1-xildagi masala metallurgiya mahsulotlarini taqsimlashda, 2-xildagi masala esa qishloq xo'jaligida har xil yuklar jo'natilganda (sabzavot, don va boshqa xil qishloq xo'jaligi mahsulotlari) qo'llanishi mumkin.

Masalaning matritsaviy va iqtisodiy-matematik modeli.

Masalaning iqtisodiy-matematik modelini tuzish uchun quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

i – ta'minotchilar joylashgan punktlar ($i=1,2,\dots,m$);

A_i – i -nomerli ta'minotchi punktdagi mavjud yukning miqdori;

j – bazaning quvvati yoki yuk qabul qilish qobiliyati;

B_j – j -nomerli ta'minotchi punktdan (j -nomerli baza yoki qayta ishlash korxonalariga) mahsulot birligini tashishda bo'ladigan transport xarajatlari;

C_{ij} – i -iste'molchilar joylashgan punktlarning nomeri baza yoki qayta ishlash korxonalariga mahsulot birligini tashishda bo'ladigan transport xarajatlari;

K – iste'molchilar joylashgan punktlarining nomeri ($K=1,2,\dots,R$)

D_k – k -nomerli iste'molchining iste'mol talabi hajmi;

$C_{jk}^{(3)}$ – j -nomerli bazadan k -nomerli iste'molchiga mahsulot birligini tashishda qilinadigan transport xarajatlari;

$X_{ij}^{(1)}$ – i -nomerli ta'minotchidan j -nomerli qayta ishlash punktiga jo'natilgan yukning hajmi;

$X_{jk}^{(3)}$ – j -nomerli bazadan k -nomerli iste'molchiga jo'natilgan yukning hajmi;

X_j – j -nomerli qayta ishlash korxonalarining foydalanilmagan quvvati.

Masalaning matritsaviy modeli (4.2-jadval):

4.2-jadval

Ko'p bosqichli transport masalasining matritsaviy modeli

	B_1	...	B_j	...	B_n	D_1	...	D_k	...	D_r
A_1	$X_{11}^{(1)}C_{11}^{(1)}$	...	$X_{1j}^{(1)}C_{1j}^{(1)}$	...	$X_{1n}^{(1)}C_{1n}^{(1)}$					
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
A_i	$X_{i1}^{(1)}C_{i1}^{(1)}$	...	$X_{ij}^{(1)}C_{ij}^{(1)}$	...	$X_{in}^{(1)}C_{in}^{(1)}$					
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
A_m	$X_{m1}^{(1)}C_{m1}^{(1)}$	...	$X_{mj}^{(1)}C_{mj}^{(1)}$	...	$X_{mn}^{(1)}C_{mn}^{(1)}$					
B_1	X_1^0					$X_{11}^{(3)}C_{11}^{(3)}$	...	$X_{1k}^{(3)}C_{1k}^{(3)}$	...	$X_{1r}^{(3)}C_{1r}^{(3)}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
B_j			X_j^0			$X_{j1}^{(3)}C_{j1}^{(3)}$	...	$X_{jk}^{(3)}C_{jk}^{(3)}$	...	$X_{jr}^{(3)}C_{jr}^{(3)}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
B_n					X_n^0	$X_{n1}^{(3)}C_{n1}^{(3)}$	...	$X_{nk}^{(3)}C_{nk}^{(3)}$	...	$X_{nr}^{(3)}C_{nr}^{(3)}$

Masalaning iqtisodiy-matematik modeli:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij}^{(1)} = A_i (i = \overline{1, m}) \quad (4.22)$$

– ta'minotchi punktdagi mavjud hamma yuk bazalarga yuborilishi shart.

$$\sum_{k=1}^R X_{jk}^{(3)} + X_j^0 = B_j (j = \overline{1, n}) \quad (4.23)$$

– har bir bazadagi yuk hamma iste'molchi punktlar o'rtasida taqsimlanadi va foydalanilmagan bazalarning qabul qilish qobiliyati summasi har bir bazaning yuk qabul qilish qobiliyatini tashkil qiladi.

$$\sum_{i=1}^m X_{ij}^{(1)} + X_j^0 = B_j (j = \overline{1, n}) \quad (4.24)$$

– bazaning yuk qabul qilish qobiliyatiga keltirilgan yuk hajmi va foydalanilmagan har bir bazaning yuk qabul qilish qobiliyatining yig‘indisiga teng.

$$\sum_{j=1}^n X_{jk} = D_k (k = \overline{1, R}) \quad (4.25)$$

– har bir iste’molchi punktning talabi qondirilgan bo‘lishi shart.

$$X_{ij}^{(1)} \geq 0; X_{jk}^{(3)} \geq 0 \quad (4.26)$$

– keltirilgan yukning hajmi manfiy son bo‘lmasligi shart.

$$X_j^0 \geq 0 \quad (4.27)$$

– bazaning foydalanilmagan quvvati manfiy son bo‘lmasligi shart.

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij}^{(1)} X_{ij}^{(1)} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^R C_{jk}^{(3)} X_{jk}^{(3)} \rightarrow \min \quad (4.28)$$

Masalaning maqsadi – transport xarajatlarini minimallashtirish. Masala yechimga ega bo‘lishi uchun quyidagi shartlar bajarilishi lozim:

$$\sum_{j=1}^n B_j \geq \sum_{k=1}^R D_k \quad (4.29)$$

Barcha bazalarning quvvati iste’molchi punktlardagi mavjud yuk hajmidan kam bo‘lmasligi shart.

$$\sum_{j=1}^n B_j \geq \sum_{i=1}^m A_i \quad (4.30)$$

Barcha bazalarning yuk qabul qilish qobiliyati ta’minotchi punktlarnikidan kam bo‘lmasligi shart.

Nazorat savollari

1. Nima sababdan iqtisodiyotda ikki indeksli masalalardan foydalaniladi.

2. Iqtisodiyotda ikki indeksli masalalarga misollar keltiring va iqtisodiy asoslab bering.

3. Uskunalarni optimal yuklash masalasida necha xil chegaraviy shartlardan foydalaniladi?

4. Firma xodimlarining optimal shtatini shakllantirish masalasining mazmuni va iqtisodiy-matematik modelini tushuntirib bering.

5. Bozorni optimal tadqiq qilish qanday amalga oshirilishini tushuntirib bering.

6. Transport masalasining iqtisodiy mazmunini tushuntirib bering.

7. Qaysi transport masalasini yechishda fiktiv o'zgaruvchilar qo'llaniladi?

8. Transport masalasi ochiq bo'lishi uchun qanday shartlar bajarilishi kerak?

9. Transport masalasining iqtisodiy-matematik modelida necha xil chegaraviy shartlar qatnashadi?

10. Transport masalasini yechish usullarini tasniflab bering.

11. Transport masalasini yechishda "shimoliy-g'arb burchak usuli" ning mohiyatini tushuntirib bering.

12. Ikki bosqichli transport masalasining sxemasini tushuntirib bering.

13. Ikki bosqichli transport masalasida necha xil subyektlar qatnashadi?

14. Ishlab chiqaruvchilardan to'g'ridan-to'g'ri iste'molchilarga mahsulotlarni tashish mumkin emasligining sababini tushuntirib bering.

15. Ikki bosqichli transport masalasining iqtisodiy-matematik modelini ta'riflab bering.

V-BOB. IQTISODIYOTDA BALANS USULLARIDAN FOYDALANISH

REJA:

- 5.1. Tarmoqlararo balansning mazmuni.**
- 5.2. Tarmoqlararo balans kvadrantlarining xarakteristikalar.**
- 5.3. Tarmoqlararo balansda matematik bog‘lanishlar.**
- 5.4. Tarmoqlararo balans asosiy sxemasining modifikatsiyalari.**

5.1. Tarmoqlararo balansning mazmuni

Tarmoqlararo balans usuli milliy iqtisodiyotdan tortib alohida korxonagacha bo‘lgan turli darajalarda mahsulot ishlab chiqarish va taqsimlashni tahlil qilish va rejalashtirish uchun qo‘llaniladi. Bu to‘liq balanslashgan, ichki izchil rejalar tuzilishini ta’minlaydi.

Mahsulot ishlab chiqarish va taqsimlashning tarmoqlararo balans modeli milliy iqtisodiyot balans tizimining tarkibiy qismi sifatida milliy iqtisodiyotdagi umumiy iqtisodiy va tarmoqlararo mutanosibliklarni tahlil qilish va rejalashtirish instrumenti hisoblanadi. Ijtimoiy mahsulot va milliy daromad balansining batafsil sxemasini ifodalovchi tarmoqlararo balans iqtisodiyotda obyektiv ravishda mavjud bo‘lgan umumiy iqtisodiy nisbatlar va rivojlanish nisbatlari o‘rtasidagi tarkibiy munosabatlarni aks ettiruvchi iqtisodiy-matematik modeldir.

Milliy iqtisodiyot tarmoqlarida uzoq muddatli va joriy makroiqtisodiy rejalarini ishlab chiqishda tarmoqlararo balansdan asosiy ijtimoiy-iqtisodiy vazifalar va fan-texnika taraqqiyotining eng muhim tendensiyalarini hisobga olgan holda iqtisodiyot rivojlanishi-ning sur‘atlari, nisbatlari va tarmoq tuzilmalarini variantli hisoblash uchun foydalaniladi. Tarmoqlararo balans usuli asosida matritsali iqtisodiy-matematik modellar ishlab chiqiladi. Matritsali modellarda eng muhim rejalashtirish usullaridan biri bo‘lgan balans usuli qat’i matematik ifodani oladi.

Matritsali modellarga quyidagilar kiradi: milliy iqtisodiyotda mahsulot ishlab chiqarish va taqsimlashning tarmoqlararo va hududlararo balansi, milliy iqtisodiyot tarmoqlarini rivojlantirish rejalarining matritsali modellari, iqtisodiy hududlar mahsulot ishlab chiqarish va taqsimlashning tarmoqlararo balanslari, korxonalar biznes-rejalarining matritsali modellari. Turli xususiyatlarga qaramay, ushbu modellar tuzilishning umumiy tamoyilini, hisob-kitob tizimining birligini, bir qator iqtisodiy xususiyatlarning o'xshashligini (xususan, to'liq va to'g'ridan-to'g'ri xarajatlar koeffitsiyentlarini) birlashtiradi. Bu matritsali modellarning mazmuni, tuzilishi va asosiy bog'liqliklarini ulardan biri misolida ko'rib chiqish imkonini beradi, masalan, milliy iqtisodiyotda mahsulot ishlab chiqarish va taqsimlashning tarmoqlararo balansi.

5.1-jadval

Tarmoqlararo balansning matritsaviy modeli

Ishlab chiqaruvchi tarmoqlar	Iste'molchi tarmoqlar					Pirovard mahsulot	Yalpi mahsulot
	1	2	3	...	n		
1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	...	x_{1n}	y_1	X_1
2	x_{21}	x_{22}	x_{23}	...	x_{2n}	y_2	X_2
			I			II	
3	x_{31}	x_{32}	x_{33}	...	x_{3n}	y_3	X_3
...	...	...	...	...	...	...	...
n	x_{n1}	x_{n2}	x_{n3}	...	x_{nn}	y_n	X_n
Mehnatga haq to'lash	v_1	v_2	v_3	...	v_n	v_k	
Sof daromad	m_1	m_2	m_3	...	m_n	m_k	
Yalpi mahsulot	X_1	X_2	X_3	...	X_n		X

Milliy iqtisodiyotning tarmoqlararo balans modeli o'zida mahsulot ishlab chiqarish va taqsimlashni tarmoqlar kesimida, tarmoq-

lararo ishlab chiqarish munosabatlarini, moddiy va mehnat resurslaridan foydalanishni, milliy daromadni yaratish va taqsimlashni aks ettiradi. Balansning sxemasi 5.1-jadvalda ko'rsatilgan bo'lib, unda bir-yil uchun hisobot balansi qiymat ko'rinishida ko'rib chiqiladi.

Balansning asosini moddiy ishlab chiqarishning barcha tarmoqlari (n ta tarmoq) yig'indisi tashkil etadi. Har bir tarmoq balansda ikki marta ishtirok etadi: ham ishlab chiqaruvchi va ham iste'molchi tarmoq sifatida. Mahsulot ishlab chiqaruvchi sifatida qatnashadigan tarmoqlar qatorlarga, mahsulot iste'molchisi sifatida qatnashuvchi tarmoqlar – ustunlarga mos keladi. Ishlab chiqaruvchi tarmoqlar sonini i bilan, iste'molchi tarmoqlar sonini esa j bilan belgilaymiz. Balansdagi x_{ij} miqdolar i -ishlab chiqarish tarmog'ida ishlab chiqarilgan va j -iste'molchi tarmoqda iste'mol qilingan ishlab chiqarish vositalarining qiymatini ko'rsatadi.

5.2. Tarmoqlararo balans kvadrantlarining xarakteristiklari

Tarmoqlararo balans to'rtta qism – kvadrantlardan iborat.

1-kvadrant shaxmat taxtasi kabi tuzilgan bo'lib, unda ishlab chiqarish vositalarining oqimi akslanadi. 1-qism ma'lumotlari tarmoqlar moddiy xarajatlari tarkibini tahlil qilishda, tarmoqlar o'rtasidagi ishlab chiqarish bog'lanishlari va proporsiyalarini aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

2-kvadrantda barcha moddiy ishlab chiqarish tarmoqlarining pirovard mahsuloti ko'rinadi. Pirovard mahsulot deb, ishlab chiqarishdan tashqaridagi iste'mol va jamg'armadagi mahsulotlar yig'indisiga aytiladi. Pirovard mahsulot tarkibiga kiruvchi ijtimoiy iste'mol, ta'lim-tarbiya, o'quv, fan, sog'liqni saqlash, mudofaa, boshqaruv, sport kabi sohalardagi iste'moldan tarkib topadi. Shunday qilib, 2-kvadrantdagi ma'lumotlar milliy daromadning tarmoqlar bo'yicha moddiy tuzilishi, uning jamg'arma va iste'mol fondlariga taqsimlanishini xarakterlaydi.

3-kvadrant ko'rsatkichlari ham milliy daromadni xarakterlaydi, faqat bunda uning qiymati tarkibi, ya'ni barcha tarmoqlarda mehnatga to'langan haq va sof daromad yig'indisi sifatida qaraladi. 3-kvadrant ma'lumotlari moddiy ishlab chiqarishda zaruriy va qo'shimcha mahsulot orasidagi hamda yangidan yaratilgan va ko'shilgan qiymatlar nisbatini tahlil qilish uchun zarurdir.

4-kvadrant TAB ning pirovard mahsulotlar ustuni va daromadlar qatorining kesishgan joyida bo'lib, bu yerda milliy daromadning pirovard taqsimlanishi va foydalanishi o'z aksini topadi. Dastlab yaratilgan milliy daromadning qayta taqsimlanishi oqibatida aholining, korxonalarining va davlatning pirovard daromadlari yuzaga keladi. 4-kvadrant ma'lumotlari tarmoqlararo modellarda aholining daromad va xarajatlarini ko'rsatishda muhim rol o'ynaydi.

Bunday hisoblashlar 3 xil holatda bajarilishi mumkin:

1) modeldagi barcha tarmoqlarning yalpi mahsulotlari hajmi berilgan bo'lib (X_i), pirovard mahsulotlarni (Y_i) hisoblab topiladi.

2) barcha tarmoqlar bo'yicha pirovard mahsulotlar (Y_i) darajasi berilgan bo'lib, yalpi mahsulotlar hajmini aniqlash talab qilinadi.

Ayrim tarmoqlar bo'yicha yalpi mahsulotlar boshqalari uchun pirovard mahsulotlar darajalari berilgan bo'lib, qolgan noma'lumlarni sistemani yechish bilan aniqlash mumkin.

5.3. Tarmoqlararo balansda matematik bog'lanishlar

1-qatordagi barcha miqdorlar yig'indisi xuddi 1-ustundagi miqdorlar yig'indisi kabi natijaga, ya'ni-yil davomida ishlab chiqarilgan elektroenergiya mahsulotining qiymat ko'rinishiga teng bo'lishi kerak:

$$X_1 = X_{11} + X_{12} + X_{13} + \dots + X_{1n} + Y_1 = \sum_{j=1}^n X_{ij} + y_i \quad (5.1)$$

Xuddi shuningdek ixtiyoriy olingan ishlab chiqarish tarmog'i uchun:

$$X_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} + y_i \quad (5.2)$$

Tarmoqlararo balans modeli to'rtta qism – kvadrantlardan iboratdir.

$$\sum_{j=1}^n X_j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} + \sum_{j=1}^n v_j + \sum_{j=1}^n m_j \quad (5.3)$$

(5.2) tenglamani i bo'yicha jamlasak

$$\sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} + \sum_{i=1}^n y_i \quad (5.4)$$

(5.3) va (5.4) tengliklarning chap qismida bir xil miqdorlar – yalpi mahsulot X ni hosil qiladi. Tengliklarning o'ng qismidagi 1-qo'shiluvchilar ham bir xil, ya'ni 1-kvadrantning jamiga tengdir. Demak, tengliklarning qolgan qismlari ham tengdir:

$$\sum_{j=1}^n v_j + \sum_{j=1}^n m_j = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (5.5)$$

Har doimgidek, tarmoqlararo model quyidagicha tuziladi:

1. Har bir tarmoqda yagona ishlab chiqarish texnologiyasi mavjud bo'lsin.

2. Ishlab chiqarish xarajatlari me'yori, ishlab chiqarilayotgan mahsulotning hajmiga bog'liq bo'lsin.

3. Bir mahsulotning o'rniga boshqa bir mahsulotning ishlatilishi mumkin bo'lmasin.

Bu shartlarni e'tiborga olgan holda, x_{ij} ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$x_{ij} = a_{ij} \cdot x_j, \quad (j = \overline{1, n}) \quad (5.6)$$

bu yerda, a_{ij} to'g'ri xarajatlar koeffitsiyenti bo'lib, u j -tarmoq mahsulotining bir birligini ishlab chiqarish uchun i -tarmoq mahsulotidan qancha sarflanishini ifodalaydi. Tarmoqlararo modellarda bu koeffitsiyentlar doimiy miqdorlar hisoblanadi. (5.6)-ifoda, tarmoqlar uchun xarajatlar funksiyasi hisoblanadi va u j -tarmoqning x_j mahsulotini a_{ij} to'g'ri xarajatlar koeffitsiyenti yordamida x_{ij} xarajatlarni aniqlashga imkoniyat beradi. (5.6) ni mahsulot balansiga quyi quyidagini hosil qilamiz:

$$x_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + Y_i.$$

Bundan

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + Y_i. \quad (5.7)$$

(5.7) ni quyidagi vektorli ko‘rinishda ham ifodalash mumkin:

$$x = Ax + y, \quad (5.8)$$

bu yerda:

x – vektorli ustun $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$

y – vektorli ustun $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

A matritsasini to‘g‘ri xarajatlar koeffitsiyenti matritsasi deb atash qabul qilingan. (5.8) – ifoda mahsulotlarning taqsimlash balansi bo‘lib, u tarmoqlararo balansning asosiy nisbati hisoblanadi. A matritsasini qanday qilib tuzamiz? – degan savol tug‘iladi. Uni tuzishning ikki usuli mavjud:

1. Statistik usul. Bunda koeffitsiyentlar oldingi-yillar balanslarini tahlil qilish asosida aniqlanadi.

2. Normativ. Bunda a_{ij} normativ xarajatlar asosida aniqlanadi.

A matritsa aniqlangach, (5.8)-nisbatni milliy iqtisodiyotni tahlil qilish va rejalashtirishda ishlatish mumkin. Haqiqatan ham, x yalpi mahsulotni, y pirovard mahsulot orqali aniqlash uchun quyidagi formuladan foydalaniladi:

$$(E - A) \cdot X = Y,$$

bu yerda, E – birlik matritsa. Yuqoridagi formuladan,

$$X = (E - A)^{-1} \cdot Y \quad (5.9)$$

hosil qilish mumkin.

Mahsulot taqsimlanishi balansi, Y pirovard mahsulot bo‘yicha X yalpi mahsulotlarni aniqlash imkoniyatini beradi. Ishlab chiqarishni rejalashtirishda tarmoqlararo modellarni qo‘llashdan asosiy maqsad

ham ana shu hisoblanadi. (5.9)-ifodani qo‘llashdan oldin ikkita narsani aniqlab olishimiz zarur:

1. $(E - A)$ matritsaga har doim ham teskari matritsa mavjud bo‘ladimi?

2. Yalpi mahsulot qiymati ba’zi bir hollarda manfiy chiqmasmikan?

Shunga qaramasdan, matritsalar haqidagi teoremda isbotlanganidek, har bir matritsa uchun teskari matritsa mavjud va uning elementlari quyidagi shartlar bajarilganda nomanfiy bo‘ladi:

$$a_{ij} \geq 0, (i, j = \overline{1, n}) \quad (5.10)$$

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} < 1, (j = \overline{1, n}) \quad (5.11)$$

(5.10) – nisbat x_j tarmoqdagi yalpi mahsulotning musbat bo‘lgani va $x_{ij} > 0$ bo‘lganidan kelib chiqadi. (5.11)-nisbatni quyidagidan hosil qilish mumkin,

$$x_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} + V_j,$$

bu yerda

$$V_j > 0, \quad x_j = \sum_{i=1}^n x_{ij},$$

bu nisbatga (5.6)– nisbatni qo‘yib quyidagini hosil qilamiz:

$$x_j > \sum_{i=1}^n a_{ij} * X_j.$$

Bundan (5.11)-nisbat bajarilishi kelib chiqadi. Quyidagi belgilash kiritamiz:

$$(E - A)^{-1} = B$$

va (5.9) ni quyidagi ko‘rinishda yozamiz:

$$X = B \cdot Y \quad (5.12)$$

5.4. Tarmoqlararo balans asosiy sxemasining modifikatsiyalari

Yuqorida muhokama qilingan asosiy tarmoqlararo balans modelining turli modifikatsiyalari model qamrab olgan ko‘rsatkichlar

doirasini kengaytirish va uni real iqtisodiy faoliyatni aks ettirish uchun yaxshiroq moslashtirish imkonini beradi.

Tarmoqlararo usulning eng muhim analitik imkoniyatlari qatoriga bevosita va umumiy mehnat xarajatlarini aniqlash va shu asosda mahsulot-mehnat balansi modellarini ishlab chiqish kiradi. Boshlang'ich model natural ifodada hisobot mahsulotlararo balans modeli bo'lib xizmat qiladi. Balans qatorlari har bir alohida mahsulotning boshqa mahsulotlarni ishlab chiqarish va yakuniy iste'mol uchun taqsimlanishini, shuningdek, barcha turdagi mahsulotlarni ishlab chiqarishda jonli mehnat xarajatlarini taqsimlashni beradi.

Mehnat xarajatlari bir xil darajadagi murakkablikdagi mehnat birliklarida ifodalanadi deb taxmin qilinadi.

Modelda j -mahsulot ishlab chiqarishda jonli mehnat sarfini L orqali, shu mahsulot ishlab chiqarish hajmini esa X orqali belgilaymiz. Shunda j -turdagi mahsulotning bir-birligiga bevosita (to'g'ri) mehnat sarflari quyidagicha bo'ladi:

$$t_j = \frac{L_j}{X_j}.$$

Bevosita xarajatlar (jonli mehnat) va sarflangan ishlab chiqarish vositalari orqali mahsulotga o'tkazilgan moddiylashtirilgan mehnat xarajatlari yig'indisi sifatida to'liq mehnat xarajatlari T_j tushunchasini kiritamiz. Modeldagi to'liq mehnat xarajatlarning shakllanishi quyidagi sxema orqali amalga oshiriladi:

$$\begin{array}{cccc} a_{11}T_1 & a_{12}T_1 & \dots & a_{1n}T_1 \\ a_{21}T_2 & a_{22}T_2 & \dots & a_{2n}T_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}T_n & a_{n2}T_n & \dots & a_{nn}T_n \end{array} \cdot \begin{array}{cccc} t_1 & t_2 & \dots & t_n \\ T_1 & T_2 & \dots & T_n \end{array}.$$

Bu yerda har bir j -mahsulot uchun T_j – mahsulot bir-birligiga to'g'ri keladigan to'liq mehnat xarajatlari qiymatini, t_j – bevosita mehnat xarajatlari qiymatini, $a_{ij}T_j$ ko'rinishdagi ko'paytma esa j -mahsulotga i – ishlab chiqarish vositalari orqali o'tkazilgan moddiy-

lashtirilgan mehnat xarajatlarini aks ettiradi. Bevosita moddiy xarajatlar a_{ij} koeffitsiyentlari natural birliklarda ifodalangan deb taxmin qilinadi.

Moddiylashtirilgan va jonli mehnat xarajatlari yig'indisi to'liq mehnat xarajatlarini tashkil etadi va u quyidagiga teng:

$$T_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} T_i + t_j. \quad (5.13)$$

Tenglamalar tizimiga n ta tenglama kiradi. Agar mahsulotlararo modelning bevosita moddiy xarajatlar koeffitsiyentlari matritsasi va vektor – bevosita mehnat sig'imi koeffitsiyentlari berilgan bo'lsa, tenglamalar tizimini yechish orqali har bir turdagi mahsulot birligiga to'g'ri keladigan to'liq mehnat xarajatlari koeffitsiyentlarini aniqlash mumkin.

Tenglamalar tizimi to'liq mehnat xarajatlari koeffitsiyentlariga nisbatan umumiy tarzda yechilishi mumkin. Matritsa ko'rinishida quyidagicha ifodalaymiz:

$$T = Ta + t,$$

bu yerda

$$T - Ta = TE - Ta = T(E - a) = t,$$

natijada quyidagiga ega bo'lamiz:

$$T = tA.$$

Shunday qilib, har qanday j -mahsulot uchun to'liq mehnat xarajatlarning qiymati T_j barcha turdagi mahsulotlar uchun bevosita mehnat xarajatlarining vaznli yig'indisi sifatida aniqlanadi va to'liq moddiy xarajatlar koeffitsiyentlari vazn sifatida ishlaydi:

$$T_j = \sum_{i=1}^n A_{ij} t_i.$$

To'liq mehnat sig'imi u yoki bu mahsulotni ishlab chiqarish jamiyatga o'rtacha qanchaga tushishini ko'rsatadi. Tarmoqlararo balans asosida aniqlangan to'liq mehnat xarajatlarining ko'rsatkichlari ijtimoiy zaruriy mehnat xarajatlari ko'rsatkichlari bilan mos kelmaydi (ijtimoiy zaruriy mehnat xarajatlarini hisoblashda yanada murakkab optimallashtirish modellarini tuzishni talab qiladi). Biroq, o'rtacha to'liq mehnat sig'imi ko'rsatkichlari muhim analitik ahamiyatga ega.

Bevosita va to'liq mehnat sig'imi koeffitsiyentlari asosida mehnat xarajatlari va mehnat resurslaridan foydalanishning tarmoqlararo va mahsulotlararo balanslari ishlab chiqilishi mumkin. Sxematik ravishda balanslar matritsa modellarining umumiy turiga ko'ra tuziladi, ammo ulardagi barcha ko'rsatkichlar (tarmoqlararo munosabatlar, pirovard mahsulot, sof mahsulot va boshqalar) mehnat o'lchagichlarida ifodalanadi. Buxgalteriya balanslari mehnat resurslarining tarmoqlar o'rtasida taqsimlanishini, umumiy ijtimoiy mehnat xarajatlarining hajmi va tarkibini har tomonlama tavsiflaydi. Dinamikda jami mehnat xarajatlarini tahlil qilish alohida qiziqish uyg'otadi. Ularning o'zgarishi ishlab chiqarishning barcha bosqichlarida u yoki bu turdagi yakuniy mahsulot ishlab chiqarish uchun sarflangan ijtimoiy mehnat unumdorligining o'sishi haqida obyektiv va to'liq tasavvur beradi.

Mehnat sig'imi koeffitsiyentlari asosida rejalashtirilgan tarmoqlararo balanslarni ishlab chiqishda ishlab chiqarishning rejalashtirilgan hajmlari jamiyatning mehnat resurslari bilan bog'lanadi.

Rejalashtirilgan ishlab chiqarish X_j darajalari va bevosita mehnat sig'imi t_j koeffitsiyentlari bilan mehnat xarajatlariga umumiy ehtiyoj quyidagicha bo'ladi:

$$L = \sum_{j=1}^n t_j x_j + Lg,$$

bu yerda, Lg – moddiy ishlab chiqarishdagi qo'shimcha mehnat xarajatlari (ishlab chiqarish hajmiga proporsional emas), shuningdek, noishlab chiqarish sohasidagi mehnat xarajatlari.

Umumiy ehtiyojni mavjud rejalashtirilgan ish vaqti fondi (yoki ishchilarning rejalashtirilgan soni) bilan taqqoslash rejalashtirilgan balansning ushbu variantini mehnat resurslari bilan ta'minlash nuqtayi nazaridan qanchalik real ekanligini ko'rsatadi. Shunga o'xshash hisob-kitoblar nafaqat umumiy, balki mehnat resurslari, kasblar va boshqalar toifalari bo'yicha ham amalga oshirilishi mumkin.

Agar mehnat resurslarining m ta guruhi ajratilgan bo'lsa va ularning har biri uchun j -mahsulot ishlab chiqarishda k -guruhning jonli mehnati L_{kj} xarajatlari to'g'risida hisobot ma'lumotlari mavjud bo'lsa, u holda mehnat xarajatlari matritsasi hosil bo'ladi:

$$[L_{kj}] = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & \dots & L_{1n} \\ L_{21} & L_{22} & \dots & L_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{m1} & L_{m2} & \dots & L_{mn} \end{bmatrix}.$$

Ushbu matritsa asosida quyidagi formula bo'yicha aniqlanadigan t_{kj} bevosita mehnat xarajatlari koeffitsiyentlari matritsasini olish mumkin.

$$t_{kj} = \frac{L_{kj}}{X_j}.$$

Reja davri uchun belgilangan t_{kj} koeffitsiyentlari ishlovchilar guruhlari (toifalari, kasblari) bo'yicha rejalashtirilgan ishlab chiqarish hajmi uchun mehnat resurslariga bo'lgan ehtiyojni hisoblash imkonini beradi.

Xuddi shu guruhlar uchun har xil turdagi mahsulotlarning to'liq mehnat sig'imini aniqlash mumkin. Bevosita moddiy xarajatlar a_{ij} koeffitsiyentlariga asoslanib, tenglamalar tizimini yechish natijasida j -mahsulot bir-birligiga k -guruh mehnatining T_{kj} to'liq mehnat xarajatlari hisoblanadi:

$$T_{kj} = \sum_{i=1}^n a_{ij} T_{ki} + t_{kj}.$$

To'liq moddiy xarajatlarning A_{ij} koeffitsiyentlarining ma'lum matritsasi bilan to'liq mehnat sig'imi ko'rsatkichlari quyidagi nisbatlarda aniqlanadi:

$$T_{kj} = \sum_{i=1}^n A_{ij} t_{ki}.$$

Xususan, T_{kj} koeffitsiyentlari ma'lum bir mahsulot ishlab chiqarishni ko'paytirishni ta'minlash uchun milliy iqtisodiyotning ma'lum bir guruhning mehnat resurslariga qo'shimcha ehtiyojini osongina aniqlashga imkon beradi, masalan, avtomobil ishlab chiqarishning ma'lum o'sishini ta'minlash uchun milliy iqtisodiyotning barcha tarmoqlarida qancha qo'shimcha stanokda ishlaydigan ishchilarini aniqlash kerak bo'ladi.

Nazorat savollari

1. Balans modellarining mohiyati nimadan iborat?

2. Milliy iqtisodiyotda ishlab chiqarish va taqsimlash jarayonlarini tushuntirib bering.

3. Balans usuli asosida qanday iqtisodiy-matematik modellar ishlab chiqiladi?

4. Nima sababdan tarmoqlararo balansda tarmoqlar ikki xil xususiyatda foydalaniladi, ya'ni ishlab chiqaruvchi va iste'molchi tarmoqlar sifatida?

5. Tarmoqlararo balansning birinchi kvadranti nimani aks ettiradi?

6. Tarmoqlararo balansning ikkinchi kvadrantida qaysi ko'rsatkichlar ifodalanadi?

7. Tarmoqlararo balansning uchinchi kvadrantini tushuntirib bering.

8. Tarmoqlararo balansning to'rtinchi kvadranti va davlat budjeti o'rtasida qanday bog'liqliklar mavjud?

9. Tarmoqlararo balansda tarmoqlararo oqimlar nima va u qanday hisoblanadi?

10. Tarmoqlararo balansda oraliq mahsulot nima va unga ta'rif bering.

11. Tarmoqlararo balansda qaysi kvadrantlar bir-biriga teng?

12. Tarmoqlararo balansda bevosita (to'g'ri) xarajatlar nima va u qanday hisoblanadi?

13. Tarmoqlararo balansda to'liq xarajatlar nima va u qanday hisoblanadi?

14. Tarmoqlararo balansda **A** matritsani necha xil usulda hisoblash mumkin?

15. Birlik matritsa nima va u tarmoqlararo balans parametrlarini topishda qanday rol o'ynaydi?

16. Tarmoqlararo balansda jonli mehnat koeffitsiyentlari qanday hisoblanadi?

17. Tarmoqlararo balansda to'liq mehnat sig'imi deb nimaga aytiladi?

18. Tarmoqlararo balans ma'lumotlari asosida yalpi mahsulotning keyingi davrlarga o'zgarishini prognozlash mumkinmi?

VI-BOB. IQTISODIYOTDA DINAMIK DASTURLASH USULLARINI QO‘LLASH

REJA:

- 6.1. Dinamik dasturlash to‘g‘risida tushuncha. Dinamik masalalarning xususiyatlari va tuzish shartlari.
- 6.2. Dinamik dasturlash usuli yordamida yechiladigan iqtisodiy masalalar.
- 6.3. Dinamik dasturlash masalasining qo‘yilishi.
- 6.4. Dinamik modellarning vektorli va matritsaviy shakli.

6.1. Dinamik dasturlash to‘g‘risida tushuncha. Dinamik masalalarning xususiyatlari va tuzish shartlari

Chiziqli va chiziqsiz dasturlash masalalarida iqtisodiy jarayonlar vaqtga bog‘liq emas deb qaraladi, shuning uchun masalaning optimal yechimi rejalashtirishning faqat bir bosqichi uchun topiladi. Bunday masalalar ***bir bosqichli masalalar*** deyiladi.

Dinamik dasturlash masalalarida iqtisodiy jarayonlar vaqtga bog‘liq deb qaraladi hamda butun jarayonning optimal rivojlanishini ta‘minlovchi bir qator (ketma-ket, har bir bosqich uchun alohida) optimal yechimlar topiladi. Dinamik dasturlash masalalari ***ko‘p bosqichli*** yoki ***ko‘p qadamli*** deb ataladi.

Dinamik dasturlash – vaqtga bog‘liq va ko‘p bosqichli boshqariluvchi iqtisodiy jarayonlarni optimal rejalashtirish usullarini o‘rganuvchi matematik dasturlashning bir bo‘limi hisoblanadi.

Agar iqtisodiy jarayonning kechishiga ta‘sir ko‘rsatish mumkin bo‘lsa, bunday jarayon ***boshqariluvchi*** deb ataladi. Jarayonning kechishiga ta‘sir etish uchun qabul qilinuvchi qarorlar (yechimlar) to‘plamiga ***boshqarish*** deb ataladi. Iqtisodiy jarayonlarda boshqarishni rejalashtirishning har bir bosqichida vositalarni taqsimlash, mablag‘ ajratish va boshqalar bilan ifodalanishi mumkin. Ixtiyoriy korxonadagi ishlab chiqarish – boshqariluvchi jarayon. Rejalashtirish davridagi har

bir-yil boshida xomashyo bilan ta'minlash, ishlab chiqarish quvvatlarini o'zgartirish, qo'shimcha mablag'lar jalb qilish to'g'risida qarorlar qabul qilinadi.

Demak, iqtisodiy jarayonlar har bir davrda uning rivojlanishiga ta'sir etuvchi, bir qancha bosqichlardan iborat deb qaralishi mumkin. Ko'p bosqichli iqtisodiy jarayonlarni rejalashtirish uchun har bir oraliq bosqichda alohida qaror qabul qilishda, butun jarayonning tub maqsadi ko'zlanadi. Butun jarayonning yechimi o'zaro bog'langan yechimlar ketma-ketligidan iborat bo'ladi. O'zaro bog'langan bunday yechimlar ketma-ketligi **strategiya** deb ataladi. Avvaldan tanlangan mezonga nisbatan eng yaxshi natijani ta'minlovchi strategiya **optimal strategiya** deyiladi. Boshqacha aytganda, optimal strategiya ko'p bosqichli iqtisodiy jarayonning optimal rivojlanishini ta'minlovchi strategiyadir.

Ko'p bosqichli jarayon deb, vaqtga bog'liq ravishda rivojlanuvchi va o'z taraqqiyotida bir necha bosqichlarga bo'linuvchi jarayon tushuniladi.

Ko'p bosqichli iqtisodiy masalalarni yechish uchun ularni yagona matematik modelini yoki bo'lmasa, har bir bosqichga mos keluvchi statik modellar tizimini tuzib, so'ngra uni dinamik dasturlash usullari bilan yechish lozim.

Dinamik dasturlashning xususiyatlari:

- dinamik dasturlash ko'p bosqichli jarayonning birdan-bir yagona yechimini emas, balki har bir davrga mos keluvchi va tub manfaatni ko'zlovchi yechimlar ketma-ketligini topishga yordam beradi;
- dinamik dasturlash yordami bilan yechilayotgan ko'p bosqichli masalaning ma'lum bir bosqichi uchun topilgan yechimi undan oldingi bosqichlarda topilgan yechimga bog'liq bo'lmaydi. Unda faqat shu bosqichni ifodalovchi faktlar nazarga olinadi;
- dinamik dasturlash yordami bilan ko'p bosqichli masalani yechish jarayonining har bir bosqichida tub maqsadni ko'zlovchi yechimni aniqlash kerak, ya'ni yechimlar orasida tub maqsadga erishishda maksimal hissa qo'shuvchi yechimni topish kerak.

Ma'lum bir bosqichda topilgan optimal reja faqat shu qadam nuqtayi nazaridan emas, balki butun jarayonning tub (pirovard) maqsadi nuqtayi nazaridan optimal reja bo'lishi kerak. Bunday tamoyil ***“dinamik dasturlashning optimallik tamoyili”*** deb ataladi.

6.2. Dinamik dasturlash usuli yordamida yechiladigan iqtisodiy masalalar

Dinamik dasturlash usulidan optimumini bosqichma-bosqich yondashuv bilan izlash mumkin bo'lgan masalalarni yechishda foydalaniladi, masalan:

- taqchil kapital qo'yilmalardan ulardan foydalanishning yangi yo'nalishlari o'rtasida taqsimlashda;
- talab yoki zaxiralarni boshqarish qoidalarini ishlab chiqish, zaxirani to'ldirish vaqtini va to'ldirish tartibining hajmini belgilashda;
- mahsulotga bo'lgan talabning o'zgaruvchanligi sharoitida ishlab chiqarishni rejalashtirish va bandlikni tenglashtirish tamoyillarini ishlab chiqishda;
- asbob-uskunalarni joriy va kapital ta'mirlash va ularni almashtirishning kalendar rejalarini tuzishda;
- transport tarmog'idagi eng qisqa masofalarni qidirishda;
- tijorat operatsiyalarini rivojlantirish izchilligini shakllantirish va boshqalar.

Dinamik dasturlash usuli asosida yechiladigan masalalar:

- “Sanoat birlashmasining optimal rejalashtirish” masalasi;
- “Mahsulot ishlab chiqarish va saqlash” masalasi;
- “Korxonaning dividend siyosati” masalasi;
- “Samolyotning optimal tezligi hamda uchish balandligini aniqlash” masalasi;
- “Investitsiyalarni optimal taqsimlash” masalasi va boshqalar.

6.3. Dinamik dasturlash masalasining qo'yilishi

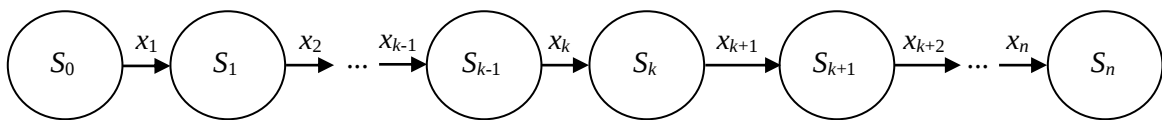
Mablag'larni korxonalar o'rtasida taqsimlash bilan bog'liq bo'lgan investitsiyalar misolida dinamik dasturlash masalasini ko'rib chiqamiz. Investitsiyalarni boshqarish natijasida tizim dastlabki S_0 holatidan S_n yakuniy holatiga ketma-ket o'tkaziladi. Faraz qilaylik, boshqaruvni n -qadamga bo'lish mumkin va qaror ketma-ket har bir qadamda qabul qilinadi, boshqaruv esa n ta qadamli boshqaruv elementlari to'plamidir.

Har bir qadamda ikki turdagi o'zgaruvchilarni aniqlash zarur:

- S_k tizim holati o'zgaruvchisi;
- x_k boshqarish o'zgaruvchisi.

S_k o'zgaruvchi ko'rib chiqilayotgan k -bosqichda tizim qanday holatda bo'lishi mumkinligini aniqlaydi. S ning holatiga qarab, ushbu bosqichda x_k o'zgaruvchi bilan tavsiflangan, ma'lum cheklovlarni qondiradigan va ruxsat etilgan deb ataladigan ba'zi boshqaruv elementlarini qo'llash mumkin.

Aytaylik, X – tizimni S_0 holatdan S_n holatga o'tkazuvchi boshqaruv elementi, S_k esa – boshqaruvning k -qadamida tizimning holati bo'lsin. U holda tizim holatlarining ketma-ketligini 6.1-rasmda ko'rsatilgan graf ko'rinishida ifodalash mumkin.



6.1-rasm. Tizim holatlari grafi.

Har bir qadamda x_k boshqaruv harakatini qo'llash tizimni yangi $S^1(S, x_k)$ holatga o'tkazadi va qandaydir W natijani keltiradi. Har bir bosqichda mumkin bo'lgan har bir holat uchun barcha mumkin bo'lgan boshqaruv elementlari orasidan optimal boshqaruv x_k tanlanadi, bu k -qadamdan oxirgi n -qadamgacha bo'lgan qadamlar orasida optimal bo'ladi.

Ushbu natijaning miqdoriy xarakteristikasi Bellman funksiyasi $F_k(S)$ deyiladi va k qadam nomeri hamda S tizimning holatiga bog'liq bo'ladi. Dinamik dasturlash masalasi quyidagicha shakllantiriladi.

Tizimni boshlang'ich S_0 holatdan yakuniy S_n holatga o'tkazadigan shunday X^* boshqaruvni aniqlash kerak, bunda quyidagi maqsad funksiya eng katta (eng kichik) qiymatga ega bo'lsin:

$$F(S_0, X^*) \rightarrow \text{extr.} \quad (6.1)$$

Dinamik dasturlashning matematik modeli quyidagi xususiyatlarga ega:

1. Optimallashtirish masalasi chegaralangan ko'p qadamli boshqaruv jarayoni sifatida shakllantiriladi.

2. Maqsad funksiyasi (yutuq) additiv (yig'indi ko'rinishida) bo'lib, har bir qadamning maqsad funksiyalari yig'indisiga teng:

$$F = \sum_{k=1}^n F_k(S_{k-1}, x_k) \rightarrow \text{extr.} \quad (6.2)$$

3. Har bir qadamda x_k boshqaruvini tanlash faqat ushbu S_k qadamdagi tizimning holatiga bog'liq va oldingi qadamlarga ta'sir qilmaydi (teskari aloqa mavjud emas).

4. Boshqarishning har bir qadamidan keyin S_k tizimning holati faqat tizimning oldingi S_{k-1} holatiga va ushbu x_k boshqaruv harakatiga (oqibatlarning mavjud emasligi) bog'liq va quyidagi holat tenglamasi ko'rinishida yozilishi mumkin:

$$S_k = f(S_{k-1}, x_k), \quad k = 1, \dots, n. \quad (6.3)$$

5. Boshqarishning har bir qadamida x_k chekli sonli boshqaruv o'zgaruvchilariga, tizimning holati S_k esa chekli sonli parametrlarga bog'liq bo'ladi.

6. Optimal boshqaruv – bu qadamma-qadam optimal boshqaruvlar ketma-ketligi bilan aniqlangan X^* vektor hisoblanadi: $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_k^*, \dots, x_n^*)$ – masaladagin qadamlar miqdorini aniqlaydigan son.

6.4. Dinamik modellarning vektorli va matritsaviy shakli

Vaqtga bog'liq ravishda o'zgaruvchan va boshqarish mumkin bo'lgan jarayonni ko'ramiz. Bu jarayonni t -ta bosqichga ajratish mumkin bo'lsin deb faraz qilamiz. Jarayonning har bir t -bosqichining boshidagi holatini x_t vektor orqali belgilaymiz: $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})$.

Rivojlanish jarayonida sistemaning holati o'zgaradi. Uning x_{t-1} holatdan x_t holatga o'tishi u_t boshqarish ta'sir qiladi. Demak, x_t o'zgaruvchi x_{t-1} va u_t o'zgaruvchilarning funksiyasidan iborat bo'ladi, ya'ni: $x_t = \varphi(x_{t-1}, u_t)$, bu yerda u_t mumkin bo'lgan boshqarishlar to'plami G_t ga tegishli, ya'ni $u_t \in G_t$.

Sistemani eng yaxshi x_T holatga o'tishini ta'minlash uchun $f_T(x)$ maqsad funksiyani kiritamiz:

$$f_T(x) = \sum_{t=1}^T Z_t(x_{t-1}, x_t),$$

bu yerda, $Z_t = (x_{t-1}, u_t)$ sistemaning x_{t-1} holatdan x_t holatiga o'tishida hisoblanadigan va bu holatlarni solishtirib baholovchi funksiyadir.

Agar sistemaning t bosqichidagi holatlar to'plami $\bar{x}_t$, mumkin bo'lgan boshqarishlar to'plami G hamda sistemani bir holatdan ikkinchi holatga o'tkazish qoidasi va bu holatlarni solishtiruvchi funksiya $Z_t = (x_{t-1}, x_t)$ berilgan bo'lsa, T bosqichli sistema to'la aniqlangan bo'ladi. Bunday sistemani ifodalovchi dinamik dasturlash masalasi quyidagicha yoziladi.

Sistemani boshlang'ich holati x_0 ma'lum bo'lganda shunday $u_t = (u_1, u_2, \dots, u_T)$ strategiyani tanlash kerakki, u

$$x_t = \varphi(x_{t-1}, u_t); \quad x_t \in \bar{X}_t; \quad u_t \in G_t; \quad t = \overline{1, T} \quad (6.4)$$

shartlarni qanoatlantirib

$$f_T(x) = \sum_{t=1}^T Z_t(x_{t-1}, x_t) \quad (6.5)$$

funksiyaga ekstremal qiymat bersin.

(6.4) – (6.5) masalani yechishdan avval $G_T, G_{T-1,T}, \dots, G_{1,2,\dots,T} = G$ belgilashlarni kiritamiz. Bu yerda G_T – masalaning oxirgi T bosqichdagi aniqlanish sohasi, $G_{T-1,T}$ – T va $T-1$ bosqichlardagi aniqlanish sohasi, $G_{1,2,\dots,T} = G$ – berilgan masalaning aniqlanish sohasi.

Maqsad funksiyaning oxirgi bosqichdagi optimal qiymatini $f_1(x_{T-1})$ bilan belgilaymiz:

$$f_1(x_{T-1}) = \max(\min)_{u_{T-1}, G_T} [Z_T(x_{T-1}, u_T)] \quad (6.6)$$

Xuddi shuningdek, maqsad funksiyaning oxirgi T va $T-1$ qadamdagi shartli optimal qiymatini $f_2(x_{T-2})$ bilan belgilaymiz. U holda

$$f_2(x_{T-2}) = \max(\min)_{u_{T-2} \in G_{T-1,T}} [Z_{T-1}(x_{T-2}, u_{T-1}) + f_1(x_{T-1})] \quad (6.7)$$

$$f_3(x_{T-3}) = \max(\min)_{u_{T-3} \in G_{T-2,T-1,T}} [Z_{T-2}(x_{T-3}, u_{T-2}) + f_2(x_{T-2})] \quad (6.9)$$

Xuddi shuningdek,

$$f_k(x_{T-k}) = \max(\min)_{u_{T-k} \in G_{T-k+1,T-k,\dots,T}} [Z_{T-k+1}(x_{T-k}, u_{T-k+1}) + f_{k-1}(x_{T-k+1})], \quad (k = \overline{1, T-1}) \quad (6.10)$$

$$f_T(x_0) = \max(\min)_{u_1, G} [Z_1(x_0, u_1) + f_{T-1}(x_1)] \quad (6.11)$$

Bu yerda (6.6) – (6.10) ifodalar optimallik tamoyilining matematik formadagi yozilishidan iborat bo‘lib, ular “**Bellmannning funksional tenglamalari**” yoki “**Dinamik dasturlashning asosiy funksional tenglamalari**” deb ataladi.

Ushbu tenglamalar yordamida dinamik dasturlashning $T-1$ bosqichidagi yechimini so‘nggi T bosqichdagi yechimi orqali topiladi. Shuning uchun yuqoridagi munosabatlar **Bellmannning rekkurent munosabatlari** deb ataladi.

Nazorat savollari

1. Optimallik tamoyili nima?
2. Ko‘p bosqichli usul nimadan iborat?
3. Dinamik dasturlashning xususiyatlarini tushuntirib bering.
4. Bellmannning funksional tenglamalari qanday tuziladi?
5. Dinamik dasturlash asosida yechiladigan masalalarni tavsiflab

bering.

6. Dinamik dasturlash usulini tushuntirib bering.

7. Strategiya deb nimaga aytiladi?

8. Optimal strategiya qanday aniqlanadi?

9. Eng qisqa yo'lni tanlash masalasining mazmunini tushuntirib bering.

10. Boshqarish deganda nimani tushunasiz?

11. Dinamik dasturlashning xususiyatlarini tushuntirib bering.

12. Dinamik dasturlashda maqsad funksiyasining iqtisodiy mohiyati nimada?

13. Mahsulot ishlab chiqarish va saqlash masalasining mazmunini tushuntirib bering.

14. Dinamik dasturlash masalasini chiziqli dasturlash masalasiga aylantirish mumkinmi?

15. Sanoat birlashmasini optimal rejalashtirish masalasining mazmuni nimadan iborat?

VII-BOB. IQTISODIYOTDA O‘YINLAR NAZARIYASI USULLARI

REJA:

- 7.1. Iqtisodiyotda o‘yinlar nazariyasi elementlari.
- 7.2. Noaniqlik sharoitida shartlarni qabul qilish.
- 7.3. Matritsali o‘yinlarni simpleks usulida yechish.

7.1. Iqtisodiyotda o‘yinlar nazariyasi elementlari

O‘yinlar nazariyasining asosiy elementlari. Iqtisodiy masalalarni hal etishda ko‘pincha turli maqsadlarni ko‘zlagan ikki yoki undan ko‘p raqobatlashuvchi tomonlarning manfaatlari to‘qnash keluvchi vaziyatlarni tahlil qilishga to‘g‘ri keladi; u ayniqsa bozor iqtisodiyoti uchun xarakterlidir. Bunday vaziyatlar **nizoli** deb ataladi. Nizoli vaziyatlarning matematik nazariyasi **o‘yinlar nazariyasi** hisoblanadi. O‘yinda ikki (**juftlik o‘yini**) yoki bir nechta (**ko‘pchilik ishtirokidagi o‘yin**) raqiblar manfaatlari to‘qnash kelishi mumkin; cheksiz ko‘plikdagi o‘yinchilar ishtirok etgan o‘yinlar ham mavjud. Agar ko‘pchilikdagi o‘yinda o‘yinchilar koalitsiya tashkil qilsalar, bu o‘yin **koalitsion** deb nomlanadi; agar bunday koalitsiyalar ikkita bo‘lsa, o‘yin juftlikdagi o‘yin deb hisoblanadi.

Sanoat korxonalarida o‘yinlar nazariyasi optimal yechimlarni tanlashda, masalan, xomashyo, materiallar, yarim tayyor mahsulotlarning oqilona zaxiralarini yaratishda, ikki tendensiya: ishlab chiqarishning uzluksizligini ta’minlash uchun zaxiralarni kengaytirish va zaxiralarni saqlab turish xarajatlarini kamaytirish maqsadida ularning hajmini qisqartirish bir-biriga qarshi kurashganda qo‘llaniladi.

Bu kabi masalalarni hal etish ularning shartlari (**o‘yin qoidalari**) ni to‘liq belgilab olishni va aniq ifodalashni; o‘yinchilar sonini, o‘yinchilarning ehtimoliy strategiyalarini aniqlashni, ehtimoliy yutuqlarni (mag‘lubiyat salbiy yutuq sanaladi) belgilashni talab etadi. **Strategiya**, ya’ni o‘yindagi vaziyatdan kelib chiqqan holda muayyan

o'yinchi harakatlarining yagona maqsadli tanlovini belgilaydigan qoidalar majmui o'yinli masalalarning muhim qismi hisoblanadi. Agar o'yin davomida o'yinchi galma-gal bir nechta strategiyalarni qo'llasa, bunday strategiya **aralash** deb, uning elementlari esa – **sof** strategiya deb ataladi. Har bir o'yinchida strategiyalar soni cheklangan va cheklanmagan bo'ladi, shunga asoslangan holda o'yinlar **cheklangan** va **cheklanmagan** turlarga bo'linadi.

O'yinlar nazariyasida **optimal strategiya, o'yin qiymati, o'rtacha yutuq** tushunchalari muhimdir. Bu tushunchalar **o'yin yechimini** aniqlashda aks etadi: birinchi va ikkinchi o'yinchining P^* va Q^* strategiyalari muvofiq ravishda ularning **optimal strategiyalari** deb nomlanadi, V soni esa – **o'yin qiymati** deb nomlanadi, agar: birinchi o'yinchining har qanday P strategiyalari va ikkinchi o'yinchining har qanday Q strategiyalari uchun

$$M(P, Q) \leq V \leq M(P^*, Q^*), \quad (7.1)$$

tengsizligi amalga oshirilsa. Bunda, agar birinchi va ikkinchi o'yinchilar tomonidan muvofiq ravishda P va Q strategiyalari tanlangan bo'lsa, $M(P, Q)$ birinchi o'yinchi yutug'ining (o'rtacha yutug'ining) matematik taxminini anglatadi.

O'yinlarning asosiy turlaridan biri **matritsali o'yinlar** deb nomlanuvchi **bolga teng summali** juftlik o'yinlari (bir o'yinchi qancha yutqizsa, boshqa o'yinchi shuncha yutadi) sanaladi, shu shart bilanki, har bir o'yinchi cheklangan miqdorda strategiyalarga ega bo'ladi. Bu holatda juftlik o'yini shaklan $A = (a_{ij})$ matritsasi bilan beriladi, undagi a_{ij} elementlari birinchi o'yinchining yutug'ini (tegishli ravishda ikkinchisining mag'lubiyatini) ifodalaydi, agar birinchi o'yinchi i strategiyasini ($i = \overline{1, m}$), ikkinchi o'yinchi esa – j strategiyasini ($j = \overline{1, n}$) tanlasa. A matritsasi **o'yin matritsasi** yoki **to'lov matritsasi** deb nomlanadi.

O'yinlar nazariyasining vazifasi o'yinchilar uchun tavsiyalar ishlab chiqish, ya'ni ular uchun optimal strategiyani belgilashdan iborat. **O'yinchi strategiyasi** deb o'yin jarayonida vujudga kelgan

vaziyatdan kelib chiqqan holda o'yinchining har bir yurishdagi xatti-harakatini aniq belgilab beruvchi qoidalar tizimiga aytiladi. **Optimal strategiya** deb o'yinning ko'p bora takrorlanishida muayyan o'yinchini erishish ehtimoli eng yuqori bo'lgan o'rtacha yutuq bilan ta'minlovchi strategiyaga aytiladi.

Har bir o'yinchida strategiyalar soni **cheklangan** yoki **cheksiz** bo'lishi mumkin, shundan kelib chiqqan holda o'yinlar cheklangan va cheklanmagan turlarga bo'linadi.

Cheklangan nizoli vaziyat ning eng sodda matematik modelini ko'rib chiqamiz, bunda ikkita ishtirokchi bo'lib, birining yutug'i ikkinchisining mag'lubiyatiga teng. Bunday model **ikki shaxsning nolga teng summali antagonistik o'yini** deb ataladi.

7.2. Noaniqlik sharoitida shartlarni qabul qilish

O'yinda birinchi va ikkinchi o'yinchilar qatnashadilar, ularning har biri boshqasidan mustaqil ravishda 1, 2 va 3 sonlarini yozishi mumkin. Agar o'yinchilar yozgan ushbu raqamlar o'rtasidagi farq musbat bo'lsa, bunda birinchi o'yinchi raqamlar o'rtasidagi farqqa teng ochkoni qo'lga kiritadi. Agar farq nolga teng bo'lsa, o'yin durrang bilan tugaydi.

Birinchi o'yinchida uchta strategiya (harakat varianti) bo'lsin: A_1 (1 raqamini yozish) A_2 (2 raqamini yozish) A_3 (3 raqamini yozish); ikkinchi o'yinchida ham uchta strategiya mavjud: V_1 , V_2 , V_3 (7.1-jadval).

7.1-jadval

	$V_1=1$	$V_2=2$	$V_3=3$
$A_1=1$	0	-1	-2
$A_2=2$	1	0	-1
$A_3=3$	2	1	0

O'yinni matritsa shaklida tasavvur qilish mumkin, bunda qatorlar birinchi o'yinchining strategiyalari, ustunlar ikkinchi o'yinchining strategiyalari, matritsa elementlari esa – birinchi o'yinchining yutuqlari hisoblanadi. Bunday matritsani **to'lov matritsasi** deb ataydilar.

Berilgan misol uchun to'lov matritsasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{vmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{vmatrix}.$$

Umumiy vaziyatda nolga teng summali juflik o'yinini to'lov matritsasi orqali ifodalash mumkin

$$(a_y)_{m \times n} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}.$$

Har bir o'yinchining vazifasi o'yinning eng yaxshi strategiyasini topishdir, bunda raqiblar ham birdek ongli va ularning har biri eng yuqori daromad olish uchun barcha choralarni ko'radi, deb taxmin qilinadi.

Birinchi o'yinchining eng yaxshi strategiyasini topamiz: α_{ij} minimal sonini har bir qatorda α_i ($i = 1, m$) qilib belgilaymiz.

$$\alpha_i = \min a_{ij},$$

α_i ni, ya'ni A_i ning turli strategiyalaridagi minimal yutuqlarni bilgan holda birinchi o'yinchi α_i maksimal bo'lgan strategiyani tanlaydi, shunda

$$\alpha_i = \max \min a_{ij}$$

α miqdori – birinchi o'yinchi o'zi uchun ta'minlashi mumkin bo'lgan kafolatlangan yutuq **o'yinning quyi qiymati** (maksimin) deb ataladi.

Xuddi shunday, ikkinchi o'yinchining eng yaxshi strategiyasini belgilash uchun ustunlar bo'yicha yutuqning maksimal ifodasini topamiz va ulardan eng minimal ifodani tanlab, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\beta = \max \min a_{ij},$$

bu yerda, β – ***o‘yinning yuqori qiymati*** (minimaks).

Agar ikkinchi o‘yinchi o‘zining minimaks strategiyasiga tayanadigan bo‘lsa, har qanday holatda β dan oshiqqa yutqazmasligi kafolatlangan.

Matritsali o‘yin uchun quyidagi tengsizlik haqqoniydir:

$$\alpha \leq \beta.$$

Agar $\alpha = \beta$ bo‘lsa, bunday o‘yin ***egarsimon nuqtali o‘yin*** deb, optimal strategiyalar juftligi $(A_{iopt} V_{jopt})$ esa – ***matritsaning egarsimon nuqtasi*** deb nomlanadi.

Bu holatda $a_{ij} = v$ elementi o‘yin qiymati deb ataladi va bir vaqtning o‘zida ham i qatorida, ham j ustunida minimal hisoblanadi.

Agar o‘yin egarsimon nuqtaga ega bo‘lsa, u sof strategiyalarda hal etiladi.

7.3. Matritsali o‘yinlarni simpleks usulida yechish

O‘yinlar nazariyasi chiziqli dasturlash bilan yaqin aloqadadir, chunki ikki shaxsning nolga teng summali cheklangan o‘yini chiziqli dasturlash masalasi sifatida taqdim etilishi va simpleks usulida hal etilishi mumkin. Shuningdek, aksincha, chiziqli dasturlashga oid har bir masala ikki shaxsning nolga teng summali cheklangan o‘yini sifatida ko‘rilishi mumkin.

Quyidagi to‘lov matritsasiga ega ikki shaxs o‘yini berilgan:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{vmatrix}$$

Ikkinchi o‘yinchining sof strategiyalari – $L(x) = v \rightarrow \max$ dan kelib chiqqan holda quyidagi chegaraviy shartlar bilan birinchi o‘yinchi uchun matematik modelni tuzamiz:

$$x_j \geq 0, j = 1, n.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}x_1/v + a_{12}x_2/v + \dots + a_{1n}x_n/v \geq 1, \\ a_{21}x_1/v + a_{22}x_2/v + \dots + a_{2n}x_n/v \geq 1, \\ \\ a_{m1}x_1/v + a_{m2}x_2/v + \dots + a_{mn}x_n/v \geq 1, \\ x_1/v + x_2/v + \dots + x_n/v = 1/v, \end{array} \right.$$

$X_1 = x/v$, $v \rightarrow \max$ bo'lsa, $1/v \rightarrow \min$ deb hisoblab, quyidagi chegaraviy shartlarda $L(X) = X_1 + X_2 + \dots + X_m \rightarrow \min$ ko'rinishidagi chiziqli dasturlash masalasini olamiz:

$$X_i \geq 0, i = 1, m.$$

101

masalalarda harakat amalga oshiriladigan sharoit (ob-havo, xaridor talabi va h.k.) haqidagi ma'lumotning yo'qligi tufayli yuzaga kelgan noaniqlik mavjud bo'ladi. Bu sharoitlar boshqa o'yinchining ongli harakatlaridan emas, obyektiv voqelikdan kelib chiqadi. Bunday o'yinlar **“tabiat” bilan o'yin** deb nomlanadi. Inson “tabiat” bilan o'yinlarda ehtiyotkorlik bilan harakat qilishga intiladi, ikkinchi o'yinchi (tabiat, xaridor talabi) tasodifiy harakat qiladi.

Birqator mezonlar borki, ular optimal strategiyani tanlashda qo'llaniladi. Ulardan ba'zilarini ko'rib chiqamiz.

1. *Vald mezon*. Maksimin strategiyasini qo'llash tavsiya qilinadi. U

$$\max \max a_{ij}$$

sharti orqali erishiladi va o'yinning quyi qiymatiga mos keladi. Mezon pessimistik bo'lib, unda tabiat inson uchun eng noxush uslubda harakat qiladi, deb hisoblanadi.

2. *Maksimum mezon*. U quyidagi shart orqali tanlanadi:

$$\max \max a_{ij}$$

Mezon optimistik bo'lib, unda tabiat inson uchun juda qulay bo'ladi, deb hisoblanadi.

3. *Gurvits mezon*. Mezon quyidagi formula orqali belgilanadigan strategiyani taklif etadi:

$$\max \{ \alpha \min a_{ij} + (1 - \alpha) \max a_{ij} \},$$

bu yerda, α – optimizm darajasi bo'lib, $[0, 1]$ oraliqda o'zgaradi.

Mezon bir qadar oraliq mavqeni egallaydi – tabiatning ham eng yomon, ham eng yaxshi harakati ehtimolini hisobga oladi. $\alpha=1$ bo'lganda mezon Vald mezoniga, $\alpha=0$ da esa – maksimum mezoniga aylanadi. α ga strategiyani tanlash bo'yicha qaror qabul qiluvchi shaxsning javobgarligi darajasi ta'sir ko'rsatadi. Yanglish qarorlar oqibatlari, binobarin, o'z ehtiyotini qilib qo'yish istagi qanchalik ko'proq bo'lsa, shunchalik α birga yaqin bo'ladi.

4. *Sevij mezon*. Mezonning mohiyati o'zi sabab bo'lishi mumkin bo'lgan haddan tashqari katta yo'qotishlarga yo'l qo'ymaydigan strategiyani tanlashdan iboratdir. Xatarlar matritsasi mavjud bo'lib,

uning elementlari tabiatning har bir holati uchun eng yaxshi strategiyani tanlamasa, inson (firma) qanday zarar ko'rishni mumkinligini ko'rsatadilar.

Xatarlar matritsasining (r_{ij}) elementi quyidagi formula orqali topiladi:

$$r_{ij} = \max a_{ij} - a_{ij},$$

bu yerda, $\max a_{ij}$ – boshlag'ich matritsa ustunidagi maksimal element.

Optimal strategiya quyidagi ifodadan olinadi:

$$\min\{\max(\max a_{ij} - a_{ij})\}.$$

Nazorat savollari

1. O'yinlar nazariyasining predmeti nimadan iborat?
2. Juftlik o'yin nima?
3. Sof strategiyani izohlab bering.
4. O'yinning qanday turlari mavjud?
5. Aralash strategiyani tushuntirib bering.
6. Matritsali o'yinlarni chiziqli dasturlash usuliga keltirishni izohlab bering.
7. Simpleks usulida o'yinlar nazariyasi masalalarini yechish usullarini tushuntirib bering.
8. Yutuqlar matritsasi qanday mahnoga ega?
9. Tabiat bilan o'yin deganda qanday o'yinlar tushuniladi?
10. Sevidj mezonining mohiyatini izohlang.
11. O'yinning yuqori bahosi qanday aniqlanadi?
12. Gurvits mezonining mohiyatini izohlang.
13. Vald mezonining mohiyatini tushuntirib bering.
14. To'lovlar matritsasi nima? Uni qanday hisoblash mumkin?
15. O summal o'yinning ma'nosini tushuntirib bering.

VIII-BOB. IQTISODIYOTDA TARMOQLI USULLARDAN FOYDALANISH

REJA:

- 8.1. Tarmoqli rejalashtirish va boshqarish modellari.**
- 8.2. Tarmoqli rejalashtirish masalasining algoritmi.**
- 8.3. Tarmoqli grafiklar parametrlarini hisoblash qoidalari.**
- 8.4. Tarmoqli grafiklar parametrlarini hisoblashning analitik usuli.**
- 8.5. Tarmoqli modellarda “kritik yo‘l”.**

8.1. Tarmoqli rejalashtirish va boshqarish modellari

Iqtisodiy-matematik usullar va modellar milliy iqtisodiyotning barcha tarmoq va sohalarida iqtisodiy jarayonlar va ko‘rsatkichlarni modellashtirishga qaratilgan bo‘lib, ulardan asosiysi hozirgi vaqtda dolzarb bo‘lgan loyihalarga bag‘ishlangan.

Ma‘lumki, iqtisodiy rivojlanish avvalo iqtisodiyotda kapital jamg‘arishga asoslanadi. Bu shuni ko‘rsatadiki, kapital jamg‘arish, milliy iqtisodiyotning barcha tarmoqlarida yangi ishlab chiqarish va xizmat ko‘rsatish obyektlarini qurishi va ularni ishga tushirish bilan bog‘liq.

Tarmoqli tahlil (setevoy analiz) – loyiha xarakteridagi, ya‘ni qoidaga ko‘ra operatsiyalari takrorlanmaydigan ishlarni rejalashtirish usulidir. Ushbu usuldan operatsiyalarni bajarishning kalendar rejasini tuzishda, qurilish ishlarining bajarilishini rejalashtirishda ko‘proq foydalaniladi.

Tarmoqli tahlil usullari katta miqdordagi o‘zaro bog‘liq operatsiyalarni o‘z ichiga olgan loyihalarni tahlil etishga imkon beradi. Ushbu usullar yordamida ishlar bajarilishining davom etish ehtimolligini, ularning qiymatini, vaqt va pul mablag‘larini tejash kabi ko‘rsatkichlarni hisoblash mumkin.

Loyihani tahlil etish bosqichlari:

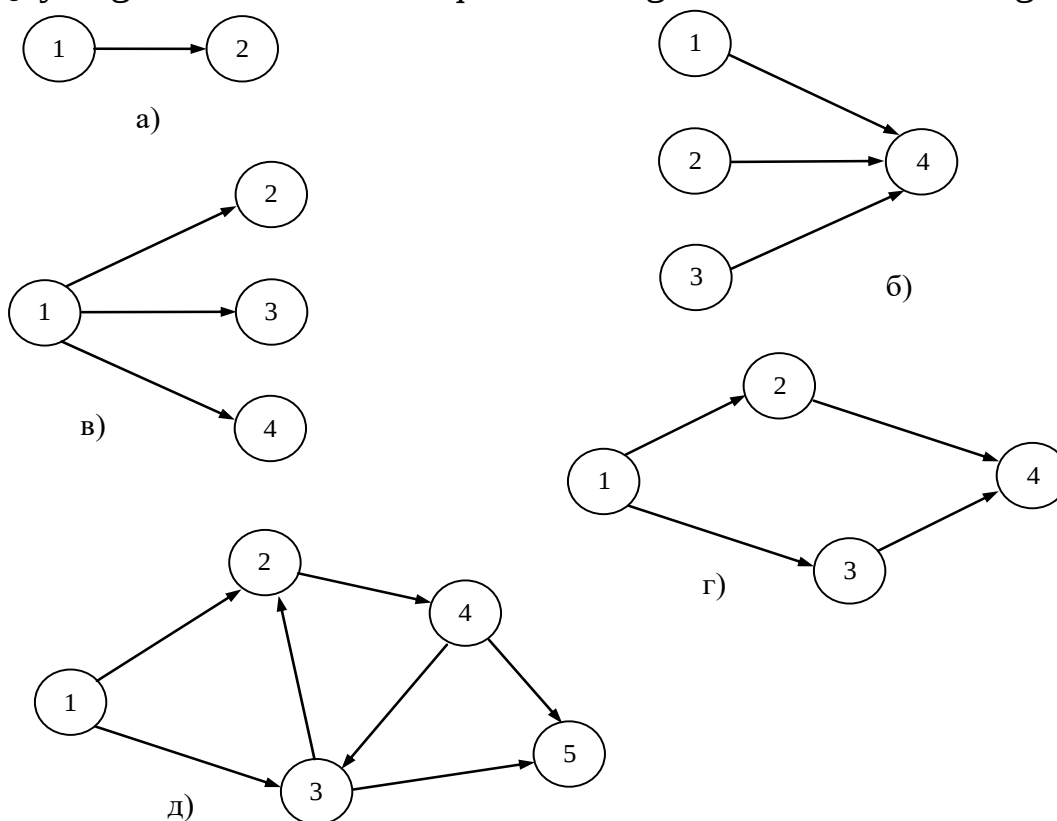
1. Loyihani bir qator alohida ishlarga (yoki operatsiyalarga) bo‘lish, so‘ngra ulardan mantiqiy sxema tuziladi.

2. Har bir operatsiyani bajarilishi davomiyligini baholash. Loyihani amalga oshirishning kalendar rejasini tuzish.

3. Har bir operatsiyaning resurslarga bo'lgan talabini baholash.

Tarmoqli model asosan grafikni tashkil etib, ma'lum texnologik jarayonlar bo'ladigan jami ishlarning ketma-ket yoki parallel bajarilishini grafik ravishda ifodalashi mumkin. Masalan, rejalashtirish, murakkab kompleks ishlarni bajarish, inshootlar qurilishining hisob ishlarini bajarish kabi ishlar tarmoqli modellar yordamida amalga oshirilib, grafik shaklida ifodalanishi mumkin. Grafik shaklida ikki mantiqiy element – ish va hodisa tarmoqli modelni tashkil qiladi. Grafikda hodisalar aylana bilan, ishlar esa strelka bilan ifodalandi. Odatda, hodisalar «*uskunalar sozlanib bo'ldi*», «*dvigatel o'rnatildi*» yoki «*qurilayotgan inshoot bitdi*» kabi iboralar bilan ifodalanadi. Tarmoqli grafikda «*uskunani sozlash tugallanganicha yo'q*», «*qurilayotgan fundament hali bitmadi*» kabi noaniq iboralar qo'llanilmaydi.

Quyidagi 8.1-rasmda tarmoqli modellarga oid misollar keltirilgan.



8.1-rasm. Tarmoqli modellarning ko'rinishi.

8.2. Tarmoqli rejalashtirish masalasining algoritmi

Tarmoqli grafik asosan quyidagi uchta talabga javob berishi kerak:

1. Har qanday ikkita hodisa orasida faqat bitta ish bajarilishi lozim.

2. Tarmoqli grafikda hodisalarga boshqa birorta ish kirmasligi (dastlabki ishdan tashqari) kerak, shuningdek, hodisalardan boshqa birorta ish chiqmaydigan (tugallangan ishdan tashqari) bo'lishi kerak.

3. Tarmoqli grafikda berk kontur deb ataluvchi kontur bo'lmasligi, ya'ni bitta yo'l ikki marta bir xil hodisadan o'tmasligi kerak. Ba'zi bir texnologik jarayonlarni ketma-ket ishlashda yo'l qo'yilgan xato bo'lsa, tarmoqli grafik qo'llanilganda yo'l qo'yilgan xato aniqlanadi.

Bajariladigan ishlar oddiy bo'lsa, yuqorida ko'rib o'tgan grafik usuli yordamida rejalashtiriladi. Agarda bajariladigan kompleks ishlar murakkab bo'lsa (ayrim hollarda ishlar soni va mantiqiy aloqalar mingdan va undan ortiq bo'lishi mumkin), albatta EHM yordamida hal qilinishi uchun ishlarning aniq ketma-ketligi yoki algoritmi tuzib olinadi.

Tarmoqli grafikning algoritmini tuzish uchun quyidagi 8.1-jadvaldan foydalanamiz.

8.1-jadval

Tarmoqli grafikni tuzish uchun ma'lumotlar

№	a_i ish	Qaysi ishga asoslanib bajariladi	t_i vaqt
1	a_1	-	t_1
2	a_2	-	t_2
3	a_3	-	t_3
4	a_4	a_1, a_2	t_4
5	a_5	a_1, a_3, a_4	t_5
6	a_6	a_2, a_3	t_6
7	a_7	a_4	t_7
8	a_8	a_4, a_5	t_8
9	a_9	a_4, a_5, a_6	t_9
10	a_{10}	a_6, a_7, a_8, a_9	t_{10}

Bu jadvalda bajariladigan ishlar va bu ishlar qaysi ishlarga asoslanib bajarilishi hamda har bir ish uchun ketadigan vaqt aniq ko'rsatilgan.

8.1-jadvaldagi bajariladigan ishlar va ular orasidagi aloqalarning matematik formulasini yozib olamiz. Buning uchun belgilashlar kiritamiz.

Bunda a_i ish bajarilishining minimal boshlanish vaqtini τ_i bilan, ishning minimal tugash vaqtini esa T_i bilan belgilab olamiz. Har qanday ishning minimal tugash vaqti

$$T_i = \tau_i + t_i$$

formula bilan aniqlanadi. Bu yerda, t_i — a_i ishning bajarilishi uchun ketgan vaqt bo'yicha aniqlanadi.

Mana shu ifoda yordamida hamma kompleks ishlarda bo'ladigan mantiqiy aloqalarni formulalar bilan ifodalaymiz. Aytaylik, a_i ish a_j , a_l , a_k ishlarga asoslanib bajarilsin. U holda a_i ish faqat a_j , a_l , a_k bajariladi. Bu aloqani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\tau_i = \max\{T_j, T_l, T_k\}.$$

Bu formulani har bir ish uchun ketma-ket ravishda tatbiq qilib, barcha ishlarning minimal tamom bo'lish vaqtini (T) aniqlaymiz.

8.3. Tarmoqli grafiklar parametrlarini hisoblash qoidalari

Tarmoqli grafik asosiy parametrlari bo'lib quyidagilar hisoblanadi:

t_{ij} — ij ishning bajarilish davomiyligi;

t_{ij}^{PH}, t_{ij}^{PO} — ij ishning mumkin bo'lgan erta boshlanishi va erta tugashi vaqtlari;

t_{ij}^{PH}, t_{ij}^{PO} — ij ishning mumkin bo'lgan kech boshlanishi va kech tugashi vaqtlari;

S_{kr} — kritik yo'l uzunligi;

R_{ij} – ij ishning to‘liq vaqt rezervi;

r_{ij} – ij ishning xususiy vaqt rezervi.

Tarmoqli grafiklarning parametrlarini hisoblash uchun har bir ishning bajarilish vaqtini bilish kerak. Ishning bajarilish vaqtini aniqlashga yondashuvga qarab, deterministik va stoxastik tarmoqli grafiklarni ajratish mumkin.

Tarmoqli grafikning ishlash muddati mavjud normalar va standartlar asosida belgilangan bo‘lsa, bunday tarmoqli grafik deterministik deb ataladi. Agar normalar va standartlar bo‘lmasa, u holda ishning davomiyligi ekspert tomonidan aniqlanadi. Bunday grafiklar stoxastik deb ataladi.

Ishning aniqlik darajasiga, ishlanmaning yangiligiga qarab, ikki va uch xonali baholardan foydalanish mumkin.

Ikki xonali baholashda ekspertlar minimal $t_{ij}^{\min}$ va ishni bajarish uchun maksimal $t_{ij}^{\max}$ vaqtni aniqlaydilar.

Ishni bajarilishining o‘rtacha davomiyligi quyidagi formula bo‘yicha aniqlanadi:

$$\bar{t}_{ij} = \frac{3t_{ij}^{\min} + 2t_{ij}^{\max}}{5}. \quad (8.1)$$

Uch xonali baholashda ishni bajarish uchun mumkin bo‘lgan vaqt (t_{nv}) qo‘shiladi. Hisoblash formulasi quyidagicha:

$$\bar{t}_{ij} = \frac{t_{ij}^{\min} + 4t_{ij} + t_{ij}^{\max}}{6}. \quad (8.2)$$

Ishni bajarish vaqtining ko‘rsatilgan ekspert baholariga ega bo‘lgan holda, noaniqlik o‘lchovini, ya’ni σ^2 dispersiyani aniqlash mumkin:

$$\sigma^2 = \left(\frac{t_{ij}^{\max} - t_{ij}^{\min}}{6} \right)^2. \quad (8.3)$$

Deterministik tarmoqli grafiklar uchun ishning bajarilish vaqti aniq ma’lum, mos ravishda esa dispersiya nolga teng. Yetarlicha ko‘p sonli ishlar bilan tasdiqlash mumkin va kam sonli ishlar bilan faqat har qanday yo‘lning umumiy davomiyligi, shu jumladan kritik yo‘lning normal taqsimot qonuniga ega ekanligini taxmin qilish mumkin. Kritik yo‘l

uzunligining o‘rtacha qiymati uni tashkil etuvchi ishlarning davomiy-
ligining o‘rtacha qiymatlari yig‘indisiga teng.

$$\bar{T}_{kr} = \bar{t}_{1-2} + \bar{t}_{2-3} + \bar{t}_{3-5} + \bar{t}_{5-7} + \bar{t}_{7-9} + \dots + \bar{t}_{n-z} \dots \quad (8.4)$$

Loyihani bajarish vaqtining dispersiyasi kritik ishlarni bajarish
vaqtining dispersiyalari yig‘indisiga teng:

$$\sigma_{loyiha} = \sigma_{1-2} + \sigma_{2-3} + \sigma_{3-5} + \sigma_{5-7} + \sigma_{7-9} + \dots + \sigma_{n-z} \dots \quad (8.5)$$

Tarmoqli grafiklar parametrlarini hisoblashning 3 xil usuli mavjud:

- analitik;
- jadval;
- grafik.

8.4. Tarmoqli grafiklar parametrlarini hisoblashning analitik usuli

Tarmoqli grafiklar parametrlarini analitik hisoblash uchta bos-
qichda amalga oshiriladi.

1-bosqich. Birinchi bosqichda ishlarning erta boshlanishi va erta
tugallanishi hamda kritik yo‘l uzunligi hisoblanadi.

Erta boshlanish vaqtlari chapdan o‘ngga yo‘nalishda olib boriladi.

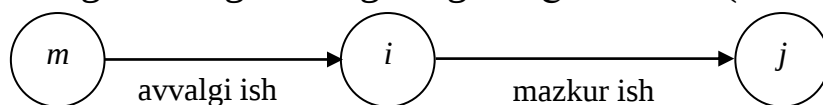
Boshlang‘ich (dastlabki) hodisadan kelib chiqadigan ish uchun erta
boshlanish vaqti nolga teng deb qabul qilinadi:

$$t_{dastlab, hodisa}^{PH} = 0. \quad (8.6)$$

Ishning bajarilish davomiyligini va ushbu ishni erta boshlash
mumkinligini bilib, uni erta tugatish vaqtini aniqlash mumkin:

$$t_{ij}^{PO} = t_{ij}^{PH} + t_{ij}. \quad (8.7)$$

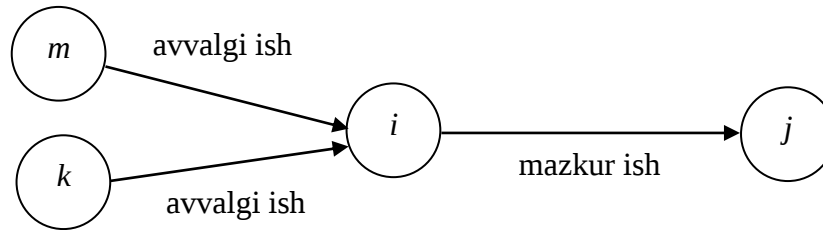
Agar berilgan ij ishning faqat bitta oldingi ishi bo‘lsa, uning erta
boshlanishi avvalgi ishning erta tugashiga to‘g‘ri keladi (8.2-rasm).



8.2-rasm. Ishlarning erta boshlanishini hisoblash.

$$t_{ij}^{PH} = t_{ij}^{PO}. \quad (8.8)$$

Agar berilgan ij ish ikki yoki undan ortiq oldingi ishlarga ega bo'lsa, uning erta boshlanishi avvalgilarining maksimal erta tugashi sifatida aniqlanadi (8.3-rasm).



8.3-rasm. Ikkita oldingi ishlarga ega ishlarning erta boshlanishini hisoblash.

$$t_{ij}^{ph} = \max \{t_{mi}^{po}; t_{ki}^{po}\} \quad (8.9)$$

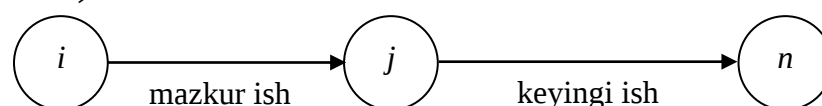
Agar ishlar bir xil voqeadan chiqsa, ular erta boshlanish vaqti bir xil bo'ladi. Kritik yo'lining uzunligi yakuniy hodisaga kiritilgan ishlarning maksimal muddatidan oldin bajarilishi sifatida belgilanadi va shu bilan birga, kritik yo'lining uzunligi barcha yakuniy ishlarning ruxsat etilgan kech bajarilishini belgilaydi.

$$S_{kp} = \max \{t_{hodisa.tug}^{po}; t_{ish.tug}^{no}\} \quad (8.10)$$

2-bosqich. Ikkinchi bosqichda ishning boshlanishi va tugashining kech muddatlari hisoblab chiqiladi va hisoblash oxirgi hodisadan boshlang'ich hodisagacha bo'lgan yo'nalishda amalga oshiriladi. Ishning ruxsat etilgan kech boshlanishi ij quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$t_{ij}^{nh} = t_{ij}^{no} - t_{ij}. \quad (8.11)$$

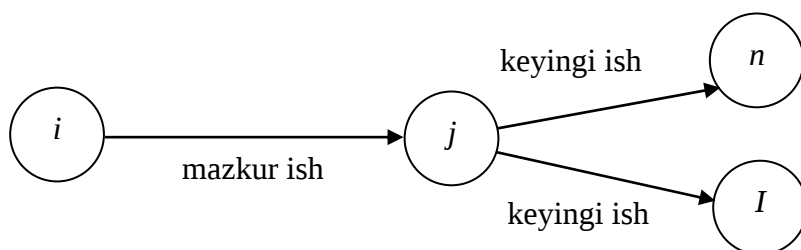
Agar berilgan ij ishning faqat bitta keyingi ishga ega bo'lsa, u holda uning kech tugashi keyingi ishning kech boshlanishiga to'g'ri keladi (8.4-rasm).



8.4-rasm. Ishlarning kech tugashini hisoblash.

$$t_{ij}^{no} = t_{ij}^{mh}. \quad (8.12)$$

Agar mazkur ij ishda bir nechta keyingi ishlar bo'lsa, u holda ishlarning kech tugashi, keyingi ishlarning kech boshlanishining minimali bilan aniqlanadi (8.5-rasm).



8.5-rasm. Ikkita keyingi ishlarga ega ishlarning kech tugashini hisoblash.

$$t_{ij}^{no} = \{t_{in}^{mh}; t_{jI}^{mh}\} \quad (8.13)$$

Agar ij ishning erta boshlanishi ($t_{ij}^{ph} = t_{ij}^{mh}$) ning kech boshlanishiga va ij ishning erta tugashi ($t_{ij}^{po} = t_{ij}^{no}$)ning kech tugashiga to'g'ri kelsa, bunday ish kritik yo'lga tegishlidir. Kritik yo'l kompleks ishlarni bajarish uchun zarur bo'lgan minimal vaqtni ko'rsatadi.

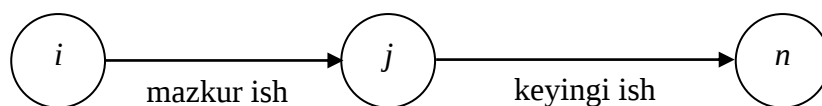
3-bosqich. Uchinchi bosqichda to'liq va xususiy vaqt rezervlari aniqlanadi.

Ko'rib chiqilayotgan ij ishning to'liq rezerv vaqti (R_{ij}) – bu vaqt zaxirasi bo'lib, bunda ish boshlanishini surish yoki uni bajarish muddatini Δ miqdorga oshirish mumkin, bularga qaramasdan kritik yo'lining uzunligi o'zgarmay qoladi.

Ko'rib chiqilayotgan ij ishning to'liq rezerv vaqti ishlarning boshlanishi yoki tugallanishi orasidagi farq kabi aniqlanadi:

$$R_{ij} = t_{ij}^{mh} - t_{ij}^{ph} = t_{ij}^{no} - t_{ij}^{po}. \quad (8.14)$$

Xususiy rezerv vaqti (r_{ij}) – ish boshlanishini o'zgartirish yoki uning davomiyligini oshirish mumkin bo'lgan vaqt zaxirasi, shu bilan birga keyingi ishning erta boshlanishi o'zgarishsiz qoladi. Xususiy rezerv vaqti keyingi ishning erta boshlanishi va joriy ishning erta tugashi o'rtasidagi farq sifatida aniqlanadi (8.6-rasm).



8.6-rasm. Qisman vaqt rezervini hisoblash.

$$r_{ij} = t_{ij}^{ph} = t_{ij}^{po}. \quad (8.15)$$

Agar mazkur ishda na qisman, na to'liq zaxira bo'lmasa, u holda ushbu ish kritik yo'lga tegishlidir.

8.5. Tarmoqli modellarda “kritik yo'l”

Endi “kritik yo'l” usulini ko'rib o'tamiz. (**CPM – Critical Path Method**). Bu usul asosida yangi mahsulotni yaratish, bino va inshootlar qurilishi, murakkab uskunani ta'mirlash masalalarini yechish mumkin. Loyihani amalga oshirishda ishlarni bajarish grafigi tuziladi. Bunda murakkab omil bo'lib, ishlarning o'zaro bog'liqligi hisoblanadi. Ayrim ishlar boshqa ishlarning bajarilishiga bog'liq va boshqa ishlar bajarilmasdan turib ushbu ishlar boshlanmaydi. “Kritik yo'l” usulining asosiy sharti bo'lib, har bir ishni bajarish vaqti aniq hisoblanadi.

“Kritik yo'l” usulini qo'llash uchun dastlabki qadam bo'lib, loyihani bajariladigan ishlar va ularning o'zaro bog'liqligi ko'rinishida ifodalab olinadi. Loyihani ifodalash uchun **jadval** va **grafik** usullaridan foydalaniladi.

“Kritik yo'l” usulini qo'llash uchun quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

i va j – loyiha cho'qqilari yoki hodisalar, (i,j) – loyiha ishi, s – “loyiha boshlanishi” hodisasi, f – “loyiha tugallanishi” hodisasi, T – kritik yo'l uzunligi bo'lsin.

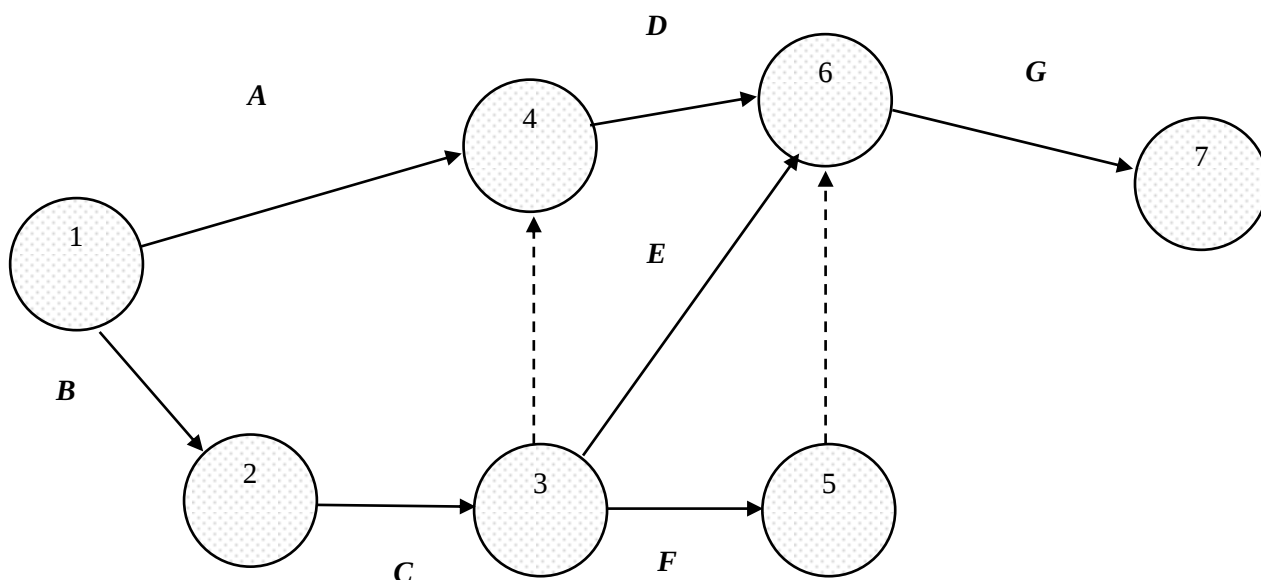
$t(i,j)$ – (i,j) ishlarni bajarish vaqti;

$ES(i,j)$ – (i,j) ishlarni eng erta boshlash vaqti;

$EF(i,j)$ – (i,j) ishlarni eng erta tugallash vaqti;

$LS(i,j)$ – (i,j) ishlarni eng kech boshlash vaqti;

$LF(i,j)$ – (i,j) ishlarni eng kech tugallash vaqti;
 E_i – i – hodisani eng erta boshlanish vaqti;
 L_i – i – hodisani eng kech boshlanish vaqti;
 $R(i,j)$ – (i,j) ishlarni bajarishga vaqtning to‘liq rezervi;
 $r(i,j)$ – (i,j) ishlarni bajarishga vaqtning erkin rezervi.



8.7-rasm. Tarmoqli grafik.

Ta'riflar:

Yo'l – loyihaning bir cho'qqisidan boshqa cho'qqisiga olib boruvchi o'zaro bog'liq ishlar ketma-ketligidir.

Yo'l uzunligi – yo'ldagi barcha ishlar bajarilishining summar davomiyligidir.

Kritik yo'l – barcha ishlar bajarilishining summar davomiyligi eng katta bo'lgan yo'l.

“Kritik yo'l” yoki **(CPM – Critical Path Method)** usuli quyidagi matematik munosabatlarni ifodalaydi:

– s loyihaning boshlang'ich cho'qqisidan chiquvchi istalgan (s,j) ish uchun:

$$ES_{(s,j)} = 0 \quad (8.16)$$

– istalgan (i,j) ishning tugallanishining eng erta vaqti ushbu ishni bajarishga ketgan eng erta boshlanish vaqtidan oshib ketadi:

$$EF_{(i,j)} = ES_{(i,j)} + t_{(i,j)} \quad (8.17)$$

– (q,j) ishning eng erta boshlanish vaqti undan oldin keluvchi ishning eng erta tugallanishining eng katta qiymatiga teng:

$$ES_{(q,j)} = \max_j EF_{(i,q)} = E_q \quad (8.18)$$

– kritik yoʻlining uzunligi loyiha tugallanishining eng erta tugash vaqtiga teng:

$$T = \max_i EF_{(i,j)} = E_j \quad (8.19)$$

– loyihani yakunlovchi istalgan ishning eng kech tugash vaqti kritik yoʻl uzunligiga teng:

$$LF_{(i,j)} = T \quad (8.20)$$

– istalgan ishning boshlanishini eng kech vaqti ushbu ishning tugallanishining eng kech tugash vaqtidan kichikdir:

$$LS_{(i,j)} = LF_{(i,j)} - t_{(i,j)} = L_j - t_{(i,j)} \quad (8.21)$$

– (i,q) ishning tugashining eng kech vaqti undan keyin keluvchi ishning eng kech boshlanishi vaqtining eng kichik qiymatiga teng:

$$LF_{(i,q)} = \min_j LS_{(q,j)} = L_q \quad (8.22)$$

– istalgan ishni bajarish uchun vaqtning toʻliq rezervi ishning eng kech boshlanishi va eng erta boshlanishi vaqtining farqiga teng:

$$R_{(i,j)} = LS_{(i,j)} - ES_{(i,j)} = LF_{(i,j)} - EF_{(i,j)} = L_j - t_{(i,j)} - L_i \quad (8.23)$$

– istalgan ishni bajarish uchun boʻsh vaqt rezervikeyingi hodisani eng kech boshlanish vaqti va ishning eng erta tugashi vaqti oʻrtasidagi farqqa teng:

$$r_{(i,j)} = L_j - ES_{(i,j)} - t_{(i,j)} = L_j - EF_{(i,j)} = L_j - E_i - t_{(i,j)} \quad (8.24)$$

Nazorat savollari

1. Tarmoqli rejalashtirish modellaridan qaysi holatlarda foydalaniladi?
2. Kritik yoʻl qanday topiladi?
3. Kritik yoʻl uzunligi nimaga teng?

4. Ishni bajarish vaqti qanday aniqlanadi?
5. Yo‘l deb nimaga aytiladi?
6. Tarmoqli modellarga misollar keltiring.
7. Tarmoqli modellashtirishning xususiyatlarini izohlab bering.
8. Kritik yo‘l nima va u qanday hisoblanadi?
9. Berk kontur nima va undan foydalanish mumkinmi?
10. Loyihani tahlil etish bosqichlarini izohlang.
11. Tarmoqli grafik qanday talablarga javob berishi kerak?
12. Tarmoqli modelda vaqtning to‘liq rezervi qanday aniqlanadi?
13. Butun kompleks ishlarning tugash vaqti nimaga teng?
14. O‘zaro bog‘liq operatsiyalar yig‘indisi nima deyiladi? Izohlab bering.
15. Tarmoqli grafda kritik yo‘l bitta bo‘ladimi?

IX-BOB. ISHLAB CHIQUARISH FUNKSIYALARI

REJA:

9.1. Ishlab chiqarish funksiyasi to‘g‘risida tushunchalar.

9.2. Ishlab chiqarish funksiyalari turlari va xususiyatlari.

9.3. Kobb-Duglas ishlab chiqarish funksiyasi va uning xarakteristikalar.

9.1. Ishlab chiqarish funksiyasi to‘g‘risida tushunchalar

Tarixiy jihatdan ishlab chiqarish funksiyasini tuzish va undan foydalanish bo‘yicha dastlabki ilmiy ishlardan biri – bu AQSH da qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishi samaradorligini tahlili bo‘yicha qilingan. 1909-yilda Mitcherlix tomonidan “mineral o‘g‘it – hosildorlik” munosabati o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlovchi egri chiziqli ishlab chiqarish funksiyasi taklif etilgan. Unga bog‘liq bo‘lmagan holda Spillman tomonidan hosildorlikning ko‘rsatkichli funksiyasi taklif etilgan. Keyinchalik ular asosida qishloq xo‘jaligi uchun bir qator agrotexnik ishlab chiqarish funksiyalari tuzilgan.

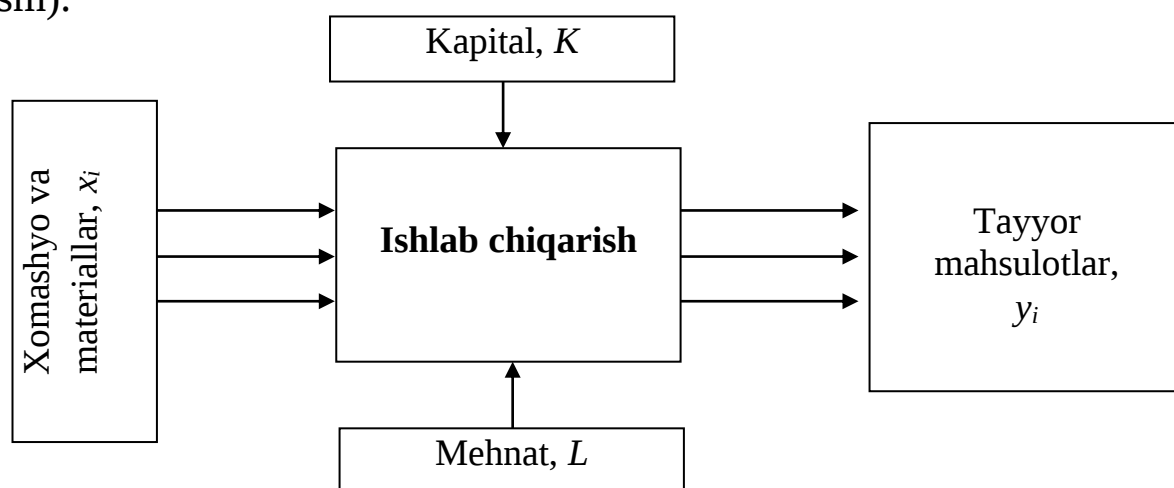
Ishlab chiqarish funksiyasi nazariyasining asoschisi bo‘lib Knut Viksel hisoblanadi, ammo u 1928-yil P.Duglas va Ch.Kobb tomonidan har tomonlama tekshirilgandan keyin iqtisodiyotga tatbiqi boshlandi. Hozirgi ko‘rinishdagi ishlab chiqarish funksiyasining asoschilari bo‘lib, amerikalik iqtisodchi Pol Duglas va matematik Charlz Kobb hisoblanadi. Ular iqtisodiyotni soddalashgan holda tasavvur qilish maqsadida mahsulot ishlab chiqarish – jalb qilingan mehnat miqdori va kapital hajmiga bog‘liq deb faraz qilishgan. Ular tomonidan chop etilgan “Ishlab chiqarish nazariyasi” nomli maqolada ishlab chiqarish funksiyasining nazariy asoslari va matematik ilovalari keltirilgan. Ushbu maqolada AQSH qayta ishlash sanoatida ishlab chiqarilayotgan mahsulot hajmiga sarflanadigan kapital va mehnatning ta‘sirini empirik yo‘l bilan aniqlash masalalari ko‘rib chiqilgan. Keyinchalik

ushbu funksiya Kobb-Duglas ishlab chiqarish funksiyasi nomi bilan butun iqtisodiyotni tadqiq qilishda qo'llanila boshladi.

Ishlab chiqarish funksiyasi (ICHF) – bu ishlab chiqariladigan mahsulot miqdori va ushbu mahsulotni ishlab chiqarishga sarflandigan resurslar o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalovchi matematik funksiyadir.

Ushbu funksiyada bog'liq o'zgaruvchi bo'lib – ishlab chiqariladigan mahsulotlar hajmi miqdori bo'lsa, bog'liq bo'lmagan o'zgaruvchilar bo'lib esa – sarflanadigan yoki foydalaniladigan resurslar hajmi qiymatlari hisoblanadi.

Umumiy holda soddalashtirib ishlab chiqarish jarayonini quyidagi “qora quti” sxemasi ko'rinishda ifodalash mumkin (9.1-rasm).



9.1-rasm. Ishlab chiqarish jarayonining “qora quti” sxemasi.

Ishlab chiqarish jarayoni – bu xomashyo va materiallar (x_i), kapital (K) va mehnatni (L) ma'lum bir texnologiya asosida birlashtirib, tayyor mahsulotlar ishlab chiqarish jarayonidir. Bunda jarayonga kirishlar, xomashyo va materiallar (x_i), kapital (K) va mehnat (L) bo'lsa, chiqishlar esa – tayyor mahsulotlar (y_i) bo'ladi.

Umumiy holda ishlab chiqarish funksiyasi quyidagi ko'rinishda ifodalanishi mumkin:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (9.1)$$

bu yerda, $x_1, x_2, \dots, x_n$ – sarflanayotgan yoki foydalanilayotgan resurslar qiymatlari; y – ishlab chiqarilayotgan mahsulot hajmi.

$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ko‘rinishdagi ishlab chiqarish funksiyasining analitik shakli va resurslarni tanlash **ishlab chiqarish funksiyasini spetsifikatsiyalash** deyiladi.

Real va ekspert ma’lumotlarini model uchun axborotga aylantirish, ya’ni statistik ma’lumotlar asosida regressiya tahlili usuli yordamida $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n, a_1, a_2, \dots, a_m)$ ishlab chiqarish funksiyasidagi $a_1, a_2, \dots, a_m$ parametrlarning sonli qiymatlarini hisoblash $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n, a_1, a_2, \dots, a_m)$ **ishlab chiqarish funksiyasini parametrlash** deyiladi.

Ishlab chiqarish funksiyasini o‘rganilayotgan real jarayonga adekvatligini (mosligini) tekshirish **ishlab chiqarish funksiyasini verifikatsiyalash** deyiladi.

Ishlab chiqarish funksiyasida omillar sifatida quyidagi o‘zgaruvchilar qatnashishi mumkin:

- 1) ishlab chiqarilgan mahsulot hajmi (natural yoki qiymat shaklida);
- 2) asosiy kapital yoki asosiy fondlar hajmining qiymati;
- 3) mehnat resurslari yoki mehnat xarajatlari hajmi (ishchilar soni yoki ishlangan kishi/kunlar miqdori);
- 4) elektr energiyasi sarflari;
- 5) ishlab chiqarishda foydalanilayotgan uskunalar soni va boshqalar.

Ishlab chiqarish funksiyasi ayrim xo‘jalik birliklari, alohida firma, tarmoq yoki butun milliy iqtisodiyotdagi ishlab chiqarish jarayonlarini modellashtirish uchun mo‘ljallangan.

Ishlab chiqarish funksiyalari yordamida quyidagi masalalarni yechish mumkin:

- ishlab chiqarish jarayonida resurslar qaytimini baholash;
- iqtisodiy o‘rishni prognozlash;

– ishlab chiqarishni rivojlantirish strategiyalari variantlarini ishlab chiqish;

– berilgan mezon sharti va resurslar chegaralanganligi bo'yicha xo'jalik birliklari ishlab chiqarish faoliyatini optimallashtirish.

Ishlab chiqarish funksiyalari qaysi ishlab chiqarishni ifodalashiga bog'liq bo'lmagan holda quyidagi umumiy xususiyatlarga ega:

1) ishlab chiqarish hajmini faqat bitta resurs xarajati evaziga oshirish o'zining chegarasiga ega;

2) ishlab chiqarish omillari o'zaro to'ldiruvchi (ishchilar va uskunalar) va o'zaro almashinuvchi (ishlab chiqarishni avtomatlash-tirish) bo'ladi.

Ishlab chiqarish funksiyasini tuzishdan maqsad – ishlab chiqarish jarayoni natijalariga turli xil omillar ta'sirining darajasi va xarakterini miqdoriy baholash va o'lchasdan iborat. Ishlab chiqarish funksiyasi apparatidan foydalanishning eng muhim yo'nalishlaridan biri – ishlab chiqarish jarayonida foydalanilayotgan resurslar samaradorligini tahlil qilish hisoblanadi.

Ishlab chiqarish funksiyalari yordamida mehnat, ishlab chiqarish fondlari, tabiiy va boshqa resurslar sarflari samaradorligini alohida emas, balki ularning birgalikdagi samaradorligini, resurslarning o'zaro almashish chegaralarini aniqlash, ishlab chiqarishning pirovard natijalari nuqtayi nazaridan resurslarning optimal proporsiyalarini tadqiq qilish mumkin.

Ishlab chiqarish faoliyatining pirovard natijalarini prognozlash instrumenti sifatida ishlab chiqarish funksiyalari muhim rol o'ynaydi. Ishlab chiqarishda resurslar samaradorligi va miqdoriy o'sishini, innovatsion rivojlanish darajasi va turini tahlil qilish asosida ishlab chiqarish funksiyalari asosiy makroiqtisodiy indikatorlar bilan bir qatorda xususiy samaradorlik ko'rsatkichlarining prognoz qiymatlarini yaqin kelajakka va uzoq istiqbolga hisoblashga imkon beradi.

9.2. Ishlab chiqarish funksiyalari turlari va xususiyatlari

Ishlab chiqarish funksiyalarining oddiy turlaridan biri – bu bir omilli ishlab chiqarish funksiyalaridir. Ushbu funksiyalarda bog‘liq o‘zgaruvchi bo‘lib, ishlab chiqarish hajmi y hisoblanadi, u esa o‘z navbatida yagona bog‘liq bo‘lmagan x o‘zgaruvchiga bog‘liq bo‘ladi. Bog‘liq bo‘lmagan o‘zgaruvchi sifatida umumiy ishlab chiqarish xarajatlari bo‘lishi mumkin.

Bir omilli ishlab chiqarish funksiyalariga quyidagilar kiradi:

1) Chiziqli bir omilli ishlab chiqarish funksiyasi $y=a_0+a_1x$. Ushbu funksiya ishlab chiqariladigan mahsulot hajmini ma’lum resurs xarajatlari miqdoriga bog‘liqligini ifodalaydi.

Chiziqli bir omilli ishlab chiqarish funksiyasi quyidagi xususiyatlar bilan xarakterlanadi:

a) agar bog‘liq bo‘lmagan o‘zgaruvchi x ning qiymati nolga teng bo‘lsa, u holda ishlab chiqarish hajmi nolga teng bo‘lmaydi, chunki $y=a_0$ ($a_0>0$);

b) ma’lum x resurs xarajatlarining doimiy a_1 ($a_1>0$) miqdorga ortishi bilan, ishlab chiqariladigan mahsulot hajmi y chegaralanmagan holda o‘sadi.

2) Parabola ko‘rinishidagi bir omilli ishlab chiqarish funksiyasi $y_i=a_0+a_1x+a_2x^2$ ($a_0>0$, $a_1>0$, $a_2>0$).

Parabola ko‘rinishidagi bir omilli ishlab chiqarish funksiyasining xususiyati shundaki, x resurs xarajatlarining ortishi bilan ishlab chiqariladigan mahsulot y boshida qandaydir maksimal miqdorgacha ortadi, keyin esa nolgacha pasayadi.

3) Darajali bir omilli ishlab chiqarish funksiyasi $y=a_0 \cdot x^{a_1}$ ($a_0>0$, $a_1>0$). Mazkur funksiyaning xususiyati shundaki, ma’lum x resurs xarajatlarining ortishi bilan, mahsulot ishlab chiqarish hajmi y chegaralanmagan miqdorda o‘sib boradi.

4) Ko‘rsatkichlari bir omilli ishlab chiqarish funksiyasi $y=a_0-k \cdot a_1^x$ ($a_1>0$). Mazkur funksiyaning xususiyati shundaki, ma’lum x

resurs xarajatlarning ortishi bilan mahsulot ishlab chiqarish hajmi y ham ortib boradi va a_0 qiymatga intiladi.

5) Giperbola ko'rinishidagi bir omilli ishlab chiqarish funksiyasi $y = a_0 + \frac{a_1}{x}$. Ushbu funksiyadan ishlab chiqarish hajmi y ning qandaydir x resurs xarajatlari o'rtasidagi bog'liqlikni o'rganishda foydalanilmaydi. Chunki, x resurs xarajatlari ortib borishi bilan mahsulot ishlab chiqarish hajmi y kamayib boradi. Bu esa mantiqqa to'g'ri kelmaydi.

Ikki omilli ishlab chiqarish funksiyalari mahsulot ishlab chiqarish hajmining ma'lum ikki turdagi omillarga bog'liqligini xarakterlaydi. Ko'p hollarda ushbu omillar bo'lib, asosiy kapital hajmi va mehnat resurslari miqdori hisoblanadi. Ikki omilli ishlab chiqarish funksiyalariga ko'p hollarda Kobb-Duglas va Solou funksiyalari kiradi.

Ko'p omilli ishlab chiqarish funksiyalari $f(x_i)$ ($i=1,2,\dots,n$) ko'rinishida bo'ladi. Ko'p omilli ishlab chiqarish funksiyalari mahsulot ishlab chiqarish hajmining n ta omilga bog'liqligini ko'rsatadi.

Iqtisodiy jarayonlarni modellashtirishda asosan ikki omilli ishlab chiqarish funksiyalaridan foydalaniladi. Ikki omilli ishlab chiqarish funksiyalari turlari va ularning xususiyatlarini ko'rib chiqamiz.

1. O'zgarmas proporsiyali omilli funksiya (Leontev ishlab chiqarish funksiyasi) quyidagi ko'rinishga ega:

$$y = \min \left\{ \left(\frac{x_1}{a_1} \right)^m, \left(\frac{x_2}{a_2} \right)^m \right\}.$$

Bunday turdagi funksiyaning ajratishning bir necha alternativ tizimlari ma'lum:

a) $m=1$ bo'lganda birinchi omilning chekli unumdorligi pastki darajasi nolga teng bo'lgan x_1/x_2 nisbat bo'yicha o'smaydigan o'zgarmas ikki darajali funksiyadir. Ikkinchi omilning chekli unumdorligi – pastki darajasi nolga teng bo'lgan x_1/x_2 nisbat bo'yicha kamaymaydigan o'zgarmas funksiyadir.

b) $m=1$ bo'lganda mazkur funksiya quyidagi ko'rinishdagi matematik dasturlash masalasini yechishni ko'rsatadi:

$$Y \rightarrow \max ,$$

$$\begin{cases} a_1 y \leq x_1, \\ a_2 y \leq x_2. \end{cases}$$

bu yerda, y – optimallashtiriluvchi o‘zgaruvchi.

d) funksiya bir jinsli va omillarni almashish elastikligi nolga teng.

e) funksiyaning quyidagi ko‘rinishdagi almashtirishning doimiy elastikligi funksiyasidan $\rho \rightarrow +\infty$ chekli o‘tish yo‘li orqali olish mumkin:

$$Y = \left(\left(\frac{x_1}{a_1} \right)^{-\rho} + \left(\frac{x_2}{a_2} \right)^{-\rho} \right)^{-\frac{m}{\rho}}$$

2. Multiplikativ funksiya, Kobb-Duglas funksiyasi

$$y = a_0 \cdot x_1^\alpha \cdot x_2^\beta ,$$

bu yerda Kobb-Duglas ko‘rinishidagi funksiyalar sinfini aniqlovchi ikki o‘zgaruvchi bo‘yicha ikki marta differensiallashuvchi bir necha shartlar tizimidan foydalaniladi:

a) omillar bo‘yicha ishlab chiqarish elastikligi doimiydir:

$$E_{x_1}^y = \alpha ,$$

$$E_{x_2}^y = \beta .$$

Ushbu differensial tenglamalar tizimining birinchi tartibli xususiy hosilalari bo‘yicha yechimi bo‘lib, Kobb-Duglas funksiyasi sinfi hisoblanadi;

b) omillardan bittasi bo‘yicha funksiya elastikligi o‘zgarmas va funksiya bir jinsli hisoblanadi:

$$E_{x_1}^y \equiv \alpha , E_{x_2}^y \equiv \beta ,$$

$$E_{x_1}^y + E_{x_2}^y = \alpha + \beta = m .$$

d) funksiya bir jinsli va omillarning almashish elastikligi birga teng:

$$\sigma(x_1, x_2) = \sigma = 1 .$$

e) har bir omilning chekli unumdorligi uning o‘rtacha unumdorligiga proporsional:

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = \alpha \frac{y}{x_1}, \quad \frac{\partial y}{\partial x_2} = \beta \frac{y}{x_2}.$$

f) har qanday o‘zgarmas x_2 da x_1 bo‘yicha funksiya bir jinsli;

g) funksiyaning quyidagi ko‘rinishdagi almashtirishning doimiy elastikligi funksiyasidan $\rho \rightarrow 0$ chekli o‘tish yo‘li orqali olish mumkin:

$$y = a(\alpha x_1^{-\rho} + \beta x_2^{-\rho})^{-\frac{1}{\rho}}.$$

3. Chiziqli funksiya

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

Ushbu funksiya uchun shartlar:

a) omillarning chekli unumdorligi o‘zgarmas

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = a_1, \quad \frac{\partial y}{\partial x_2} = a_2.$$

va $a_0=0$ bo‘lganda funksiya nol qiymatga ega bo‘ladi;

b) $a_0=0$ bo‘lganda funksiya bir jinsli birinchi darajadagi funksiya:

$$E_{x_1}^y + E_{x_2}^y = 1.$$

d) funksiya bir jinsli va omillar almashish elastikligi cheksiz:

$$\sigma = \sigma(x_1, x_2) = \infty.$$

e) $a_0=0$ bo‘lganda omillar bo‘yicha elastiklik ushbu omillarning o‘rtacha unumdorligiga proporsionaldir:

$$E_{x_1}^y = a_1 : (y / x_1) = \frac{a_1 x_1}{y}, \quad E_{x_2}^y = a_2 : (y / x_2) = \frac{a_2 x_2}{y}.$$

Chiziqli ishlab chiqarish funksiyasining iqtisodiy mohiyati shundaki, u omillar o‘zaro almashinuvchi ishlab chiqarishni ifodalaydi, ya’ni ishlab chiqarish jarayonida faqat mehnatdan yoki faqat kapitaldan foydalanishning farqi yo‘q. Ammo, real hayotda bunday holat mavjud emas, har qanday uskunaga ham inson xizmat ko‘rsatadi.

Funksiyadagi x_1 va x_2 o'zgaruvchilar oldida turgan a_1 va a_2 ko'effitsiyentlar proporsiyalarni ko'rsatadi, bitta omil boshqasini almashtirishni ko'rsatadi. Masalan, agar $a_1=a_2=1$ bo'lsa, bir xil hajmdagi mahsulot ishlab chiqarish uchun mehnat sarflarining 1 soati, mashinalar ishlashining 1 soati bilan almashtirilishi mumkin.

Shuni qayd qilish kerakki, xo'jalik faoliyatining ayrim turlarida kapital bilan mehnat bir-birini umuman almashtirmasligi mumkin va o'zgarmas proporsiyalarda foydalanishlari lozim: 1 ta ishchi – 2 ta stanok, 1 ta avtobus – 1 ta haydovchi. Bu holda omillarni almashtirish elastikligi nolga teng, ishlab chiqarish texnologiyasi esa Leontev ishlab chiqarish funksiyasi bilan ifodalanadi.

4. Allen funksiyasi

$$y = a_0 x_1 x_2 - a_1 x_1^2 - a_2 x_2^2$$

qat'i quyidagi shart bilan beriladi:

– chekli unumdorliklar o'sish tezligi o'zgarmas va funksiya bir jinsli:

$$\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right) / \frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} = -2a_1, \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right) / \frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} = -2a_2, E_{x_1}^y + E_{x_2}^y = 2$$

Allen funksiyasi $a_1, a_2 > 0$ bo'lganda har qanday omilning haddan ortiq o'sishi ishlab chiqarish hajmiga salbiy ta'sir etishini ifodalovchi ishlab chiqarish jarayonlari uchun mo'ljallangan. Odatda, bunday funksiya resurslarni qayta ishlashda chegaralangan imkoniyatga ega bo'lgan kichik ko'lamdagi ishlab chiqarish tizimlarini ifodalash uchun qo'llaniladi.

5. Omillarni almashishining o'zgarmas elastikli funksiyasi (CES funksiyasi):

$$y = a(b_1 x_1^{-\rho} + b_2 x_2^{-\rho})^{-m/\rho}.$$

Shartlar: funksiya bir jinsli va omillar almashish elastikligi doimiy:

$$\sigma = \sigma(x_1, x_2) = \frac{1}{1+\rho}.$$

6. Omillar almashishining to'g'ri chiziqli elastikli funksiyasi (LES funksiyasi):

$$y = x_1^\alpha (a_1 x_1 + a_2 x_2)^\beta.$$

Shartlar: funksiya bir jinsli va omillar almashish elastikligi yagona ozod had bilan omillar nisbati chiziqli funksiya hisoblanadi:

$$\sigma(x_1, x_2) = 1 + c \frac{x_1}{x_2},$$

bu yerda $c = \frac{a_1}{a_2} + \frac{a_1}{a_2} \cdot \frac{\beta}{\alpha}$.

7. Solou yoki Xilxorst funksiyasi:

$$y = a(b_1 x_1^\alpha + b_2 x_2^\beta)^\gamma.$$

shu bilan xarakterlanadiki, har qanday omilning 1 foizga ortishi natijasida kelib chiqadigan omillar almashishi chekli normasining foizli o'zgarish qiymati omillarning dastlabki darajasiga bog'liq emas:

$$\frac{\partial \ln h_{12}}{\partial \ln x_1} = \alpha - 1, \quad \frac{\partial \ln h_{12}}{\partial \ln x_2} = 1 - \beta.$$

Demak, yuqorida keltirilgan har bir ishlab chiqarish funksiyasi qo'llanishi ishlab chiqarish xarakteri, ko'lami va boshqa bir qator omillarga bog'liq ekan.

Yuqorida keltirilgan ishlab chiqarish funksiyalarining qo'llanish sohalari quyidagi 9.1-jadvalda keltirilgan

9.1-jadval

Ishlab chiqarish funksiyalarining qo'llanish sohalari

ICHF nomi	ICHFning matematik shakli	Qo'llanish sohasi
1. O'zgarmas proporsiyali omilli funksiya (Leontev ICHF)	$y = \min \left\{ \left(\frac{x_1}{a_1} \right)^m, \left(\frac{x_2}{a_2} \right)^m \right\}$	Mahsulot birligiga foydalaniladigan resurslarning texnologik normalardan og'ishiga yo'l qo'ymaslikda deterministik jarayonlarda foydalaniladi.

2. Multiplikativ funksiya, Kobb-Duglas funksiyasi (Kobb-Duglas ICHF)	$y = a_0 \cdot x_1^\alpha \cdot x_2^\beta$	Barqaror faoliyat olib borayotgan o'rta ko'lamdagi obyektlarni modellashtirishda foydalaniladi (sanoat obyektlaridan tarmoqlargacha).
3. Chiziqli funksiya (chiziqli ICHF)	$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$	Turli texnologiyalardan foydalanuvchi yirik ko'lamdagi obyektlarni modellashtirishda foydalaniladi.
4. Allen funksiyasi (Allen ICHF)	$y = a_0x_1x_2 - a_1x_1^2 - a_2x_2^2$	Bir omilning haddan ziyod ortishi ishlab chiqarishga salbiy ta'sir ko'rsatuvchi ishlab chiqarish jarayonlarini ifodalashda foydalaniladi. Odatda, kichik ko'lamdagi obyektlarda qo'llaniladi
5. Omillarni almashishining o'zgarmas elastikli funksiyasi (CES funksiyasi)	$y = a(b_1x_1^{-\rho} + b_2x_2^{-\rho})^{-m/\rho}$	Omillarni o'zaro almashishi bo'yicha ma'lumotlar mavjud bo'lmagan ishlab chiqarish jarayonlarida qo'llaniladi.
6. Omillar almashishining to'g'ri chiziqli elastikli funksiyasi (LES funksiyasi)	$y = x_1^\alpha (a_1x_1 + a_2x_2)^\beta$	Proporsiyalari turli almashtirish qiymatlariga ega bo'lgan jarayonlarda qo'llaniladi
7. Solou yoki Xilxorst funksiyasi (Solou ICHF)	$y = a(b_1x_1^\alpha + b_2x_2^\beta)^\gamma$	Omillarni o'zaro almashish bo'yicha ma'lumotlar mavjud bo'lmagan ishlab chiqarish jarayonlarida qo'llaniladi.

Yuqorida keltirilgan ishlab chiqarish funksiyalari ishlab chiqarish xarakteri va uning ko‘lamlaridan kelib chiqib tanlanadi.

9.3. Kobb-Duglas ishlab chiqarish funksiyasi va uning xarakteristikalar

Ishlab chiqarish jarayonlarida foydalanilayotgan resurslar samaradorligini aniqlashda ikki omilli ishlab chiqarish funksiyalaridan foydalaniladi. Umumiy holda ushbu jarayonlarni tadqiq qilishda Kobb-Duglas ishlab chiqarish funksiyasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$f(x_i) = A \cdot \prod_{i=1}^n x_i^{\alpha_i},$$

bu yerda, a – funksiyaning sonli parametri;

x_i – ishlab chiqarish funksiyasining i -omili yoki i -argumenti;

α – i -argument daraja ko‘rsatkichi;

Π – ko‘paytirish operatori.

Kobb-Duglas funksiyasining ko‘p ishlatiladigan shakli bo‘lib, funksiyaning ikki omilli $f(K,L)$ varianti hisoblanadi.

Ta’rif. Kobb-Duglas ishlab chiqarish funksiyasi (ICHF) – bu sof mahsulot (sof daromad) ishlab chiqarish hajmining foydalanilgan kapital va mehnat resurslari (ulardan foydalanish xarajatlari) miqdoriga bog‘liqligini ifodalovchi va multiplikativ shaklga ega funksiyadir. Kobb-Duglas ICHF quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$y = f(x_1, x_2) = A \cdot x_1^{\alpha} \cdot x_2^{\beta}$$

yoki

$$y = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta}, \quad (9.2)$$

bu yerda, A – doimiy koeffitsiyent bo‘lib, ishlab chiqarishda foydalaniladigan K va L omillarning birgalikdagi samaradorligini ko‘rsatadi, $A > 0$,

A, α, β – doimiy koeffitsiyentlar bo‘lib, ishlab chiqarishda foydalaniladigan har bir resursning alohida samaradorligini ko‘rsatadi ($\alpha, \beta > 0, \alpha + \beta = 1$),

K – ishlab chiqarishda foydalanilayotgan kapital miqdori yoki kapital uchun to‘lov,

L – ishlab chiqarishda foydalanilayotgan mehnat resurslari miqdori yoki mehnat resurslari uchun to‘lov.

Kobb-Duglas ICHF da α , β parametrlar elastiklik koeffitsiyentlari deb ataladi. Ular α yoki β bir foizga o‘zgarganda y o‘rtacha qanchaga o‘zgarishini ko‘rsatadi.

Kobb-Duglas ICHF da darajalar ko‘rsatkichlari yig‘indisi 1 ga teng bo‘lsa, u holda uni boshqacha shaklda ham ifodalash mumkin:

$$\frac{Y}{L} = \frac{AK^\alpha L^\beta}{L} = \frac{AK^\alpha}{L^{1-\beta}} = \frac{AK^\alpha}{L^\alpha} = A\left(\frac{K}{L}\right)^\alpha, \text{ yoki } \frac{Y}{L} = A\left(\frac{K}{L}\right)^\alpha.$$

Yuqorida qayd etilganidek, Kobb-Duglas ICHFda elastiklik koeffitsiyentlari α yoki β bir foizga o‘zgarganda yo‘rtacha qanchaga o‘zgarishini ko‘rsatadi. Ishlab chiqarish hajmining kapital (K) va mehnat resurslari miqdori (L) bo‘yicha xususiy elastiklik koeffitsiyentlari quyidagicha topiladi:

Kapital (K) bo‘yicha xususiy elastiklik koeffitsiyenti:

$$E_K = \frac{\frac{\partial Y}{\partial K}}{\frac{Y}{K}} = \frac{\partial Y}{\partial K} \cdot \frac{K}{Y} = A\alpha K^{\alpha-1} L^\beta \cdot \frac{K}{AK^\alpha L^\beta} = \alpha.$$

Mehnat resurslari (L) bo‘yicha xususiy elastiklik koeffitsiyenti:

$$E_L = \frac{\frac{\partial Y}{\partial L}}{\frac{Y}{L}} = \frac{\partial Y}{\partial L} \cdot \frac{L}{Y} = A\beta K^\alpha L^{\beta-1} \cdot \frac{L}{AK^\alpha L^\beta} = \beta.$$

Demak, Kobb-Duglas ICHF da kapital (K) bo‘yicha ishlab chiqarish hajmining elastikligi o‘zgarmas miqdor α ga va mehnat resurslari miqdori (L) bo‘yicha elastikligi o‘zgarmas miqdor β ga teng ekan. Ya’ni ICHF dagi omillarning daraja ko‘rsatkichlari, ushbu omillarning elastiklik koeffitsiyentlari ekan.

Agar α ning qiymati β dan katta bo‘lsa, u holda ishlab chiqarish kapital sig‘imli va teskarisi bo‘lsa, sermehnat deb ataladi.

Kobb-Duglas ICHF masshtab samarasiga ega, ya'ni ishlab chiqarishda resurslar m martaga oshirilsa, ishlab chiqarish hajmi ham m martaga ortadi, ya'ni

$$m \cdot y = m \cdot f(K, L),$$

bu esa ekstensiv o'sish samarasini ko'rsatadi.

Shu bilan birga, Kobb-Duglas ICHF da α va β parametrlar yig'indisi 3 xil holda bo'lishi mumkin:

1) $\alpha + \beta = 1$ bo'lsa, ishlab chiqarish samaradorligi darajasi uning masshtabiga bog'liq bo'lmaydi. Resurslarning m barobarga ko'payishi ishlab chiqarish hajmining ham shunchaga ko'payishini anglatadi. Iqtisodiy jihatdan biror bir sohada yangi korxonaning ochilishi o'sha sohada ishlab chiqarish hajmining ortishiga olib keladi. Bu holda (9.2) funksiya birinchi darajali tenglikka ega bo'ladi.

2) $\alpha + \beta < 1$ bo'lsa, bir birlik mahsulotga sarflanadigan o'rtacha xarajatlar ortadi. Resurslarning m barobarga ko'payishi ishlab chiqarish hajmini m barobardan kam hajmda o'sishini ko'rsatadi.

3) $\alpha + \beta > 1$ bo'lsa, ishlab chiqarish masshtablari kengayishi bilan bir birlik mahsulotga sarflanadigan o'rtacha xarajatlar kamayadi. Resurslarning m barobarga ko'payishi ishlab chiqarish hajmini m barobardan ko'p o'sishini ko'rsatadi. Iqtisodiy jihatdan bu ishlab chiqarish masshtablarini kengayishini ijobiy samarasini aks ettiradi.

Kobb-Duglas ICHF asosida resurslardan foydalanishning o'rtacha va chekli samaradorlik ko'rsatkichlarini hisoblash mumkin.

O'rtacha mehnat unumdorligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\frac{y}{L} = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta-1}, \quad (9.3)$$

ushbu tenglama o'rtacha mehnat unumdorligini ifodalaydi, ya'ni har bir vaqt birligida bitta ishchiga to'g'ri keladigan o'rtacha mahsulot miqdorini ko'rsatadi. β koeffitsiyent birdan kichik bo'lgani uchun tenglamani daraja ko'rsatkichi manfiy qiymat hisoblanadi, bundan kelib chiqadiki, mehnat sarfining (L) ortishi, o'rtacha mehnat unumdorligini pasayishiga olib keladi.

O'rtacha fond qaytimi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\frac{y}{K} = A \cdot K^{\alpha-1} \cdot L^{\beta}, \quad (9.4)$$

ushbu tenglama o'rtacha fond qaytimini ifodalaydi, ya'ni har bir vaqt birligida bir birlik kapital tomonidan yaratiladigan o'rtacha mahsulot miqdorini ko'rsatadi. α koeffitsiyent birdan kichik bo'lgani uchun tenglamani daraja ko'rsatkichi manfiy qiymat hisoblanadi, bundan kelib chiqadiki, kapital sarfini (K) ortishi, o'rtacha fond qaytimining pasayishiga olib keladi.

Chekli mehnat unumdorligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\frac{\partial y}{\partial L} = \beta \cdot A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta-1} > 0. \quad (9.5)$$

Chekli mehnat unumdorligi bir birlik qo'shimcha mahsulot ishlab chiqarish uchun qancha qo'shimcha mehnat talab qilishini ko'rsatadi.

Chekli fond qaytimi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\frac{\partial y}{\partial K} = \alpha \cdot A \cdot K^{\alpha-1} \cdot L^{\beta} > 0. \quad (9.6)$$

Chekli fond qaytimi bir birlik qo'shimcha mahsulot ishlab chiqarish uchun qancha qo'shimcha fond talab qilishini ko'rsatadi.

Agar $\alpha, \beta \leq 1$ ekanligini hisobga olib, resurslar unumdorligining o'rtacha va chekli ko'rsatkichlarini taqqoslasak, resurslarning chekli ko'rsatkichlari o'rtacha ko'rsatkichlardan kichik ekanligini ko'rish mumkin:

$$\frac{\partial y}{\partial L} = \beta \cdot \frac{y}{L} \quad \text{va} \quad \frac{\partial y}{\partial K} = \alpha \cdot \frac{y}{K}$$

Eyler teoremasidan foydalanib yalpi mahsulotni omillar "ulushiga" ajratish mumkin:

$$y = \frac{\partial y}{\partial K} K + \frac{\partial y}{\partial L} L.$$

Ushbu tenglama yalpi mahsulotda har bir omil qo'shgan ulushini ko'rsatadi.

(9.2) funksiyasi uchun ishlab chiqarish fondlari bo'yicha mehnat sarfini almashtirishning chegaraviy me'yori quyidagicha aniqlanadi:

$$K = \left(\frac{y}{AL^\beta} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

Ishlab chiqarishda texnik taraqqiyotni hisobga olgan Kobb-Duglas ICHF quyidagi ko‘rinishga ega:

$$y = A \cdot K^\alpha \cdot L^\beta \cdot e^{\lambda t},$$

bu yerda, t – vaqt, λ parametri texnik taraqqiyot evaziga ishlab chiqarish hajmining qo‘shimcha o‘rishini ko‘rsatadi.

Endi Kobb-Duglas ICHF da A , α , β parametrlarning miqdoriy qiymatlarini aniqlaymiz. Buning uchun (9.2) multiplikativ funksiya-ning ikki tomonini logarifmlaymiz va natijada quyidagi ko‘rinishdagi additiv funksiya ega bo‘lamiz:

$$\ln y = \ln A + \alpha \cdot \ln K + \beta \cdot \ln L. \quad (9.7)$$

Ushbu funksiya-dagi noma'lum A , α , β parametrlarni aniqlash uchun eng kichik kvadratlar usulidan foydalanamiz. Natijada quyidagi ko‘rinishdagi normal tenglamalar tizimiga ega bo‘lamiz:

$$\begin{cases} n \cdot \ln A + \alpha \sum \ln K + \beta \sum \ln L = \sum \ln y \\ \ln A \cdot \sum \ln K + \alpha \sum (\ln K)^2 + \beta \sum (\ln K)(\ln L) = \sum (\ln y)(\ln K) \\ \ln A \cdot \sum \ln L + \alpha \sum (\ln K)(\ln L) + \beta \sum (\ln L)^2 = \sum (\ln y)(\ln L) \end{cases}$$

Ushbu tenglamalar tizimini Kramer usulidan foydalanib yechsak, noma'lum A , α , β parametrlarning miqdoriy qiymatlariga ega bo‘lamiz.

A , α , β parametrlarning hisoblangan qiymatlari asosida funksiyaning additiv ko‘rinishi olinadi. So‘ngra additiv funksiyaning ikkala tomonini potensirlash orqali darajali multiplikativ funksiya ega bo‘lamiz.

Nazorat savollari

1. Ishlab chiqarish funksiyalarini qo‘llashning sabablari nimada deb o‘ylaysiz?

2. Ishlab chiqarishning eng sodda “qora quti” sxemasini tushuntirib bering.

3. Ishlab chiqarish funksiyalarida qaysi turdagi omillar qatnashadi va ular qanday o'lchovlarda o'lchanadi?

4. Ishlab chiqarish funksiyasini verifikatsiyalash deganda nimani tushunasiz?

5. Ishlab chiqarish funksiyalari yordamida qanday masalalarni yechish mumkin?

6. Ishlab chiqarish funksiyasini tuzishdan maqsad nima?

7. Ishlab chiqarish funksiyasi xususiyatlarini tushuntirib bering.

8. Ishlab chiqarish funksiyasi turlarini yoritib bering.

9. O'zgarmas proporsiyali omilli funksiya (Leontev ICHF) ning xususiyatlari nimalardan iborat?

10. Nima uchun ishlab chiqarish jarayonlarini o'rganishda additiv funksiya o'rniga multiplikativ funksiyadan foydalaniladi?

11. Qaysi ishlab chiqarish jarayonlarida Allen ICHF dan foydalaniladi?

12. Kobb-Duglas ICHF ning ta'rifini aytib bering.

13. Kobb-Duglas ICHF da omillar elastiklik koeffitsiyentlari yig'indisi 1 dan katta bo'lsa, omillar samaradorligini tushuntirib bering.

14. Kobb-Duglas ICHF da masshtab samarasi deganda nima tushuniladi. Misol keltiring.

15. Kobb-Duglas ICHF yordamida resurslar bo'yicha qanday iqtisodiy ko'rsatkichlar hisoblanadi. Yoritib bering.

16. Kobb-Duglas ICHF da noma'lum parametrlar qaysi usul yordamida aniqlanadi?

X-BOB. IMITATION MODELASHTIRISH USULI

REJA:

10.1. Murakkab tizimlar va ularning xususiyatlari.

10.2. Kompyuterli modelashtirish. Imitation modelashtirish usuli.

10.3. Murakkab tizimlarning modellarini tuzish va tadqiq qilish.

10.1. Murakkab tizimlar va ularning xususiyatlari

Hozirgi kunda fanda “tizim” tushunchasi to‘liq aniqlanmagan. Tizimli tahlil va tizim muhandisligi bo‘yicha ko‘plab adabiyotlarda murakkab tizimlarning quyidagi asosiy xususiyatlari qayd etilgan:

1-xususiyat: Butunlik va aniqlik.

Murakkab tizim ko‘plab o‘zaro bog‘liq va o‘zaro ta’sir qiluvchi elementlarning mavjudligi bilan tavsiflangan elementlarning ajralmas to‘plami sifatida qaraladi.

Tadqiqotchi tizimni kichik quyi tizimlarga bo‘lishning subyektiv imkoniyatiga ega, ularning ishlash maqsadlari butun tizim faoliyatining umumiy maqsadiga bo‘ysunadi (tizimlarning maqsadga yo‘naltirilganligi). Maqsadga yo‘naltirilganlik va tasodifiy omillar ta’sirida muayyan maqsadga erishishga intiluvchi xatti-harakat (xulq-atvorni tanlash) tizimining amalga oshirish qobiliyati sifatida talqin etiladi.

2-xususiyat: Aloqalar.

Elementlar yoki ularning kuchidan oshib ketadigan xususiyatlari ushbu elementlarning ushbu tizimga (tashqi muhitga) kirmaydigan elementlar bilan bog‘lanishlari (munosabatlari) o‘rtasida sezilarli barqaror aloqalar (munosabatlar) mavjudligidir.

"Aloqalar" deganda elementlar va tashqi muhit, materiya, energiya, axborot almashinuvi amalga oshiriladigan virtual kanal tushuniladi.

3-xususiyat: Tashkil etish.

Xususiyat ma'lum bir tashkillashtirishning mavjudligi – elementlarning muhim aloqalarini shakllantirish, vaqt va makonda aloqalar va elementlarning tartibli taqsimlanishi bilan tavsiflanadi. Aloqalarni shakllantirishda tizimning ma'lum bir strukturasi hosil bo'ladi va elementlarning xossalari funksiyalarga (harakatlar, xatti-harakatlar) aylanadi.

Murakkab tizimlarni tadqiq qilishda odatda quyidagilar qayd etiladi:

- tizim tomonidan bajariladigan va ma'lum bir maqsadga erishishga qaratilgan funksiyaning murakkabligi;
- boshqaruvning mavjudligi, keng axborot tarmog'i va intensiv axborot oqimlarining mavjudligi;
- tashqi muhit bilan o'zaro ta'sirning mavjudligi va noaniqlik sharoitida ishlash va turli xil tabiatdagi tasodifiy omillarning ta'siri.

4-xususiyat. Integrativ sifatlar.

Integrativ sifatlarning (xususiyatlarning) mavjudligi, ya'ni butun tizimga xos bo'lgan, lekin uning biron bir elementiga alohida xos bo'lmagan sifatlar. Integrativ sifatlarning mavjudligi shuni ko'rsatadiki, tizimning xususiyatlari, garchi ular elementlarning xususiyatlariga bog'liq bo'lsa-da, ular tomonidan to'liq aniqlanmaydi. Iqtisodiy sohadagi murakkab tizimga misollar juda ko'p: tashkiliy – ishlab chiqarish tizimi, korxona; mintaqa kabi ijtimoiy-iqtisodiy tizim va boshqalar.

Murakkab tizim modellashtirish obyekti sifatida quyidagi xarakterli xususiyatlarga ega:

- Murakkab tizim odatda noyobdir. Bunday obyektlarning mavjud analoglari bir-biridan sezilarli farq qiladi. Buning natijasi amalda yangi modellarni yaratish zarurati kelib chiqadi.
- Tizim haqidagi nazariy va faktik bilimlarning zaif tuzilishi. O'rganilayotgan tizimlar noyob bo'lganligi sababli, ular haqidagi bilimlarni to'plash va tizimlashtirish jarayoni qiyin hisoblanadi. Jarayonlarning o'zi yetralicha o'rganilmagan bo'ladi. Murakkab

tizimlarni aniqlashda tizim haqida subyektiv ekspert bilimlarining katta qismi mavjud.

– Yuqorida ko‘rib chiqilgan murakkab tizimlarning integrativ sifatleri muhim uslubiy xulosani oldindan belgilab beradi: murakkab tizimlar oddiy elementlar to‘plamidan iborat emas, murakkab tizimlarni alohida qismlarga bo‘lish, ularning har birini alohida o‘rganish, tizimning xususiyatlarini bilish mumkin emas. Shuning uchun alohida quyi tizimlarning tavsifi ularning butun tizimdagi o‘rnini hisobga olgan holda amalga oshirilishi kerak va aksincha, alohida quyi tizimlarning xususiyatlaridan kelib chiqib, butun tizim o‘rganiladi. Murakkab tizimlarning asosiy xususiyatlaridan biri tanlangan quyi tizimlarning o‘zaro ta’siridir. Bir quyi tizimning boshqasiga ta’siri natijasini va ularning tashqi muhit bilan o‘zaro ta’sirini hisobga olish kerak. Tadqiqotchilar o‘zaro bog‘langan ko‘p sonli quyi tizimlarning mavjudligini, quyi tizimlar orasidagi bog‘lanishlar sonining ko‘pligi tufayli murakkab tizimlarning ko‘p o‘lchovlilikini ta’kidlaydilar, bu esa modellashtirilayotgan obyektlarni aniqlashni qiyinlashtiradi. Murakkab tizimlarning quyi tizimlarga bo‘linishi tizimni yaratish maqsadlariga va tadqiqotchining unga nisbatan qarashlariga bog‘liqligini ham ta’kidlaymiz.

– Tizimni tashkil etuvchi quyi tizimlar va elementlarning turli xilligi. Bu turli elementlarning ishlashini tavsiflovchi matematik sxemalarning shuningdek, o‘rganishning turli darajalarida bir xil elementlar tabiati turli-tumanligi (boshqa tabiatga ega bo‘lgan quyi tizimlarning jismoniy turli-tumanligi) bilan belgilanadi.

– Tizim xatti-harakati jihatlarini hisobga olgan holda uni dinamikada o‘rganish zarurligi.

– O‘rganilayotgan tizimda harakat qiluvchi omillarning tasodifiyligi va noaniqligi. Ushbu omillarni hisobga olish vazifalarning keskin murakkablashuviga olib keladi va tadqiqotning sermehnatligini oshiradi. Bu esa tizimda faoliyat olib boradigan ko‘plab omillarni hisobga olish kerakligini ko‘rsatadi.

– Tizimda yuzaga keladigan jarayonlarni baholashning ko‘p mezonlilik. Aniq baholashning mumkin emasligi quyidagi holatlar bilan belgilanadi:

– ko‘plab quyi tizimlarning mavjudligi, ularning har biri, umuman olganda, o‘z maqsadlariga ega, o‘z lokal mezonlari bo‘yicha baholanadi;

– butun tizimning ishlashini tavsiflovchi ko‘plab ko‘rsatkichlar (tizimli yondashuvda ba‘zan qarama-qarshi, bu holda kompromiss varianti tanlanadi);

– qaror qabul qiluvchilarning amaliy tajribasi asosida qaror qabul qilishda qo‘llaniladigan rasmiylashtirilmagan mezonlarning mavjudligi.

Tizimli tahlilda murakkab tizimni tadqiq qilish iteratsion xarakterga ega. Dastlabki model detallashtirish orqali yanada murakkablashtiriladi. Biroq, murakkab tizimning to‘liq modelini (super-model) yaratish foydasiz, chunki u ham tizim kabi o‘rganish uchun murakkab bo‘ladi.

Buning oqibati bo‘lib, tizimni tahlil qilishda modellar majmuasidan foydalanish zarurligi hisoblanadi. Turli xil modellar tizim faoliyatining turli jihatlarini ham, tadqiqotchining bir xil jarayonlarni namoyish etishining turli darajalarini ham aks ettirishi mumkin.

Murakkab tizimlarni o‘rganishning ko‘rib chiqilgan xususiyatlari ushbu murakkab tizimlar modellarini tuzish va tahlil qilish uchun maxsus usullarga ehtiyoj mavjudligini ko‘rsatadi. Bu yerda an’anaviy analitik modellar bilan bir qatorda maxsus kompyuter texnologiyalari kerak bo‘ladi.

Murakkab tizimlarni o‘rganish metodologiyasi bo‘lib tizimli tahlil hisoblanadi. Amaliy tizimli tahlilining eng muhim vositalaridan biri – bu kompyuterda modellashtirishdir. Murakkab tizimlarni tadqiq qilish va boshqarish sohasida kompyuter modellashtirishning eng samarali va universal vositasi – bu imitatsion modellashtirishdir.

10.2. Kompyuterli modellashtirish. Imitatsion modellashtirish usuli

Murakkab ijtimoiy-iqtisodiy tizimlarni tahlil qilish va qaror qabul qilishda turli xil modellardan foydalaniladi. Modellashtirishning asosiy turlarining tasnifini keltiramiz:

- **konseptual modellashtirish** – bu tizimni maxsus belgilar, simvollar, ular ustida operatsiyalar tabiiy yoki sun'iy tillar yordamida tasvirlashdir;

- **jismoniy modellashtirish** – modellashtiriladigan obyekt yoki jarayon fizik hodisalarning o'xshashligidan kelib chiqadigan o'xshashlik nisbati asosida qayta ishlab chiqiladi;

- **strukturaviy-funksional** – modellar bo'lib, birlashtirish va o'zgartirish uchun maxsus qoidalarga ega bo'lgan diagrammalar (sxemalar), grafiklar, diagrammalar, jadvallar, chizmalar hisoblanadi;

- **matematik (mantiqiy-matematik) modellashtirish** – modelni tuzish matematika va mantiq vositalari yordamida amalga oshiriladi;

- **imitatsion (dasturiy) modellashtirish** – o'rganilayotgan tizimning mantiqiy-matematik modeli kompyuterda dasturiy amalga oshiriladigan tizimning ishlashi uchun algoritm hisoblanadi.

Modellashtirish ushbu turlari mustaqil yoki bir vaqtning o'zida, qandaydir kombinatsiyada qo'llanilishi mumkin (masalan, imitatsion modellashtirishda deyarli barcha sanab o'tilgan modellashtirish turlari yoki ayrim texnikalar qo'llaniladi).

Modellashtirishning barcha turlarining bir-biriga integratsiya qilinishi, ayniqsa modellashtirish sohasidagi turli xil murakkab dasturlar va murakkab modellashtirish loyihalari uchun axborot texnologiyalarining qo'llanilishi bugungi kunning ustuvor tendensiyasi hisoblanadi. Masalan, imitatsion modellashtirish konseptual modellashtirishni (imitatsiya modelini shakllantirishning dastlabki bosqichlarida) va mantiqiy-matematik modellashtirishni (shu jumladan, sun'iy intellekt usullarini) – modelning alohida quyi tizimlarini tavsiflash maqsadida,

shuningdek, hisoblash tajribalari va qarorlarni qabul qilish natijalarini qayta ishlash va tahlil qilish proseduralarini o'z ichiga oladi.

Tegishli matematik usullar bilan hisoblash eksperimentini o'tkazish va rejalashtirish texnologiyasi fizik (to'liq miqyosli) modellashtirishdan imitatsion modellashtirishga kiritilgan. Va nihoyat, strukturaviy va funksional modellashtirish ko'p modeli komplekslarining tabaqalashtirilgan tavsifini yaratishda ham, simulatsiya modellarini yaratishda ham turli xil diagramma tasvirlarini shakllantirishda qo'llaniladi.

Bugungi kunda kompyuterli modellashtirish tushunchasi an'anaviy "EHMda modellashtirish" tushunchasidan kengroq talqin qilinmoqda va bu mazkur tushunchani aniqlashtirishni talab etadi.

Kompyuterli modellashtirish – bu kompyuter modelidan foydalanishga asoslangan murakkab tizimni tahlil qilish yoki sintez qilish masalalarini hal qilish usulidir.

Kompyuterli modellashtirishga quyidagilar kiradi:

- tarkibiy va funksional,
- imitatsion.

"Kompyuter modeli" atamasi deganda, ko'pincha quyidagilar tushuniladi:

– O'zaro bog'langan kompyuter jadvallari, sxemalar, diagrammalar, grafiklar, chizmalar, animatsiya fragmentlari, gipermatnlar va boshqalar yordamida tasvirlangan obyekt yoki obyektlarning (yoki jarayonlarning) hamda obyektning tuzilishi va elementlari o'rtasidagi munosabatlarning shartli tasviri. Ushbu turdagi kompyuter modellarini strukturaviy-funksional deb ataymiz;

– Hisoblash ketma-ketligi va ularning natijalarini grafikda aks ettirish yordamida obyekt, obyektlar tizimining ishlash jarayonlarini takrorlash (imitatsiya qilish) imkonini beradigan alohida dastur (dasturlar to'plami, dasturiy ta'minot to'plami). Obyekt qoidaga ko'ra bir qator hisobga olinadigan va olinmaydigan tasodifiy omillar

ta'siriga bog'liq bo'ladi. Bunday modellarni imitatsion modellar deb ataymiz.

Kompyuterli modellashtirishning mohiyati bo'lib, mavjud model bo'yicha miqdoriy va sifatli natijalarni olishdan iborat. Tahlilning sifat natijalari bo'lib, murakkab tizimning ilgari noma'lum bo'lgan xususiyatlarini: uning tuzilishi, rivojlanish dinamikasi, barqarorligi, yaxlitligi va boshqalarni ochib berishdan iborat. Sifatli xulosalar asosan mavjud murakkab tizimni tahlil qilish yoki ba'zi o'zgaruvchilarning kelajakdagi qiymatlarini prognoz qilish xarakteriga ega. Aytgancha, nafaqat sifat, balki miqdoriy natijalarni olish imkoniyati imitatsion modellashtirish va strukturaviy-funksional modellashtirish o'rtasidagi sezilarli farqdir. Kompyuter modellashtirishning rivojlanishi imitatsion modellashtirishga bog'liq. Imitatsion modellashtirish tizimli-funksional modellashtirishga nisbatan tarixan birinchi bo'lib, u hech qachon kompyutersiz mavjud bo'lmagan. Imitatsion modellashtirish bir qator o'ziga xos xususiyatlarga ega.

Kompyuterli modellashtirish metodologiyasi bo'lib, tizimli tahlil (kibernetika yo'nalishi, tizimlar umumiy nazariyasi) hisoblanadi. Shu sababli, ushbu usulni ishlab chiqishda asosiy rol tizim tahlilchilariga (analitiklariga) beriladi. Imitatsion modellashtirishni kompyuterli modellashtirish bilan taqqoslaylik (masalan, matematik modellashtirish bilan). Bu yerda uslubiy asos ko'pincha: operatsiyalarni tadqiq qilish, matematik modellar nazariyasi, qaror qabul qilish nazariyasi, o'yinlar nazariyasi va boshqalar tashkil etadi.

Tizimli tahlilining markaziy masalasi bo'lib, – bu haqiqiy tizimning barcha omillari va munosabatlarini aks ettiruvchi umumlashtirilgan modelni tuzish hisoblanadi. Kompyuter simulyasiyasining predmeti har qanday murakkab tizim, har qanday obyekt yoki jarayon bo'lishi mumkin. Bu holda maqsadlar toifalari juda boshqacha bo'lishi mumkin. Kompyuter modeli haqiqiy murakkab tizimning barcha xususiyatlarini, asosiy omillarini va munosabatlarini, mezonlarini, cheklovlarini aks ettirishi kerak.

Kompyuter modellashtirish bugungi kunda iqtisodiy, tashkiliy va ijtimoiy yoki texnik xarakterdagi qarorlarni tayyorlash va qabul qilish uchun foydalaniladigan uslubiy yondashuvlar va ilg'or texnologik vositalar to'plamini taklif etadi.

10.3. Murakkab tizimlarning modellarini tuzish va tadqiq qilish

Yuqorida biz turli xil modellar sinfini ko'rib chiqdik. Qo'yilgan masalani, muammoni, tizimni tadqiq qilishni yechish qilish uchun modellashtirish usulini tanlash – tizim tahlilchisi tanlashi kerak bo'lgan dolzarb vazifadir.

Shu maqsadda imitatsion modellarning o'rni va boshqa turdagi modellari orasidagi o'ziga xosligini aniqlab olaylik. Bundan tashqari, tizim tahlilchisi modellashtirish jarayonida shug'ullanadigan, har doim ham va hamma joyda bir ma'noli va juda to'g'ri talqin etilmaydigan ba'zi tushunchalar va ta'riflarga aniqlik kiritishga harakat qilaylik. Shu maqsadda murakkab tizimlarning modellarini tuzish va tadqiq qilishning protsessual-texnologik sxemasini ko'rib chiqamiz (10.1-rasm). Ushbu sxema har qanday modellashtirish usuli uchun xos bo'lgan quyidagi aniqlash bosqichlarini o'z ichiga oladi:

1. Tizimlar (predmetli, muammoli soha).
2. Modellashtirish obyekti.
3. Maqsadga mo'ljallangan modellar.
4. Modellarga qo'yiladigan talablar.
5. Modellarni taqdim etish shakllari.
6. Modelni tavsiflash turi.
7. Modelni amalga oshirish xarakteri.
8. Modelni tadqiq qilish usuli.

Dastlabki uchta bosqich tadqiqot obyekti va maqsadini tavsiflaydi, modellashtirishning keyingi bosqichlarini amaliy jihatdan belgilaydi.

Shu bilan birga, obyektni to‘g‘ri tavsiflash va tadqiqotchi faoliyatining mavzu doirasidan modellashtirish maqsadini shakllantirish muhim ahamiyatga ega.

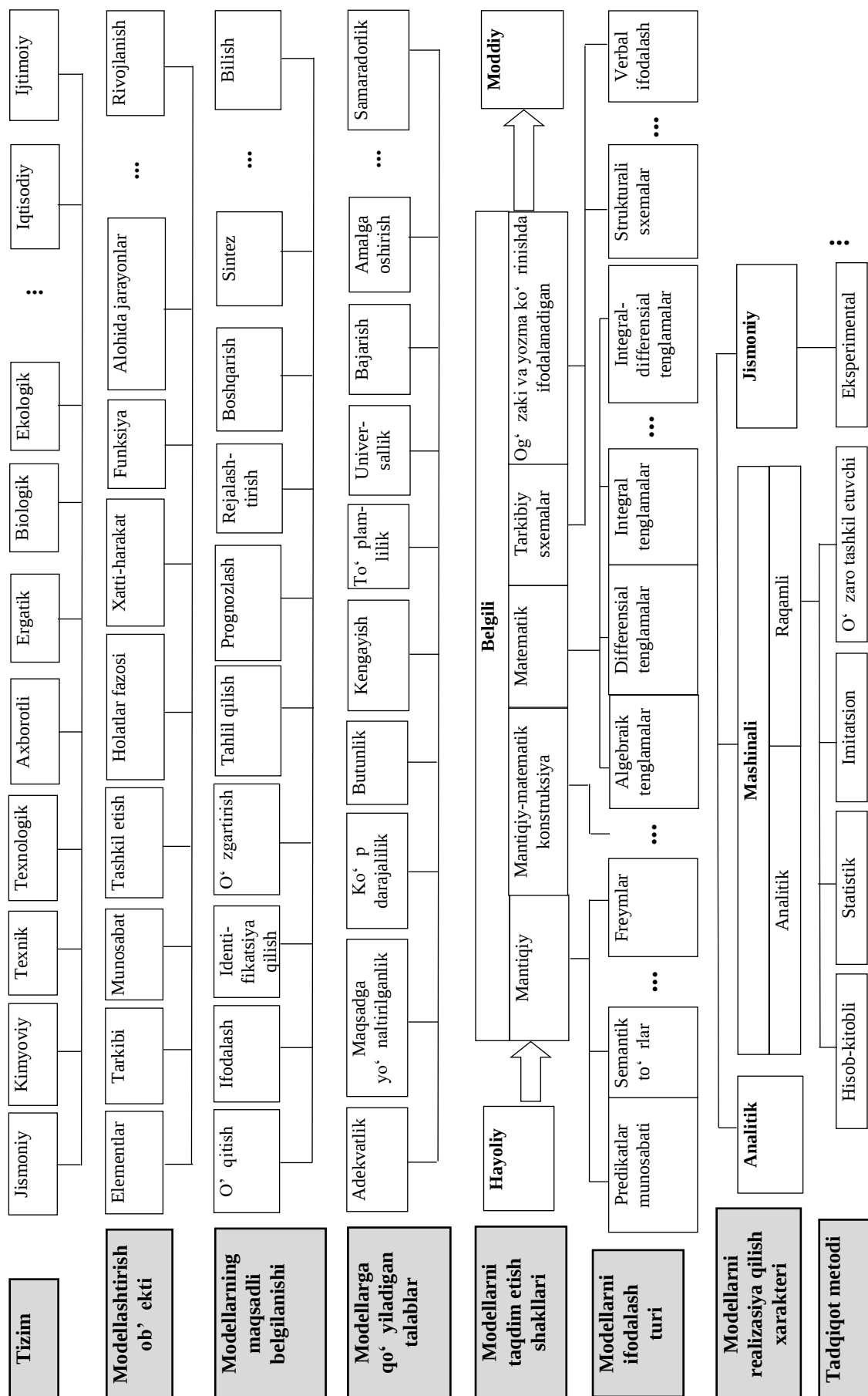
1) Predmetli (muammoli) soha tizimlarning fizik, kimyoviy, texnik, texnologik, axborot, biologik, ekologik, iqtisodiy, ijtimoiy va boshqa mumkin bo‘lgan sinflari bilan belgilanadi. (Imitatsion modellarning ko‘lami juda keng, imitatsion modellashtirish turli xil tizimlarni o‘rganish uchun ishlatiladi: iqtisodiy, sanoat, ijtimoiy, transport, ommaviy xizmat tizimlari, hisoblash, axborot, shu jumladan xalqaro faoliyat, shaharsozlik muammolari, global muammolari va h.k.).

2) Tadqiqot jarayonida modellashtirish obyekti sifatida butun tizim emas, balki uning “qismi” – elementlari, tuzilmalari, munosabatlari, funksiyalari, ayrim jarayonlari, xatti-harakatlari, rivojlanishi va boshqalari olinadi.

3) Har bir model maqsadga yo‘naltirilgan holda tuzilgan bo‘lishi kerak.

Maqsadga yo‘naltirilgan model – bu maqsad uchun foydalibroq bo‘lgan abstraksiya (mavhumlik) darajasi bilan haqiqatni almashtirish. Boshqacha aytganda, model eng avvalo o‘sha muhim xususiyatlarni, modellashtirilayotgan obyektning amaliy vazifalar bilan belgilanadigan tomonlarini aks ettirishi kerak.

Muammoni to‘g‘ri aniqlash va shakllantirish, modellashtirish yordamida olib boriladigan tadqiqot maqsadini aniq belgilashda muhim hisoblanadi. Aytaylik, muammoni hal qilish uchun matematik modellashtirishdan foydalanish kerak deb qaror qilindi.



10.1 -rasm. Murakkab tizimlarni tadqiq qilish va tuzishning umumiy prosedurali-texnologik

Modellashtirish keng ko‘lamli muammolarni hal qilishda muvaffaqiyatli qo‘llaniladi, jumladan: o‘qitish, tavsiflash, o‘lchash, baholash, prognozlash, rejalashtirish, nazorat qilish, sintez, identifikatsiya qilish, bilish va boshqalar. Modellashtirish murakkab texnik va iqtisodiy tizimlar tahlili va sintezida yoki samarali yechimlarni qidirishda (murakkab ishlanmalar, loyihalar, yangi dasturlar) kuchli vositaga aylanadi.

Murakkab tizimlar murakkab modellarni talab qilmaydi. Murakkab tizimlarni modellashtirishda oddiy modellarni yaratishga harakat qilish lozim, chunki ular sifatliroq bo‘ladi.

Modellashtirish maqsadiga qarab, tadqiqotchi, izlanuvchining tafakkuri, kognitiv faoliyatda real hayot obyektlarining modellarini shakllantiradi yoki loyihalash vazifalarida hali mavjud bo‘lmagan tizimlarning ideal modellarini yaratadi. Ushbu va boshqa holatlarda modellar qo‘yilgan masalalarni hal qilish uchun yaroqli bo‘lishi kerak.

4) Modellarga qo‘yiladigan talablar. Yaxshi model qanday xususiyatlarga ega bo‘lishi kerak?

Modellashtirish haqiqiy muammolarni hal qilishdan iborat va biz natijalar narsalarning haqiqiy holatini to‘g‘ri aks ettirishiga ishonch hosil qilishimiz kerak, ya‘ni model haqiqatga mos (adekvat) keladi. Yaxshi model ba‘zi umumiy qabul qilingan talablarga javob berishi kerak. Ya‘ni ushbu model:

- adekvat (mos keluvchi);
- kafolat ma‘nosida ishonchli;
- oddiy va foydalanuvchi uchun tushunarli;
- maqsadga yo‘naltirilgan;
- muomalada va boshqarishda oson, ya‘ni u bilan muloqot qilish oson bo‘lishi kerak;
- asosiy vazifalarni hal qilish imkoniyatlari nuqtayi nazaridan funksional jihatdan to‘liq;
- moslashuv, boshqa modifikatsiyalarga osongina o‘tish yoki ma‘lumotlarni yangilash imkonini beradigan;

– boshida oddiy bo‘lsa-da, foydalanuvchi o‘zaro ta’sir qilganda tobora murakkablashishi mumkin bo‘lishi kerak.

Modelning maqsadli yo‘nalishiga qarab, modellarning o‘ziga maxsus talablar qo‘yiladi, eng xarakterlilari: yaxlitlik, axborot xususiyatlarining aks etishi, ko‘p darajali, ko‘p modellilik, kengaytirilishi, universalligi (mavhum), amalga oshirilishi mumkinligi (modelning o‘zini tuzish va uni tadqiq qilishning real imkoniyati), realizatsiya (masalan, kompyuterda) (loyihalash masalalarida modelni real tizim ko‘rinishida moddiylashtirish imkoniyati), samaradorlik (vaqt, mehnat, material xarajatlari); va modellarni tuzish va eksperimentlarni o‘tkazish uchun boshqa turdagi resurslar maqbul chegaralar ichida yoki asosli bo‘lishi). Modelga qo‘yiladigan talablarning ahamiyati yoki ustuvorligi bevosita modelning maqsadidan kelib chiqadi. Demak, masalan, kognitiv vazifalar, boshqaruv vazifalari, rejalashtirish, tavsiflashda obyektiv voqelik modelining adekvatligi muhim talab hisoblanadi; noyob tizimlarni loyihalash, sintez qilish vazifalarida, eng muhimi, modelning moddiylashuvi, ya’ni modelni real tizimga, masalan, SAPR yoki qarorlarni qo‘llab-quvvatlash tizimida (DSS) amalga oshirish imkoniyati hisoblanadi.

5) Modellastirishdan maqsad va modelga qo‘yiladigan talablar, albatta, modelni tasvirlash shaklini belgilaydi.

Har qanday model (obyektiv ravishda mavjud bo‘lgan obyektga aylanishdan oldin) konstruktiv tarzda ishlab chiqilishi, hayoliy shaklda mavjud bo‘lishi, keyin ramziy shaklga o‘tkazilishi va nihoyat, moddiylashtirilishi kerak, ya’ni modellarni ifodalashning uchta shakli mavjud:

- hayoliy (tasvirlar);
- belgili (blok-sxemalar, og‘zaki va yozma taqdimot ko‘rinishidagi tavsiflar, mantiqiy, matematik, mantiqiy-matematik tuzilmalar);
- moddiy (laboratoriya va faoliyat ko‘rsatuvchi maketlar, sxemalar, tajriba namunalari).

Modellashtirishda alohida o‘rinni ramziy, xususan, mantiqiy, matematik, mantiqiy-matematik modellar, shuningdek, mutaxassislar tomonidan tuzilgan og‘zaki tavsif asosida qayta yaratilgan modellar egallaydi. Ko‘p funksiyali tizimlarni modellashtirish uchun belgili modellar qo‘llaniladi. Bu yo‘nalish hisoblash tizimlarining jadal rivojlanishi bilan ahamiyatli bo‘lib bormoqda.

6) Protsessual sxemaning keyingi bosqichi modelning tavsifi va namunaviy tuzilish turini tanlashdir.

Belgilar shakllar uchun bunday tavsiflar quyidagilar bo‘lishi mumkin:

- mantiqiy bo‘lganlar uchun – predikatlar hisobi va munosabatlar, semantik tarmoqlar, freymlar va boshqalar (ular sun’iy intellekt usullari bilan batafsilroq o‘rganiladi);

- matematik-algebraik, differensial, integral, integral-differensial tenglamalar va boshqa matematik sxemalar uchun. Bunday modellarga matematika fanining alohida yo‘nalishlari bag‘ishlangan.

7) Belgili modellarni amalga oshirish xarakteri quyidagicha bo‘ladi:

- analitik (masalan, differensial tenglamalar tizimi matematik tomonidan qog‘ozda yechilishi mumkin);

- mashinali (analogli yoki raqamli);

- jismoniy (yoki avtomatik).

8) Ularning har birida modelning murakkabligi, modellashtirish maqsadi, model xususiyatlarining noaniqlik darajasiga qarab, tadqiqot (tajriba) o‘tkazishning turli usullari – tadqiqot usullari bo‘lishi mumkin. Demak, analitik tadqiqotda tebranish nazariyalari, sezuvchanlik tahlili, barqarorlik va boshqa usullaridan foydalaniladi. Jismoniy yoki to‘liq miqyosli modellashtirishda eksperimental tadqiqot usuli qo‘llaniladi.

Kompyuter eksperimenti qo‘llaniladigan va istiqbolli usullarni tahlil qilish hisoblash, statistik, imitatsiya va o‘z-o‘zini tashkil etuvchi tadqiqot usullarini ajratib ko‘rsatish imkonini beradi.

Hisoblash modellashtirish matematik modellarni o'rganishda qo'llaniladi va ularni turli xil raqamli kirish ma'lumotlari bilan kompyuterda amalga oshirishga qisqartiriladi. Ushbu amalga oshirish (hisoblash) natijalari grafik yoki jadval shaklida keltiriladi. Hozirgacha biz an'anaviy ravishda hisoblash modellashtirish bilan shug'ullanganmiz: masalan, klassik sxema – bu raqamli usullardan foydalanishga asoslangan differensial tenglamalar tizimi sifatida taqdim etilgan matematik modelni mashinada amalga oshirish, uning yordamida matematik model algoritmik ko'rinishga keltiriladi, so'ngra u kompyuterda dasturiy tarzda amalga oshiriladi, natijalarni kompyuterda olish uchun hisoblash amalga oshiriladi (tadqiqotning hisoblash usuli qo'llaniladi).

Nazorat savollari

1. Tizim deganda nimani tushunasiz?
2. Murakkab tizimlarga ta'rif bering va ularning asosiy xususiyatlarini izohlang.
3. Tizimli tahlilning mohiyatini tushuntirib bering.
4. Modellashtirishning asosiy turlarini tavsiflab bering.
5. Kompyuterli modellashtirish deganda nimani tushunasiz?
6. Kompyuter modeli atamasi deganda nimalar tushuniladi?
7. Kompyuterli modellashtirishning metodologiyasini nima tashkil etadi?
8. Murakkab tizimlarni qaysi usullar yordamida modellashtirish samarali hisoblanadi?
9. Maqsadga yo'naltirilgan modelga ta'rif bering.
10. Yaxshi model qanday xususiyatlarga ega bo'lishi kerak?
11. Adekvat model qanday xususiyatlarga ega?
12. Belgili modellarni amalga oshirish xarakterini tushuntirib bering.
13. Imitatsion modelni tuzishda kompyuterning rolini tushuntirib bering.
14. Nima sababdan imitatsion modellashtirishdan foydalaniladi?
15. Imitatsion modellashtirish usulining boshqa usullardan farqli jihatlari nimalarda namoyon bo'ladi?

XI-BOB. IMITATSION MODELLASHTIRISH TEXNOLOGIYASI

REJA:

11.1. Imitatsion modellashtirish usuli va uning xususiyatlari.

11.2. Diskret va uzluksiz imitatsion modellar.

11.3. Modellashtiruvchi algoritm. Imitatsion model.

12.1. Imitatsion modellashtirish usuli va uning xususiyatlari

Imitatsion modellashtirish usuli o'zining eng umumiy ko'rinishida eksperimental yondashuv xususiyatlari va kompyuter texnikasidan foydalanishning shartlarini o'zida mujassamlashtirgan imitatsiya modelidan foydalangan holda real tizimni o'rganishning eksperimental usuli sifatida aniqlanadi.

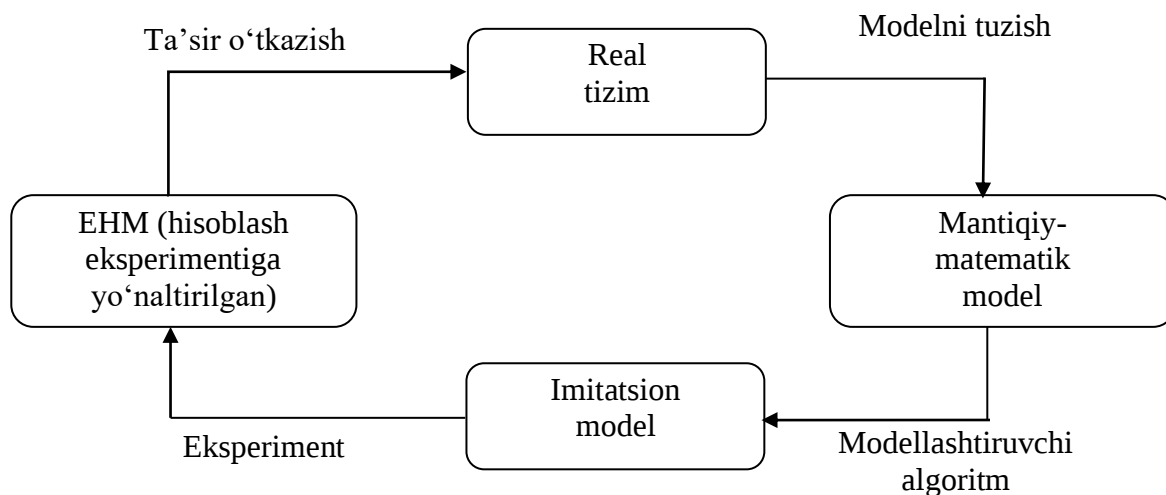
Bu ta'rifda imitatsion modellashtirish kompyuterli modellashtirish usuli ekanligi, aslida u kompyutersiz hech qachon mavjud bo'lmagani va faqat axborot texnologiyalarining rivojlanishi natijasi, kompyuterli modellashtirishning ushbu turining paydo bo'lishiga olib kelganligini ta'kidlaydi. Bu ta'rifda imitatsiyaning eksperimental tabiatiga ham e'tibor qaratilgan hamda tadqiqotning imitatsiya usuli qo'llaniladi (model bilan tajriba o'tkaziladi). Darhaqiqat, imitatsion modellashtirishda nafaqat eksperimentni o'tkazish, balki model bo'yicha rejalashtirish ham muhim rol o'ynaydi. Biroq, bu ta'rif imitatsion modelning o'zi nima ekanligini aniqlab bermaydi. Buning uchun imitatsion modellashtirishning mohiyatini tushunishga harakat qilamiz.

Imitatsion modellashtirish jarayonida (11.1-rasm) tadqiqotchi to'rtta asosiy element bilan shug'ullanadi:

- haqiqiy tizim;
- modellashtirilayotgan obyektning mantiqiy-matematik modeli;
- imitatsiya (mashina) modeli;

- imitatsiya o'tkaziladigan kompyuter – yo'naltirilgan hisoblash eksperimenti.

Tadqiqotchi real tizimni o'rganadi, real tizimning mantiqiy-matematik modelini ishlab chiqadi. Tadqiqotning imitatsion xarakteri o'rganilayotgan jarayonni tavsiflovchi mantiqiy yoki mantiqiy-matematik modellarning mavjudligini nazarda tutadi.



11.1-rasm. Imitatsion tadqiqot jarayoni.

Yuqorida biz haqiqiy tizimni vaqt bo'yicha ishlaydigan o'zaro ta'sir qiluvchi elementlar to'plami sifatida aniqladik.

Murakkab tizimning tuzilmali xarakteri uning modelini quyidagi uchlik shaklida ko'rsatishni talab qiladi:

$$\langle \mathbf{A}, \mathbf{S}, \mathbf{T} \rangle,$$

bu yerda, $\mathbf{A}$ – elementlar to'plami (bular soniga tashqi muhit ham kiradi);

$\mathbf{S}$ – elementlar o'rtasida mumkin bo'lgan aloqalar to'plami (model strukturasi);

$\mathbf{T}$ – ko'rib chiqiladigan vaqt momentlari to'plami;

Imitatsion modellashtirishning o'ziga xos xususiyati shundaki, imitatsion model modellashtirilayotgan obyektlarni quyidagicha takror ishlab chiqish imkonini beradi:

– obyektning mantiqiy tuzilishini saqlab qoladi;

– xulq-atvor xususiyatlarini (tizimda sodir bo‘layotgan voqealar vaqtini almashish ketma-ketligi), ya’ni o‘zaro ta’sir dinamikasini saqlab qoladi.

Imitatsion modellashtirishda modellashtirilayotgan tizimning strukturasi modelda adekvat tarzda aks ettiriladi va uning ishlash jarayonlari tuzilgan modelda imitatsiya qilinadi. Shuning uchun imitatsion modelni tuzish modellashtirilayotgan obyekt yoki tizimning tuzilishi va ishlashini tavsiflashdan iborat. Imitatsion modelni tavsiflashda ikkita komponent ajratib ko‘rsatiladi:

– **Tizimning statik tavsifi**, bu mohiyatan uning tuzilishining tavsifi. Imitatsion modelni ishlab chiqishda modellashtirilayotgan jarayonlarning tizimli tahlilini o‘tkazish kerak.

– **Tizimning dinamik tavsifi** yoki uning elementlarining o‘zaro ta’siri dinamikasini tavsiflash. Uni tuzishda, aslida, modellashtirilayotgan dinamik jarayonlarning funksional modelini tuzish talab etiladi.

Usulning g‘oyasi, uning dasturiy ta’minotini amalga oshirish nuqtayi nazaridan quyidagicha bo‘ladi. Tizimning elementlari ba’zi dasturiy komponentlar bilan bog‘langan bo‘lsa va bu elementlarning mohiyatlari holat o‘zgaruvchilari yordamida tasvirlangan bo‘lsa-chi. Ta’rifga ko‘ra elementlar o‘zaro ta’sir qiladi (yoki ma’lumot almashadi), bu alohida elementlarning ishlashi uchun algoritmni, ya’ni modellashtirish algoritmini amalga oshirish mumkinligini anglatadi. Bundan tashqari elementlar vaqtda mavjud – ya’ni, holat o‘zgaruvchilarini o‘zgarish algoritmini berish kerak. Imitatsion modellaridagi dinamika model vaqtini oshirish mexanizmi yordamida amalga oshiriladi

Imitatsion modellashtirish usulining o‘ziga xos xususiyati tizimning turli elementlari o‘rtasidagi o‘zaro ta’sirni tasvirlash va takrorlash qobiliyatidir. Shunday qilib, imitatsion modelni tuzish uchun quyidagilar zarur:

- real tizimni (jarayonni) o‘zaro ta’sir qiluvchi elementlar to‘plami sifatida taqdim etish;
- alohida elementlarning ishlashini algoritmik tavsiflash;
- turli elementlarning o‘zaro va tashqi muhit bilan o‘zaro ta’siri jarayonini tavsiflash.

Imitatsion modellashtirishning muhim jihati bo‘lib, tizim holatlarini ajratish va ifodalashdir. Tizim holatlar o‘zgaruvchilari to‘plami bilan tavsiflanadi, ularning har bir kombinatsiyasi ma’lum bir holatni tavsiflaydi. Shuning uchun, ushbu o‘zgaruvchilarning qiymatlarini o‘zgartirish orqali tizimning bir holatdan ikkinchisiga o‘tishini imitatsiya qilish mumkin. Shunday qilib, imitatsion modellashtirish – bu aniq belgilangan operatsion qoidalarga muvofiq tizimni bir holatdan ikkinchi holatga o‘tkazish orqali uning dinamik xatti-harakatlarini ifodalashdir. Holatlarning ushbu o‘zgarishlari uzluksiz yoki alohida vaqtlarda sodir bo‘lishi mumkin. Imitatsion modellashtirish – bu vaqt o‘tishi bilan tizim holatidagi o‘zgarishlarni dinamik aks ettirishdir.

Shunday qilib, biz imitatsion modellashtirishda haqiqiy tizimning mantiqiy tuzilishi modelda aks ettirilganligini va imitatsiya qilingan tizimdagi quyi tizimlarning o‘zaro ta’siri dinamikasi ham imitatsiya qilinganligini aniqladik. Bu tarixan oldindan belgilab qo‘ygan imitatsion modelning muhim, ammo yagona xususiyati emas, ko‘pchilik tadqiqotchilar ko‘pincha “tizimli modellashtirish” deb ataydigan usulning nomi unchalik muvaffaqiyatli emas.

11.2. Diskret va uzluksiz imitatsion modellar

Imitatsion modellashtirishda modellashtirilayotgan jarayonlarning dinamikasini ifodalash uchun model vaqtini belgilash mexanizmi amalga oshirilgan. Ushbu mexanizmlar har qanday modellashtirish tizimining boshqaruv dasturlariga kiritilgan.

Agar EHMda tizimning bitta komponentasining harakatini imitatsiya qilinayotgan bo'lsa, u holda imitatsion modeldagi harakatlarning bajarilishi vaqt koordinatasini qayta hisoblash orqali ketma-ket amalga oshirilishi mumkin edi. Haqiqiy tizimning parallel hodisalariga imitatsiya qilishni ta'minlash uchun ba'zi bir global o'zgaruvchi (tizimdagi barcha hodisalarning sinxronizatsiyasini ta'minlaydigan) t_0 kiritiladi va u model (yoki tizim) vaqti deb ataladi.

Model vaqti t_0 ni o'zgartirishning ikkita asosiy usuli mavjud:

- qadamba-qadam (model vaqtini o'zgartirishning o'zgarmas intervallari qo'llaniladi);
- hodisalar bo'yicha (model vaqtini o'zgartirishning o'zgaruvchan intervallari qo'llaniladi, qadam o'lchami esa keyingi hodisagacha bo'lgan interval bilan o'lchanadi).

Qadamba-qadam usulda vaqt mumkin bo'lgan eng kichik doimiy qadam uzunligi (t tamoyili) bilan oldinga siljiydi. Ushbu algoritmlar ularni amalga oshirish uchun mashina vaqtdan foydalanish nuqtayi nazaridan unchalik samarali emas.

Hodisalar bo'yicha usul ("maxsus holatlar" tamoyili). Unda vaqt koordinatalari faqat tizim holati o'zgarganda o'zgaradi. Har bir hodisa usullarida vaqtni o'zgartirish qadamining mumkin bo'lgan maksimal uzunligidir. Joriy paytdan boshlab model vaqti keyingi hodisaning eng yaqin momentiga o'zgaradi. Voqealarning sodir bo'lish chastotasi past bo'lsa, u holda katta qadam uzunligi imitatsiya vaqtini tezlashtiradi. Amalda esa hodisalar usuli eng keng tarqalgan.

O'zgarmas qadam usuli quyidagi hollarda qo'llaniladi:

- agar vaqt bo'yicha o'zgarish qonuni integral-differensial tenglamalar bilan tasvirlangan bo'lsa. Oddiy misol: integral-differensial tenglamalarni sonli usulda yechish. Bunday usullarda modellash-tirish qadami integratsiya qadamiga teng. Ulardan foydalanilganda modelning dinamikasi haqiqiy uzluksiz jarayonlarning diskret yaqinlashuvi hisoblanadi;

- hodisalar bir tekis taqsimlanganda va vaqt koordinatasini o'zgartirish qadamini tanlash mumkin bo'lganda;
- muayyan hodisalarning sodir bo'lishini oldindan aytish qiyin bo'lganda;
- voqealar ko'p bo'lganda va ular guruhlarda paydo bo'lganda.

Boshqa hollarda, hodisalar usuli qo'llaniladi. Hodisalar vaqt o'qi bo'yicha notekis taqsimlanganda va muhim vaqt oraliqlarida paydo bo'lganda afzallik beriladi. Shunday qilib, kompyuterda axborotni qayta ishlashning ketma-ketligi tufayli modelda sodir bo'ladigan parallel jarayonlar ko'rib chiqilayotgan mexanizm yordamida ketma-ket jarayonlarga aylantiriladi. Bunday tasvirlash usuli kvaziparallel jarayon deb ataladi.

Imitatsion modellarning asosiy turlariga eng oddiy tasniflash model vaqtini ilgari surishning ushbu ikki usulidan foydalanish bilan bog'liq. Imitatsion modellarning turlari quyidagilar hisoblanadi:

- uzluksiz;
- diskret;
- uzluksiz-diskret.

Uzluksiz imitatsion modellarda o'zgaruvchilar uzluksiz o'zgaradi, imitatsiya qilingan tizimning holati vaqtning uzluksiz funksiyasi sifatida o'zgaradi va qoida tariqasida, bu o'zgarish differensial tenglamalar tizimlari bilan tavsiflanadi. Shunga ko'ra, model vaqtini ilgarilash differensial tenglamalarni yechishning raqamli usullariga bog'liq.

Diskret imitatsion modellarda o'zgaruvchilar imitatsiya vaqtining ma'lum momentlarida (hodisalar ro'y berishi) diskret ravishda o'zgaradi. Diskret modellarning dinamikasi – bu boshlang'ich voqea sodir bo'lgan paytdan keyingi voqea momentiga o'tish jarayonidir.

Haqiqiy tizimlarda uzluksiz va diskret jarayonlarni ko'pincha ajratib bo'lmasligi sababli, bu ikki jarayonga xos bo'lgan vaqtni ilgari surish mexanizmlarini birlashtirgan doimiy-diskret modellar ishlab chiqilgan.

11.3. Modellashtiruvchi algoritm. Imitatsion model va hisoblash eksperimenti

Tadqiqotning imitatsion xarakteri o'rganilayotgan jarayonni (tizimni) tavsiflovchi mantiqiy yoki mantiqiy-matematik modellarning mavjudligini nazarda tutadi. Murakkab tizimning mantiqiy-matematik modeli ham algoritmik, ham noalgoritmik bo'lishi mumkin (masalan, differensial tenglamalar tizimi integrallashning miqdoriy usuli yordamida algoritmik tenglamalarga aylantiriladi, bunda modelning xususiyatlari o'zgarishini hisobga olish kerak).

Mashinada amalga oshiriladigan bo'lish uchun murakkab tizimning mantiqiy-matematik modeli asosida tizimdagi elementlarning o'zaro ta'sirining tuzilishi va mantiqini tavsiflovchi modellashtiruvchi algoritmi tuziladi.

Modellashtirish algoritmining dasturiy amalga oshirilishi – bu imitatsion modeldir. U modellashtirishni avtomatlashtirish vositalaridan foydalangan holda tuziladi.

Biz imitatsion modellashtirishni real tizimni uning imitatsion modeli bo'yicha eksperimental o'rganish usuli sifatida aniqlab oldik.

Metod (usul) tushunchasi har doim ham “imitatsion model” tushunchasidan keng hisoblanadi. Imitatsion modellashtirish metodologiyasi bilan bundan avvalgi mavzularda tanishib chiqqan edik, bu – tizimli tahlildir. Aynan tizimli tahlil ko'rib chiqilayotgan modellashtirish turini “tizimli modellashtirish” deb atash huquqini beradi.

Ushbu eksperimental usulning xususiyatlarini ko'rib chiqamiz. “Simulatsiya”, “eksperiment”, “imitatsiya” so'zlari bir xil ma'noni beradi. Imitatsiyaning eksperimental tabiati ham usul nomining kelib chiqishini oldindan belgilab bergan. Shunday qilib, har qanday tadqiqotning maqsadi o'rganilayotgan tizim haqida iloji boricha ko'proq ma'lumot olish, qaror qabul qilish uchun zarur bo'lgan ma'lumotlarni to'plash va tahlil qilishdan iborat. Haqiqiy tizimni uning imitatsion modelidan foydalangan holda o'rganishning mohiyati

imitatsion model bo'yicha eksperiment o'tkazish natijasida tizimning ishlashi to'g'risida ma'lumotlarni olish (to'plash) dan iborat.

Aslida imitatsion modellar kirish va chiqishga ega bo'lgan modellardir. Ya'ni, agar imitatsion modelning kirishiga parametrlarning ma'lum qiymatlari (o'zgaruvchilar, tarkibiy munosabatlar) berilsa, u holda faqat ushbu qiymatlar uchun amal qiladigan natijani olish mumkin. Amalda tadqiqotchi imitatsion modellashtirishning quyidagi o'ziga xos xususiyatiga duch keladi.

Imitatsion model faqat ma'lum parametr qiymatlari, o'zgaruvchilar va imitatsiya dasturiga kiritilgan strukturaviy munosabatlar uchun amal qiladigan natijalarni beradi. Parametr yoki munosabatlarni o'zgartirish imitatsion dasturni qayta ishga tushirish kerakligini anglatadi. Shuning uchun kerakli ma'lumot yoki natijalarni olish uchun imitatsion modellarni yechmasdan, balki ularni bir necha bor mashinada eksperimentini o'tkazib imitatsion modellarni ishga tushirish kerak. Imitatsion model analitik modellarda bo'lgani kabi o'z yechimini ham shakllantira olmaydi, lekin eksperimentator tomonidan belgilangan sharoitlarda tizimning harakatini tahlil qilish uchun vosita bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Buni tushuntirish uchun 2 ta holatni ko'rib chiqamiz:

- determinirlangan holat;
- stoxastik holat.

Stoxastik holat. Imitatsion model – stoxastik tizimlarni o'rganish uchun qulay vositadir. Stoxastik tizimlar shunday tizimlarki, ularning dinamikasi tasodifiy omillarga bog'liq, qoidaga ko'ra stoxastik modelning kirish, chiqish o'zgaruvchilari, tasodifiy miqdorlar, funksiyalar, jarayonlar, ketma-ketliklar sifatida ifodalanadi. Tasodifiy omillar ta'sirini hisobga olgan holda modellashtirish jarayonlarining asosiy xususiyatlarini ko'rib chiqamiz.

Tasodifiy omillar ta'sirida jarayonlarning yagona realizatsiyasini takrorlashda olingan modellashtirish natijalari tasodifiy jarayonlarning realizatsiyasi bo'ladi va o'rganilayotgan obyektни obyektiv xarakterlay

olmaydi. Shuning uchun jarayonlarni imitatsion modellashtirish orqali o'rganishda kerakli qiymatlar odatda jarayonni amalga oshirishning ko'p sonli ma'lumotlariga asoslangan o'rtacha qiymatlar sifatida aniqlanadi (baholash muammosi). Shuning uchun, model asosidagi eksperiment bir nechta ilovalarni olib ishlaydi va to'plam (tanlama) ma'lumotlariga asoslangan baholashni o'z ichiga oladi. Ko'rinib turibdiki, (katta sonlar qonuniga ko'ra) model bo'yicha eksperimentlar soni qancha ko'p bo'lsa, natijada olingan baholar statistik jihatdan barqarorroq bo'ladi.

Shunday qilib, stoxastik tizim bilan ishlash holatida imitatsion modelning chiqishida statistik ma'lumotlarni to'plash va baholash zarur, buning uchun esa bir qator eksperimentlar o'tkaziladi va modellashtirish natijalarini statistik qayta ishlash kerak bo'ladi.

Deterministik holat. Bunday holda, ma'lum bir parametrlar to'plami uchun ma'lum ish qoidalariga muvofiq imitatsion modelni bir marta o'tkazishni (kompyuterdagi dasturdan o'tkazish) amalga oshirish kifoya.

Tasavvur qiling, modellashtirishning maqsadlari quyidagilardan iborat: tizimni turli sharoitlarda o'rganish, muqobil variantlarni baholash, modelning chiqishining bir qator parametrlarga bog'liqligini topish va nihoyat, qandaydir optimal variantni izlash. Bunday hollarda tadqiqotchi imitatsion modelning ko'plab mashina ishlarini bajarayotganda, modelga kirishda parametrlarning qiymatlarini o'zgartirish orqali modellashtirilayotgan tizimning ishlash xususiyatlariga kirib borishi mumkin.

Shunday qilib, kompyuterda model bilan eksperimentlar o'tkazish tizimning ishlashi to'g'risidagi ma'lumotlarni to'plash va keyinchalik qayta ishlash uchun bir nechta kompyuter ishlarini o'tkazishdan iborat. Imitatsion modellashtirish haqiqiy tizimning ishlashi uchun turli sharoitlarda kompyuterda bir necha marta ishlash orqali uning xatti-harakatlarini o'rganish uchun haqiqiy tizim modelini o'rganishga imkon beradi.

Bu yerda ma'lumotlarni qanday yig'ish, bir qator eksperimentlarni qanday o'tkazish, maqsadli yo'naltirilgan eksperimental tadqiqotlarni qanday tashkil qilish bo'yicha muammolar paydo bo'lishi mumkin. Bunday eksperiment natijasida olingan ma'lumotlar juda ko'p bo'lishi mumkin. Ularni qanday qayta ishlash kerak? Ularni qayta ishlash va o'rganish statistik baholash vazifasidan ancha qiyin bo'lgan mustaqil muammoga aylanishi mumkin.

Imitatsion modellashtirishda tadqiqotda qo'yilgan maqsadga mos ravishda eksperimentni nafaqat o'tkazish, balki uni rejalashtirish ham muhim masala hisoblanadi.

Shunday qilib, imitatsion modellashtirish usullarini qo'llagan tadqiqotchi oldida eksperimentni tashkil qilish, ya'ni zarur bo'lgan axborotni yig'ishni eng kam xarajat bilan ta'minlaydigan usulni tanlash (qo'shimcha eksperimentlar soni – bu mashina vaqtining qo'shimcha sarflanishiga olib keladi) muammosi paydo bo'ladi. Asosiy maqsad – modelning ishlashiga sarflangan vaqtni qisqartirish, imitatsiya uchun kompyuter vaqtini qisqartirish, bu ko'p sonli eksperimentlarni o'tkazish uchun kompyuter vaqti resursi narxini aks ettiradi.

Ushbu muammo imitatsion tadqiqotni strategik rejalashtirish sifatida nom olgan. Uni yechish uchun regressiya tahlili, eksperimentni rejalashtirish va boshqalar usullari qo'llaniladi.

Strategik rejalashtirish – bu samarali eksperimentning samarali rejasini ishlab chiqish bo'lib, uning natijasida yoki boshqariladigan o'zgaruvchilar o'rtasidagi munosabatlar aniqlanadi yoki boshqariladigan o'zgaruvchilar qiymatlarining kombinatsiyasi topiladi, bu imitatsion model javobini (chiqishni) minimallashtiradi yoki maksimal darajada oshiradi.

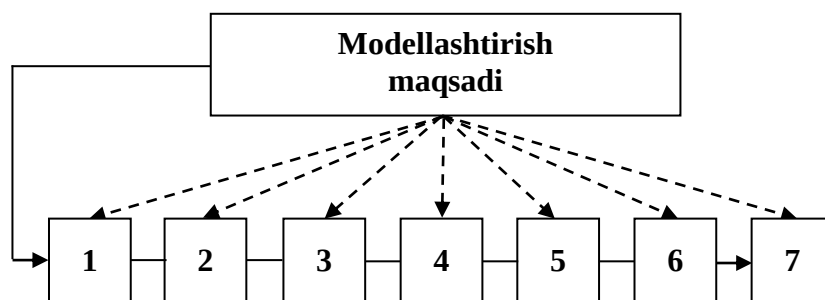
Strategik konsepsiya bilan bir qatorda, eksperiment rejasida ko'rsatilgan eksperimentlarni qanday o'tkazishni aniqlash bilan bog'liq bo'lgan taktik rejalashtirish tushunchasi mavjud: har bir eksperimentni ishlab chiqilgan tajriba rejasi doirasida qanday o'tkazish

kerak? Bu yerda quyidagi vazifalar yechiladi: o'tkazish davomiyligini aniqlash, modellashtirish natijalarining to'g'riligini baholash va h.k.

Imitatsion model bilan bunday imitatsiya eksperimentlari yo'naltirilgan hisoblash eksperimentlari deb ataladi.

Mazmuni dastlabki analitik tadqiqot (ya'ni, hisoblash tajribasining ajralmas qismi bo'lgan) bilan aniqlangan va natijalari ishonchli va matematik jihatdan asoslangan bo'lgan imitatsion eksperiment yo'naltirilgan hisoblash eksperimenti deb ataladi.

Imitatsion modellashtirishning umumiy texnologik sxemasi quyidagicha (11.2-rasm).



11.2-rasm. Imitatsion modellashtirishning texnologik sxemasi.

1 – Real (haqiqiy) tizim; 2 – Mantiqiy-matematik modelni tuzish; 3 – Modellashtiruvchi algoritmni ishlab chiqish; 4 – Imitatsion (mashina) modelni tuzish; 5 – Imitatsion eksperimentlarni rejalashtirish va o'tkazish; 6 – Natijalarni qayta ishlash va tahlil qilish; 7 – Real tizim xatti-harakati to'g'risida xulosalar (qaror qabul qilish).

Nazorat savollari

1. Imitatsion modellashtirish usulini tushuntirib bering.
2. Qaysi tadqiqot usuli asosida imitatsion modellar tuziladi?
3. Imitatsion modellashtirish jarayonida nechta asosiy element mavjud bo'lishi kerak?
4. Imitatsion tadqiqot jarayoni sxemasini tushuntirib bering.

5. Imitatsion modellashtirishning o'ziga xos xususiyati nimalardan iborat?
6. Imitatsion modelni tavsiflashda ajratib ko'rsatilgan ikkita komponentni tushuntirib bering.
7. Imitatsion modelni tuzish uchun nimalar zarur?
8. Haqiqiy tizimning parallel hodisalariga imitatsiya qilishni ta'minlash qanday amalga oshiriladi?
9. Qaysi hollarda o'zgarmas qadam usuli qo'llaniladi?
10. Hodisalar usuli qachon qo'llaniladi?
11. Imitatsion modellarning turlariga ta'rif bering.
12. Modellashtirish algoritmi nima va u qanday tuziladi?
13. Deterministik va stoxastik holatlarni tushuntirib bering.
14. Strategik rejalashtirish deb nimaga aytiladi?
15. Hisoblash eksperimentiga ta'rif bering.
16. Imitatsion modellashtirishning texnologik sxemasini tushuntirib bering.

XII-BOB. IMITATION MODEL XUSUSIYATLARINI SINASH VA TADQIQ QILISH

REJA:

12.1. Imitation modelni testdan o'tkazishga bo'lgan kompleks yondashuv.

12.2. Imitation modelning adekvatligini tekshirish.

12.3. Imitation modelni verifikatsiya qilish.

12.4. Imitation model sezgirligini tahlil qilish.

12.5. Imitation eksperimentni taktik rejalashtirish.

12.1. Imitation modelni testdan o'tkazishga bo'lgan kompleks yondashuv

Imitation model kompyuterda amalga oshirilgandan so'ng, modelni sinab ko'rish va tekshirish kerak. Bu imitation modellashtirishda juda muhim va hal qiluvchi holat hisoblanadi. Ehtiyotkorlik bilan bajarilmagan tekshiruv noma'lum oqibatlarga olib kelishi mumkin.

Modellashtirish haqiqiy muammolarni hal qilish bilan bog'liq bo'lganligi sababli, biz, birinchi navbatda, modellashtirishning yakuniy natijalari ishlarning haqiqiy holatini to'g'ri aks ettirishiga ishonch hosil qilishimiz kerak. Agar imitation eksperiment to'g'ri amalga oshirilgan bo'lsa, imitation model va undan olingan ma'lumotlar foydali bo'ladi va undan real tizimning holatini aniqlashda foydalanish mumkin.

Imitation modellar yuqori darajadagi izomorfizmga ega (izomorfizm – bu modelning obyekt bilan o'xshashligi), chunki model elementlari va modellashtirishning real obyektiga o'rtasida yakkamayakka muvofiqlik mavjud bo'lib, elementlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirning tabiati saqlanib qoladi (imitation model modellashtirish).

tirilayotgan tizimning strukturasi va ichki aloqalarini aks ettirish uchun mo'ljallangan)

Modelning yaroqlilik doirasi qanchalik keng bo'lsa, uning tuzilishi tizim tuzilishiga shunchalik yaqin bo'ladi va detallashtirish darajasi shunchalik yuqori bo'ladi, deb hisoblanadi. Biroq, aksariyat modellar gomomorfikdir. Har qanday modelni tuzishda real tizimni soddalashtirish va abstraksiya qilishdan foydalaniladi, shuning uchun model uning real tizimiga aniq moslik ma'nosida mutlaqo aniq bo'lmaydi. Bundan tashqari, tizimni tavsiflashda, obyektivlikka intilishga qaramay, subyektiv omil mavjud. Asosiy masala – bu ma'lum ma'noda model qanchalik gomomorf va ayni paytda aniq hisoblanadi.

Shunday qilib, imitatsion modelni o'rganish bosqichida biz modelga bo'lgan ishonchimizni mustahkamlashimiz, modelning funktsional ishonchli ekanligini tasdiqlashimiz va baholashimiz kerak. Bir qator tekshiruvlar o'tkazish va modelni tekshirish jarayonida modellashtirishdan olingan xulosalar to'g'ri va haqiqiy tizimga taalluqli bo'lishiga ishonchning maqbul darajasiga erishishi kerak.

Bu murakkab, falsafiy muammo. Modellashtirish – bu atrofdagi voqelikni ilmiy bilish usuli hisoblanadi. Tarixan fanda ilmiy bilish usullariga munosabat haqida bir qancha yo'nalishlar mavjud: empirizm, ratsionalizm, mutlaq pragmatizm.

Falsafiy spektrning oxirida empirizm bor, uning mezoni esa – amaliyotdir. Empirist (empirik tadqiqotlar olib boruvchi) har qanday gipotezani tekshirilayotganda (tajriba orqali yoki empirik ma'lumotlar tahlili asosida) u empirik sinovdan o'tishi kerak deb hisoblaydi.

Ratsionalizm formal mantiq usullarini qo'llashga asoslanadi. Ratsionalistlarning fikriga ko'ra, model – bu shartlardan obyektiv xulosalarga olib kelishi mumkin bo'lgan mantiqiy deduksiya qoidalari (masalan, “agar, undan keyin”). Ma'lum bo'lishicha, modelning to'g'riligiga rozi bo'lish, bunday modelni tuzishning asosiy shartlari va mantiqiga rozi bo'lishni anglatadi. (Agar dastlabki shartlar asossiz,

xato bo'lsa-chi? Biz faqat haqiqatga unchalik aloqasi bo'lmagan o'z fikrlarimizni modellashtirsakchi? Bunday savollarni har doim yangi tizim tahlilchisi o'z oldiga qo'yadi).

Uchinchi falsafiy yondashuv – mutlaq pragmatizm falsafasi, unda asosiy mezon – foydalilik, model qandaydir aniqlik bilan ma'lum maqsadlarga erishishga imkon berishi va foydali natijalar olish kerakligini ta'kidlaydi, shuning uchun pragmatikani modelning ichki qismi, ya'ni – “qora quti” qiziqitirmaydi, uni faqat modelning kirish va chiqishlari o'rtasidagi nisbatlar qiziqtiradi.

Ammo haqiqat, faylasuflar aytganidek, o'rtada yotadi. Shuning uchun modelning mosligini har tomonlama tekshirish, barcha falsafiy nuqtayi nazarlarni aks ettiruvchi modelni har tomonlama baholash kerak.

Imitatsion modellashtirishning jahon amaliyotida hozirgi kunga qadar imitatsion modellarning ishonchliligini baholash muammosini hal qilish uchun ma'lum tushunchalar va yaxshi o'rnatilgan yondashuvlar shakllangan. Shuni ta'kidlash kerakki, ishonchlilikni baholash imitatsion modellashtirishning “abadiy” muammolaridan biri hisoblanadi.

Bu holat, birinchi navbatda, imitatsion modellashtirishdan tadqiqot vositalari sifatida foydalanishning o'ziga xosligi bilan bog'liq bo'lib, u matematik modellashtirishning klassik usullaridan farqli o'laroq, murakkab tizimlarni o'rganishda tadqiqotchilarini bunday tizimlarni aniqlash (tavsiflash) uchun tegishli formallashtirilgan vositalar bilan ta'minlamaydi. Ammo shuni ta'kidlash joizki, imitatsion modellashtirishda ba'zi tadqiqot protseduralarini amalga oshirish qulayligi, masalan, sezgirlikni tahlil qilish, imitatsion modellashtirish usulini jozibador va arzon qiladi.

Amaliyotda baholashning 3 ta asosiy toifasi mavjud:

- **Adekvatlikni baholash yoki modelni tekshirish (validatsiya).**

Umumiy holda, tekshirish (validatsiya) imitatsion modelning xatti-harakati va o'rganilayotgan real tizim o'rtasidagi muvofiqlikni

tekshirishni o'z ichiga oladi. Modelni tekshirish – bu ko'rib chiqilayotgan dastur doirasidagi model modellash maqsadlariga muvofiq qoniqarli aniqlik bilan harakat qilishini tasdiqlashdir.

- **Modelni verifikatsiyalash.**

Bu modelning xatti-harakati tadqiqotchining maqsadiga va modellashga mos kelish yoki kelmaligini tekshirishdir. Ya'ni modelning maqsadga muvofiq harakat qilishini ta'minlash uchun tekshirish protseduralari amalga oshiriladi. Buning uchun imitatsion modelning rasmiy va norasmiy tadqiqotlari amalga oshiriladi.

Imitatsion modelni verifikatsiyalash yaratilgan dasturiy ta'minot modelidan ikkinchisiga maksimal o'xshashlikni ta'minlashga asoslangan konseptual modelning mashina analogi sifatida foydalanish imkoniyatini isbotlashni o'z ichiga oladi. Verifikatsiya prosedurasining maqsadi – bu o'xshashlikka muvaffaqiyatli erishish mumkin bo'lgan darajani aniqlash.

Imitatsion modelni tasdiqlash va tekshirish modelning ichki tuzilishini asoslash bilan bog'liq bo'lib, ushbu protseduralar davomida ichki tuzilma va qabul qilingan farazlar tekshiriladi, modelning ichki izchilligi tekshiriladi.

- **Ma'lumotlarni tekshirish.**

Ma'lumotlarni validatsiya qilish (ma'lumotlarning haqiqiylikni aniqlash) modelda foydalaniladigan barcha ma'lumotlar, shu jumladan kiritilgan ma'lumotlar, qoniqarli aniqlikka ega ekanligini va o'rganilayotgan tizimga zid emasligini va parametr qiymatlari aniq belgilangan va to'g'ri ishlatilganligini isbotlashga qaratilgan.

Ushbu tekshiruvlar muammoli tahlil bilan bog'liq, ya'ni eksperiment qilish natijasida olingan ma'lumotlarni tahlil qilish va izohlash bilan bog'liq.

Muammoli tahlil – bu imitatsion modelda eksperiment o'tkazish natijasida olingan ma'lumotlarga asoslangan statistik ahamiyatga ega xulosalarni shakllantirishdir. Model yordamida olingan ma'lumotlarning talqin qilinishining to'g'riligi tekshiriladi va imitatsion

eksperiment natijasida olingan statistik xulosalar baholanishi mumkin. Shu maqsadda imitatsion modelning xususiyatlarini o'rganish amalga oshiriladi: imitatsiya natijalarining aniqligi, barqarorligi, sezgirligi baholanadi. Ushbu tekshiruvlar modelning chiqishlari bilan bog'liq, imitatsion modelning o'zi "qora quti" sifatida ko'rib chiqiladi.

Shunday qilib, ishlab chiqilgan imitatsion modelni sinovdan o'tkazish va tadqiq qilish bosqichida modelni kompleks sinovdan o'tkazish (sinov) tashkil etiladi, ya'ni – rejalashtirilgan iterativ jarayon. Imitatsion modellar va ma'lumotlarini tekshirish va tasdiqlash uchun proseduralarni qo'llab-quvvatlash usuli.

12.2. Imitatsion model adekvatligini tekshirish

Modellashtirishda tadqiqotchini birinchi navbatda model model-lashtirilayotgan tizimni (modellashtirish obyektni) qanchalik yaxshi ifodalashi qiziqtiradi. Xatti-harakati modellashtirilgan tizimdan juda farq qiladigan model amalda foydasiz hisoblanadi. Mavjud va loyiha-lashtirilayotgan tizimlarning modellari alohida ajratib ko'rsatiladi.

Agar haqiqiy tizim (yoki uning prototipi) mavjud bo'lsa, vaziyat juda oddiy. Shuning uchun, mavjud tizimlarning modellari uchun tadqiqotchi imitatsion modelning modellashtirish obyektiga muvofiq-ligini, ya'ni real tizimning xatti-harakati va modelning xatti-harakati o'rtasidagi moslikni tekshirishi kerak.

Haqiqiy tizimga o'lchash mumkin bo'lgan, ammo nazorat qilib bo'lmaydigan G^* o'zgaruvchilari, tadqiqotchi tabiiy eksperimentlar jarayonida o'zgartirishi mumkin bo'lgan X^* parametrlari ta'sir qiladi. Tizimning chiqishida Y^* ning chiqish xususiyatlarini o'lchash mumkin.

Shu bilan birga tadqiqotchiga noma'lum bo'lgan $Y^*=f^*(X^*, G^*)$ ko'rinishidagi bog'liqlik mavjud.

Imitatsion modelni kirish o'zgaruvchilarini chiqish o'zgaruv-chilariga aylantiruvchi sifatida ko'rish mumkin. Har qanday imitatsion

modelda tashkil etuvchilar ajralib turadi, bular: komponentalar, o'zgaruvchilar, parametrlar, funksional bog'liqliklar, chegaraviy shartlar, maqsad funksiyalar. Tizimning modeli berilgan $Y=f(X, G)$ funksiyani bajarish uchun birlashtirilgan komponentalar to'plami sifatida aniqlanadi.

Bu yerda Y, X, G mos ravishda chiqish o'zgaruvchilari tizimi modelining ta'siri natijasi vektorlari, modellashtirish parametrlari, modelning kirish o'zgaruvchilari. Tadqiqotchi modelning X parametrlarini ixtiyoriy tanlaydi, G esa faqat modellashtirish obyekti ma'lumotlariga xos bo'lgan qiymatlarni oladi.

Model adekvatligini baholashning aniq yondashuvi – bu model natijalarini va haqiqiy tizimning kirishlarini bir xil (agar iloji bo'lsa) qiymatlari bilan solishtirishdir. Bu va boshqa ma'lumotlar (imitatsion modelning chiqishida olingan ma'lumotlar va real tizim bilan eksperiment natijasida olingan ma'lumotlar) statistik ma'lumotlardir. Shuning uchun bu yerda baholashning statistik nazariyasi va gipotezalarni tekshirish usullari qo'llaniladi.

Ikkita tanlama uchun tegishli statistik mezondan foydalanib, biz tizim va model chiqish namunalari turli to'plamlardan olingan namunalardan yoki (H_1) “deyarli” bir xil to'plamga tegishli ekanligi haqidagi statistik farazlarni (H_0) sinab ko'rishimiz mumkin.

Adekvatlikni (muvofiqlikni) baholashda ikkita asosiy yondashuvni tavsiya etish mumkin:

1-usul: model va tizim javoblarining o'rtacha qiymatlari bo'yicha.

Gipoteza Y_n modeli javoblarining har bir n -komponentining o'rtacha qiymatlarining Y^*n real tizimi javoblarining n -komponentining ma'lum o'rtacha qiymatlariga yaqinligi to'g'risida tekshiriladi. N_1 tajribalar real tizimda va N_2 tajribalar imitatsion modelda (odatda $N_2 > N_1$) amalga oshiriladi.

Haqiqiy tizim va imitatsion model uchun matematik kutish va dispersiya mos ravishda $Y'n, D'n$ va Y_n, D_n baholanadi. O'rtacha

qiymatlar to'g'risidagi gipotezalar Styudentning t -mezoni yordamida tekshiriladi, bu yerda parametrik Mann-Uitni testidan va boshqalardan foydalanish mumkin. Masalan, Styudentning t -mezonidan foydalanishni ko'rib chiqamiz. Gipotezalarni tekshirish uchun asos bo'lib $En=(Y_n-Y'_n)$, uning dispersiyasini baholash hisoblanadi:

$$D_{pn} = \frac{(N_1-1)D_n + (N_2-1)D_n}{N_1 + N_2 - 2}$$

t -mezon esa

$$t_n = (Y_n - Y_n^*) \sqrt{\frac{N_1 N_2}{D_{pn}(N_1 + N_2)}}.$$

Styudent t -mezoni taqsimotining ozodlik darajalar soni $\gamma = N_1 + N_2 - 2$ bo'lgan jadvali olinadi (odatda $\alpha = 0.05$ qiymat bilan olinadi). Jadval bo'yicha t -mezonning t_{kr} kritik qiymati topiladi. Agar $t_n < t_{kr}$ kritik qiymatdan kichik bo'lsa, model va tizim javoblarining N -komponentining o'rtacha qiymatlarining yaqinligi haqidagi gipoteza qabul qilinadi. Va hokazo, javoblar vektorining barcha n -komponentlari bo'yicha.

2-usul: tizim javoblarining o'rtacha qiymatidan model javoblarining dispersiyalari bo'yicha.

Dispersiyalarni taqqoslash F mezoni (mustahkamlik haqidagi farazlarni tekshirish), kelishuv mezoni (katta tanlamalar uchun, $n > 100$), Kolmogorov-Smirnov mezoni (kichik tanlamalar uchun to'plamning o'rtacha va dispersiyasi ma'lum), Koxran va boshqa mezonlar yordamida o'tkaziladi.

Ikki dispersiyani baholashdagi farqlarning ahamiyati haqidagi gipoteza tekshiriladi: D_n^* va D_n .

F-statistika tuziladi: $F = D_n / D_n^*$, (odatda erkinlik darajalari $c_1 = c_2 = N_1 = N_2$ va ahamiyatlilik darajasi $\alpha = 0,05$ bilan beriladi), F-taqsimot uchun Fisher jadvallaridan, F_{kr} topiladi. Agar $F > F_{kr}$ bo'lsa, dispersiyalarning ikki bahosi orasidagi farqlarning ahamiyati haqidagi gipoteza qabul qilinadi, ya'ni javob vektorining n -komponenti nuqtayi nazaridan real tizim va imitatsion modelning adekvatligi yo'q.

Jarayon javob vektorining barcha komponentalari uchun xuddi shunday tarzda takrorlanadi. Agar kamida bitta komponenta uchun adekvatlik (moslik) bo'lmasa, u holda model adekvat emas deyiladi. Oxirgi holda, agar modeldagi kichik og'ishlar aniqlansa, adekvatlikni ta'minlash maqsadida imitatsion model kalibrlanishi mumkin (model-lashtirish algoritmgiga tuzatish, kalibrlash koeffitsiyentlari kiritiladi).

Agar haqiqiy tizim bo'lmasa-chi (bu loyihalash va prognozlash masalalari uchun xosdir)? Adekvatlikni tekshirish bu holatda muvaf-faqiyatsiz tugaydi, chunki haqiqiy obyekt mavjud emas. Modelni tadqiq qilish maqsadida ba'zan model bo'yicha maxsus testlar o'tkaziladi (masalan, bu harbiy tadqiqotlarda amalga oshiriladi). Bu sinovlarning murakkabligi va qimmatligiga qaramasdan, modelning to'g'riligini, uning amalda foydaliligini tekshirish imkonini beradi.

Haqiqiy tizim va modelning javoblari o'rtasidagi statistik taqqos-lashlardan tashqari imitatsion modelni validatsiya qilishning boshqa yondashuvlaridan foydalanish mumkin. Ba'zi hollarda tashqi ko'rinishni validatsiya qilishda Tyuring testi (ekspertlarning xatti-harakatlari o'rtasidagi farqni aniqlaydigan mutaxassislar) foydali bo'ladi, chunki model bilan ishlaydigan mutaxassislar nuqtayi naza-ridan modelning qanchalik adekvat bo'lishi zarur. Validatsiya jarayo-nida modelning buyurtmachisi bilan doimiy aloqada bo'lishni hamda tizim bo'yicha mutaxassislar bilan muhokama qilish talab etiladi. Shuningdek, model taxminlarini empirik sinovdan o'tkazish tavsiya etiladi, bunda ma'lumotlarning grafik tasviri, taqsimotlar haqidagi gipotezalarni sinovdan o'tkazish, sezgirlik tahlili va boshqalar amalga oshirilishi mumkin. Imitatsion modelni validatsiyalashning muhim vositasi oraliq natijalar va va chiqish ma'lumotlarining grafik tasviri shuningdek, modellash jarayonining animatsiyasi hisoblanadi. Ma'lumotlarning eng samarali ko'rinishlari bo'lib gistogrammalar, butun imitatsiya davri uchun individual o'zgaruvchilarning vaqt grafigi, munosabatlar grafigi, aylana va chiziqli diagrammalar hisob-

lanadi. Statistik texnologiyalarni qo'llash metodologiyasi real tizimdagi ma'lumotlarning mavjudligiga bog'liq.

12.3. Imitatsion modelni verifikatsiya qilish

Modelni verifikatsiyalash (tekshirish) – bu uning ishlash algoritmining modellashtirish tushunchasi va maqsadiga muvofiqligi haqidagi bayonotlarning isbotidir. Verifikatsiya bosqichida modelning mantiqiy tuzilishining to'g'riligi o'rnatiladi, kuzatuv asboblari, qo'lda imitatsiya yordamida murakkab operatsiyalar amalga oshiriladi, bunda modellashtirish algoritmini amalga oshirishning to'g'riligi tekshiriladi.

Verifikatsiyaning kompleks protseduralari imitatsiya dasturining norasmiy va rasmiy tadqiqotlarini o'z ichiga oladi. Norasmiy protseduralar quyidagi turdagi bir qator tekshiruvlardan iborat bo'lishi mumkin:

- axborotni kirishdan chiqishga aylantirishni tekshirish;
- real ma'lumotlar oqimida modelni kuzatish (berilgan G va X uchun):
 - X barcha qiymatlar oralig'ida o'zgaradi – Y nazorat qilinadi;
 - agar modelning parametrlari chegaraviy qiymatlarini olsa, model noto'g'ri javoblar bermasligini ko'rish mumkin;
 - “kutish imkoniyatini tekshirish”, stoxastik elementlar modeldagi deterministik elementlar bilan almashtirilganda va hokazo.

Ushbu muammolarni hal qilishda quyidagi usullar ham foydali bo'lishi mumkin:

- tanlangan modellashtirish bosqichiga qarab vaqt parametrlarini majburiy masshtablash (ma'lumotlarni validatsiya qilish (tekshirish));
- modeldagi “hodisalar” ning sodir bo'lishini tekshirish va haqiqiy tizim bilan taqqoslash (agar imkoni bo'lsa);
- modelni kritik qiymatlar va kamdan-kam holatlar uchun sinovdan o'tkazish;

- chiqish natijalarini ma'lum ma'lumotlar bilan keyinchalik taqqoslash bilan ba'zi kirish parametrlari uchun qiymatlarni aniqlash;
- modelning kirish va ichki parametrlari qiymatlari bo'yicha o'zgarishi, so'ngra o'rganilayotgan tizim xatti-harakatlarining qiyosiy tahlili;
- barcha kiritilgan parametrlarning o'zgarmagan qiymatlari bilan modelning takroriy ishlashini amalga oshirish;
- modellashtirish natijasida haqiqatda olingan tasodifiy o'zgaruvchilar taqsimotini baholash va ularning parametrlarini (matematik kutilish va dispersiya) aprior berilgan qiymatlar bilan baholash;
- tadqiqotchilar tomonidan tasdiqlangan modelning xatti-harakati va natijalarini ishonchliligi isbotlangan mavjud modellar natijalari bilan taqqoslash;
- o'rganilayotgan mavjud real tizim uchun uning kelajakdagi xatti-harakatlarini aniqlash va prognozni real kuzatishlar bilan taqqoslash.

Rasmiy protseduralar dastlabki taxminlarni tekshirish bilan bog'liq (mavjud ma'lumotlarga asoslangan tajriba, nazariy bilimlar, intuitsiyalar asosida ilgari surilgan). Umumiy protsedura quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- tizimning xatti-harakati va uning elementlarining o'zaro ta'siri haqida bir qator farazlarni tuzish;
- statistik testlar yordamida gipotezalarni tekshirish: ular gipotezalarni baholash va tekshirishning statistik nazariyasi usullaridan foydalanadi (moslik testlari yordamida tekshirish usullari χ^2 , Kolmogorov, Smirnov, Koxreyn va boshqalar), noparametrik tekshiruvlar va boshqalar, shuningdek dispersiya, regressiya, omilli, spektral tahlillar.

Imitatsion model ma'lumotlarini validatsiya qilish. Imitatsion model ma'lumotlarini validatsiya qilish (tekshirish) imitatsion modelning xususiyatlarini o'rganishni o'z ichiga oladi, uning davomida

modellashtirish natijalarining aniqligi, barqarorligi, sezgirligi va imitatsiya modelining boshqa xususiyatlari baholanadi.

Model xususiyatlarini o'rganish uchun eng muhim protseduralar quyidagilar:

- modellashtirish natijalarining to'g'riligini baholash;
- modellashtirish natijalarining barqarorligini baholash;
- imitatsion modelning sezgirligini baholash.

Ba'zi hollarda ushbu baholarni olish juda qiyin. Biroq, bu ishning muvaffaqiyatli natijalarisiz modelga ishonch bo'lmaydi, muammoni to'g'ri tahlil qilish va imitatsiya natijasida olingan ma'lumotlar asosida statistik ahamiyatga ega xulosalarni shakllantirish mumkin bo'lmaydi.

Modellashtirish natijalari aniqligini baholash.

Imitatsiyaning eksperimental tabiati model xarakteristikalarida olingan tasodifiy variatsiya baholarini hisobga olishimizni talab qiladi. Ushbu eksperimentlar paytida tadqiqotchi modelning chiqishlari bilan qiziqadi, avvalo uni quyidagilar qiziqtiradi:

- imitatsion modelning chiqishida ma'lumotlarning tarqalishi yoki imitatsiyaning aniqligi qanday;
- va modellashtirish natijasida olingan natijalardan qanday xulosa chiqarish mumkin?

Hodisalar imitatsiyasi aniqligi – bu murakkab tizim modelining ishlashiga stoxastik elementlarning ta'sirini baholash hisoblanadi.

Imitatsion modelning barcha stoxastik elementlariga fluktatsiya (tebranishlar) xosdir .

Bitta imitatsiya ishining ma'lumotlari yagona tanlamadir, ya'ni imitatsion model bo'yicha ishlash natijalari tasodifiy o'zgaruvchilar sifatida ko'rib chiqilishi mumkin, shuning uchun ularga matematik statistikaning barcha ta'riflari va qoidalari qo'llanilishi kerak. Shubhasiz, imitatsiyaning aniqligini oshirish (ma'lumotlarning tarqalishini kamaytirish) uchun (vakillik) tanlama hajmini katta qilish kerak. Shuning uchun eksperimental natijalarning berilgan aniqligiga erishish uchun tajriba bir necha marta takrorlanadi yoki uzoqroq vaqt taqlid

qilinadi va natijalar baholanadi. Aniqlikni oshirish uchun dispersiyani kamaytirishning maxsus usullari qo'llaniladi.

Aniqlik darajasi tasodifiy omil (dispersiya) tebranishlari miqdori bilan belgilanadi. Aniqlik o'lchovi bo'lib ishonch intervallari hisoblanadi.

Imitatsiya natijalarining to'g'riligini aniqlash uchun biz ishonchlilik intervallarini baholaymiz. Agar bizda to'plamning o'rtacha μ uchun $\bar{x}$ bahosiga ega bo'lsak, biz intervalning yuqori va pastki chegaralarini aniqlaymiz. Haqiqiy o'rtachaning intervalga to'g'ri kelishi ehtimoli ayrim berilgan qiymatga quyidagicha teng bo'lsin (α – ishonchlilik ehtimoli):

$$P\{\mu - d \leq \mu + d\} = 1 - \alpha, \quad (12.1)$$

bu yerda, $\bar{x}$ – tanlama o'rtacha,

$1 - \alpha$ – $\mu \pm d$ interval X o'z ichiga olishi ehtimolligi.

Modellashtirish natijalari barqarorligini baholash.

Imitatsiya natijalarining barqarorligi deganda, biz uning modelashtirish sharoitidagi o'zgarishlarga befarqlik darajasini tushunamiz. Bunday tekshirishning universal protsedurasi mavjud emas.

Modellashtirish natijalarining barqarorligi murakkab tizim variantining modelashtirish vaqtining oshishi bilan boshqariladigan modelashtirish parametrining ma'lum bir qiymatga yaqinlashishi bilan tavsiflanadi.

Amalda, modelashtirish natijalarining barqarorligini javob qiymatlarining tarqalishi bilan baholash tavsiya etiladi (tanlangan komponent uchun). Agar bu dispersiya T_{mod} modelashtirish vaqtining ortishi bilan ortib ketmasa, u holda modelashtirish natijalari barqaror bo'ladi.

Barqarorlikni baholash uchun quyidagi metodologiyani tavsiya etish mumkin. Model vaqtida Y ning chiqish parametrlari t qadam bilan boshqariladi. Y parametridagi o'zgarishlar amplitudasi baholanadi.

Tarqalishining boshlang'ich qiymatdan boshqariladigan parametr $t+Dt$ ga o'zgarishi o'rganilayotgan jarayonni imitatsiya qilish bog'liqligining beqarorligini ko'rsatadi.

Turli xil ish vaqtlari bo'lgan testlar uchun imitatsion model ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$) dispersiya qiymatlari farqlarining tengligi haqidagi statistik gipotezani sinab ko'rish uchun Bartlett mezonidan foydalanish mumkin:

$$B = \frac{1}{c} \left(\int \ln S^2 - \sum_{i=1}^k f_i \ln S_i^2 \right),$$

bu yerda,

$$S^2 = \frac{1}{f} \sum_{i=1}^k f_i S_i^2$$

$$f = \sum_{i=1}^k f_i, \quad f_i = n-1$$

Normal bosh to'plamlar k -dispersiyasini qo'zg'almas baholash metodikasi quyidagicha.

1. Ishlash davomiyligi o'rnatilgan $(0, t^{\text{mod}})$.
2. Javob vektor y_i ning boshqariladigan komponenti tanlanadi.
3. Dt qadam beriladi.

Har bir bosqichda y_i nazorat qilinadi, dispersiya baholanadi va hokazo. Nol statistik gipoteza (H_0) tuziladi: dispersiyalarning tengligi haqida gipoteza Bartlett mezoni yordamida tekshiriladi.

V_{hisob} test bilan taqqoslanadi. Agar $B > \chi^2$ bo'lsa, u holda H_0 statistik gipoteza qabul qilinadi. Model javob vektorining i -komponentida barqaror ekanligiga ishoniladi va boshqa komponentalar ham shu tariqa tekshiriladi.

Muvaffaqiyatli tekshiruvdan so'ng, model chiqish o'zgaruvchilarining butun vektori bo'yicha barqaror deb hisoblanadi.

12.4. Imitatsion model sezgirligini tahlil qilish

Model sezuvchanligini tahlil qilish kirish o'zgaruvchilari qiymatlaridagi o'zgarishlar modelning javoblariga (chiqish o'zgaruvchilari)

ta'sirini baholashni aniqlaydi. Modellashtirish natijalaridan olingan asosiy xulosalarning haqiqiyligi kirish ma'lumotlarining qaysi tarqalishida saqlanishini aniqlash kerak.

Sezuvchanlik tahlili deganda, yakuniy modellashtirish natijalarining foydalanilgan parametr qiymatlarining o'zgarishiga sezgirlikni aniqlash tushuniladi. Tahlil Y chiqish o'zgaruvchisi modelning turli parametrlarida yoki uning X kirishlarida kichik o'zgarishlar bilan qanday o'zgarishini anglatadi.

Imitatsion modellashtirishda sezgirlik tahlilini bajarish qulayligi bu usulning afzalliklaridan biridir. Sezuvchanlikni baholash juda muhim protsedura va imitatsion eksperimentni rejalashtirishdan oldingi tayyorgarlik bosqichidir.

Gap shundaki, parametrlarning qiymatlari ma'lum chegaralarda ($X_{\min}$ - $X_{\max}$) muntazam ravishda o'zgarib turadi va bu o'zgarishlarning tizim xususiyatlariga ta'siri ($X_{\min}$ - $X_{\max}$) kuzatiladi. Agar ba'zi parametrlarning qiymatlarida kamroq o'zgarishlar bo'lsa, natijalar juda o'zgarsa, bu aniqroq hisob-kitoblarni olish uchun ko'p vaqt va pul sarflashning sababidir. Va aksincha, agar parametr qiymatlari keng diapazonda o'zgarganda yakuniy natijalar o'zgarmasa, bu yo'nalishda keyingi tajribalar foydasiz va asossizdir. Shuning uchun, tadqiqot uchun tanlangan qiymatlarga – parametrlarga nisbatan natijalarning sezgirlik darajasini aniqlash juda muhimdir.

Sezuvchanlikni o'rganish eksperimentni rejalashtirishdan oldingi dastlabki protsedura bo'lib, imitatsion modelda eksperimentlarni rejalashtirish strategiyasini aniqlash imkonini beradi. Ushbu ma'lumot X model parametri vektorining komponentalarini model javob vektorining sezgirlik qiymati bo'yicha tartiblash uchun yetarli. Agar model X_q modeli parametr vektorining istalgan q -komponentiga befarq bo'lib chiqsa, u holda ko'pincha X_q ning o'zgarishi imitatsiya eksperimenti rejasiga kiritilmaydi, bu esa modellashtirishdagi vaqt resursini tejaydi.

Sezuvchanlik tahlili, shuningdek, ishlab chiqilayotgan modelga tuzatishlar kiritishga yordam beradi – masalan, taqsimot qonunidan foydalanishdan o‘zgaruvchining o‘rtacha qiymatidan foydalanishga o‘tishni soddalashtirish va ba’zi bir quyi tizimlardan butunlay voz kechish (yoki jarayonlarni batafsil bayon qilinmaydi). Aksincha, sezgirlik tahlili modelning qaysi qismlarini batafsilroq ishlab chiqish foyda keltirishini ko‘rsatishi mumkin.

Imitatsion modelning sezgirligi modellashtirish statistikasi bo‘yicha hisoblangan tanlangan sifat mezonining minimal o‘rish qiymati, imitatsiya parametrlarini ularning o‘zgarishining butun diapazoni bo‘ylab ketma-ket o‘zgarishi bilan ifodalanadi.

Sezgirlikni baholash metodikasi (protsedurasi).

Har bir X omil uchun o‘zgarish oralig‘i ($\min X_q$, $\max X_q$) aniqlanadi. X vektorning qolgan komponentalari o‘zgarmaydi va markaziy nuqtaga to‘g‘ri keladi. Model bo‘yicha bir necha eksperimentlar o‘tkaziladi va namunaviy javoblar olinadi (mos ravishda $\min Y$, $\max Y$). Sezuvchanlik mutlaq yoki nisbiy qiymatlar yordamida baholanadi. Oxirgi holda, parametrlar vektorining qo‘shimcha o‘sishi hisoblanadi.

$$\delta X_q^0 = \frac{(\max X_q - \min X_q)^2}{(\max X_q + \min X_q)} \cdot 100\%$$

va javob berish vektorining qo‘shimcha o‘sishi hisoblanadi

$$\delta Y_q = \frac{(\max Y_q - \min Y_q)^2}{(\max Y_q + \min Y_q)} \cdot 100\%$$

va $\delta Y_q^0 = \max\{\delta Y_n\}$ ni tanlab oladi.

Shunday qilib, X parametr vektorining q -komponenti uchun modelning sezgirligi (δX_q^0 , δY_q^0) qiymatlar juftligi bilan aniqlanadi.

Kompleksda ko‘rib chiqilgan barcha protseduralar ishlab chiqilgan imitatsion modelga ishonchni ta‘minlash va model bilan ishlashning keyingi bosqichlariga o‘tish uchun zarur bo‘lgan axborot bazasini ta‘minlaydi.

12.5. Imitatsion eksperimentni taktik rejalashtirish

Imitatsion model va uning dastur kodini tekshirish va tasdiqlash protseduralari ham taktik, ham strategik rejalashtirish jarayonida ishlab chiqilgan ssenariylar bo'yicha keng ko'lamli verifikatsiya va validatsiya protseduralarini talab qiladi.

Strategik rejalashtirish imitatsion modelning sezgirligini tahlil qilish muammolarini hal qilishga va o'rganilayotgan tizimni optimalashtiradigan parametrlar kombinatsiyasini aniqlashga qaratilgan.

Taktik rejalashtirish ishlab chiqilgan eksperimental reja doirasida har bir sinovni o'tkazish shartlarini aniqlashga imkon beradi va samaradorlik hamda eksperimental rejada ko'rsatilgan sinovlarni qanday o'tkazishni aniqlash bilan bog'liq.

Taktik rejalashtirish imitatsion modellarni aniq baholash muammosini hal qilishga qaratilgan bo'lib, stoxastik model sharoitida eksperimental natijalarning ma'lum aniqligiga erishish uchun ular takroriy amalga oshirishga (ko'p sinovlarni bajarishga) moyilligi bilan bog'liq. Murakkab model eksperimentini kompyuterda bir qator sinovlarni o'tkazish vaqti katta bo'lishi mumkin va tajriba uchun ajratilgan kompyuter vaqti mavjud vaqt va kompyuter resurslari bilan cheklanadi. Shuning uchun kam sonli sinovlar bilan maksimal ma'lumot olishga intilish kerak.

Asosiy qarama-qarshilik natijalarning aniqligi va resursga qo'yilgan chegaralardir (kompyuter vaqtining narxi va bir qator eksperimentlarni o'tkazish narxi). Amalda murosaga erishiladi. Yuqorida biz eksperimentator nafaqat ma'lumotlarni olishi, balki ularning to'g'riligini ham baholashi kerakligini muhokama qildik, ya'ni ushbu natijalar asosida chiqariladigan xulosalarga bo'lgan ishonch darajasi. Shuning uchun, u sinov muddatini yoki sinov sonini (tanlama o'lchami) oshirishga intiladi, chunki natijalarning aniqligi sinov soniga bog'liq.

Shu munosabat bilan hal etilayotgan taktik rejalashtirishning asosiy masalalari (vazifalari) quyidagilar:

- imitatsion sinovning davomiyligi yoki har bir sinovning zaruriy takroriy sonini (tanlama o'lchamini) aniqlash, modellashtirish natijalarining berilgan aniqligini ta'minlash;

- o'tish rejimining davomiyligini aniqlash (statsionar holatni tahlil qilish), boshlang'ich shartlarni belgilash (boshlang'ich holat).

Bu yerda quyidagi masalalar ham hal qilinadi:

- modellashtirish qadamini to'g'ri tanlash, chunki real tizimda sodir bo'ladigan hodisalar zanjirlarini imitatsion modelda takrorlashning aniqligi modellashtirish bosqichiga bog'liq;

- natijalarning takrorlanishini nazorat qilish;

- to'xtash qoidalarini belgilash;

- chiqishlarning dispersiyasini kamaytirish (dispersiyani kamaytirish uchun maxsus usullar qo'llaniladi);

- imitatsiya modelida psevdo tasodifiy sonlar generatorlari mavjudligi sababli imitatsiya xatosini kamaytirish va boshqalar.

Taktik rejalashtirishning asosiy vazifalarini ko'rib chiqamiz.

Kerakli sinovlar sonini aniqlaymiz. Sinovlarni tashkil etishning asosiy usullari: takroriy sinovlar, kichik intervallar usuli (sinovlar guruhlariga bo'linadi, arifmetik o'rtacha hisoblanadi). Modellashtirilayotgan tasodifiy jarayonning butun ketma-ketligi bo'yicha statistik tahlil qilish uchun yoki imitatsiya bir necha marta takrorlanadi (takroriy sinovlar usuli), yoki imitatsiya uzoqroq vaqt davomida amalga oshiriladi (kengaytirilgan sinovlar usuli).

Imitatsion sinov davomiyligini belgilashning asosiy usullari:

- Ko'pincha modellashtirish tugashi uchun vaqt momenti beriladi;

- Tanlama o'lchamini boshqaruvchi usul (avtomatik to'xtatish qoidalari qo'llaniladi):

- model kirishiga bo'lgan komponentalar sonini belgilash;

– tizimda qayta ishlangan komponentalar sonini belgilash va boshqalar.

Imitatsion model bo'yicha olingan natijalar statistik ahamiyatga ega bo'lishi uchun ular tajribani takrorlash va natijalarni o'rtacha hisoblash orqali modellashtirish natijalarining aniqligini oshirishga intiladi. Bu usul samarasiz, chunki:

$$\sigma \sim \frac{1}{\sqrt{n}},$$

bu yerda, n -takrorlashlar soni.

Savol: Modellashtirish natijalarining statistik ahamiyatini ta'minlash uchun qancha tanlama qiymatlarini olish kerak. Bu yerda asosiy vazifa berilgan aniqlik uchun kerakli sinovlar sonini aniqlashdir. Masala yuqoridagi ishonchlilik intervallari usuli bilan aniqlikni baholash masalasiga teskari hisoblanadi.

Masala (12.1) ni qanoatlantirish uchun zarur bo'lgan n tanlama hajmini aniqlashdir.

Bosh to'plamdan olingan tanlama qiymatlarning normal taqsimlanishini nazarda tutsak, u holda

$$n = (\sigma Z_{\alpha/2})^2 / d^2,$$

bo'ladi. Bu yerda, $Z_{\alpha/2}$ – ikki tomonlama normal statistika.

Bu yerda, n ni topish uchun $\sigma, Z_{\alpha/2}, d$ larni bilish kerak.

Amaliyotda, sinab ko'riladigan sinovlar amalga oshiriladi va quyidagicha ish tutiladi:

$$n \cong Z_{\alpha/2}^2 \cdot \frac{\sigma^2}{d^2},$$

$$n \cong n_0 \cdot \frac{d_0^2}{d^2},$$

bu yerda, n – kerakli sinovlar soni; n_0 – sinab ko'riladigan sinovlar soni; d_0 – sinab ko'riladigan sinovlar natijalari bo'yicha hisoblangan ishonchlilik intervali; d – talab qilinadigan aniqlik.

O'rnatilgan holat tahlili. Tizim ishining beqaror rejimlarini istisno qilish uchun modelning tezlashuv qismini aniqlash.

Oʻrnatilgan holat (statsionar) modelning shunday holati boʻlib, barqaror holatdagi javobning ketma-ket kuzatuvlari maʼlum bir cheklovchi statsionar ehtimollik taqsimotiga ega boʻlib, vaqtga bogʻliq boʻlmaydi.

Modellashtirish rejimining statsionarligi mazkur tizim modelidagi jarayonlarning maʼlum bir barqaror holatdagi muvozanatini tavsiflaydi. Koʻpincha dinamik tizim muvozanatda (statsionar holatda) boʻladi, deb aytiladi, agar uning ishlashi chekli statsionar taqsimot parametrlariga muvofiq sodir boʻlsa hamda u vaqtga bogʻliq boʻlmasa (yaʼni agar siz imitatsiya qilsangiz va undan keyin siz yangi maʼlumot olmaysiz va imitatsiyani davom ettirish vaqtini behuda sarflash boʻladi). Odatda, imitatsion modellar tizimni odatiy sharoitlarda oʻrganish uchun ishlatiladi. Oʻrnatilgan holat odatda tipik ish sharoitlari uchun xosdir (ommaviy xizmat tizimlari uchun dastlabki holatlar (0,0) holat tabiiy emas – “boʻsh va band emas”), masalan, aeroportda, transportda, shifoxonada xizmat koʻrsatish jarayonlari.

Baʼzi stoxastik modellarda modelning kerakli barqaror holatga kelishi uchun biroz vaqt zarur boʻladi, simulatsiya modeli darhol statsionar ish rejimiga kirmaydi.

Modellashtirishning statsionar rejimiga erishish momentini aniqlash va modellashtirishning dastlabki davri taʼsirini kamaytirish yoki uni modellashtirish natijalaridan chiqarib tashlash haqida oʻylash kerak. Shubhasiz, agar faqat oʻrnatilgan holat oʻrganilsa, statistik baholarning sifati oshadi. Dastlabki davrning modellashtirish natijalariga taʼsirini bartaraf etish uchun quyidagilar taklif etiladi:

- Statistik muvozanatga erishish uchun modelning uzoq sinovlaridan foydalanish (agar mashina vaqti imkon bersa). Ushbu yondashuvning kamchiligi shundaki, u kompyuterda koʻp vaqtini oladi.
- Sinovshning dastlabki davrini koʻrib chiqishdan chiqarib tashlash. Imitatsiya modeli barqaror holatga kirganda, ular kesish protseduralari haqida oʻylashadi, hozirgi vaqtda avvalgi statistika yoʻq qilinadi. Kamchilik shundaki, modellashtirish natijalarini nazorat

qilish zarur, stoxastik model sharoitida barqaror holatni aniqlash qiyin, bundan tashqari, kompyuter vaqti imitatsiyaga emas, balki barqaror holatni tahlil qilishga sarflanadi.

- Odatdagi holatga eng yaqin bo‘lgan bunday boshlang‘ich shartni tanlash, bu bilan modeldagi vaqtinchalik rejimning davomiy-ligini sezilarli darajada qisqartirishga erishish. Buning uchun tizim statsionar rejimga o‘tish vaqtini aniqlash uchun sinab ko‘ruvchi sinov o‘tkaziladi.

Nazorat savollari

1. Imitatsion eksperiment nima va u qanday tashkil etiladi?
2. Imitatsion modellashtirishda izomorfizm nima?
3. Qachon real tizimni soddalashtiriladi va abstraksiya qilinadi?
4. “Qora quti” nima va u imitatsion modellashtirishda qanday rol o‘ynaydi?
5. Validatsiya nima?
6. Modelni verifikatsiyalash qanady amalga oshiriladi?
7. Muammoli tahlil deganda nimani tushunasiz?
8. Adekvatlik nima va imitatsion modellashtirishda adekvatlikdan qanday foydalaniladi?
9. Har qanday imitatsion modelda tashkil etuvchilar nimalardan iborat?
10. Adekvatlikni baholashda qanday yondashuvlardan foyda-laniladi?
11. Haqiqiy tizim va imitatsion model bo‘yicha qanday ko‘rsatkichlar hisoblanadi?
12. Styudentning t -mezonidan qachon foydalaniladi?
13. Qachon model adekvat emas deyiladi?
14. Imitatsion modelni kalibrlash deganda nimani tushunasiz?
15. Tyuring testidan qaysi hollarda foydalaniladi?
16. Modelni verifikatsiyalash deganda nimani tushunasiz?
17. Verifikatsiya bosqichlarini tushuntirib bering.

18. Imitatsion model ma'lumotlarini validatsiya qilish deganda nimani tushunasiz?

19. Fluktatsiya nima va u imitatsion modelga qanday aloqasi bor?

20. Modellashtirish natijalarining barqarorligi deb nimaga aytiladi?

21. Normal bosh to'plamlar k -dispersiyasini qo'zg'almas baholash metodikasini izohlab bering.

22. Imitatsion model sezgirligi deganda nimani tushunasiz?

23. Sezgirlikni baholash metodikasini izohlab bering.

24. Strategik rejalashtirish nimaga mo'ljallangan?

25. Taktik rejalashtirishning asosiy vazifalarini tushuntirib bering.

XIII-BOB. IMITATION MODELDA YO‘NALTIRILGAN HISOBLASH EKSPERIMENTLARINI TASHKIL ETISH VA O‘TKAZISH TEXNOLOGIYASI

REJA:

**13.1. Imitation modelda yo‘naltirilgan hisoblash eksperimenti
va uning mazmuni.**

**13.2. Imitation modellashtirishda hisoblash eksperiment-
larining asosiy maqsadlari va turlari.**

**13.3. Eksperimentlarni rejalashtirishning asosiy nazariyalari.
Asosiy tushunchalar: strukturaviy, funksional va eksperi-
mental modellar.**

13.1. Imitation modelda yo‘naltirilgan hisoblash eksperimenti va uning mazmuni

Avvalgi mavzularda kompyuterda modellashtirish hisoblash eksperimentini ilmiy tadqiqotning yangi metodologiyasi sifatida ko‘rishini muhokama qilgan edik. Imitation usulni real hayot tizimi haqida ma’lumot olish uchun model bilan tajriba o‘tkazishni o‘z ichiga olgan eksperimental usul sifatida aniqladik. Hisoblash tajribasi bu yerda qaror qabul qilish uchun zarur bo‘lgan ma’lumotlarni olish imkonini beruvchi imitatsiya modelida tashkil etilgan maqsadli tadqiqot sifatida qoraladi.

Yuqorida ta’kidlaganimizdek, imitation modellar – bu hisoblash emas, balki sinovlar natijasida olinadigan modellardir. Imitatsiya modeli bo‘yicha tadqiqotni amalga oshirishdan biri, eksperiment bir qator sinovdan iborat bo‘lib, uning davomida tizimning ishlashini baholash ma’lum bir dastlabki ma’lumotlar to‘plami va ma’lum bir shartlar to‘plami bilan (qat’i) amalga oshiriladi. Imitation modelning o‘ziga xos xususiyati shundaki, imitation modelni kompyuterda har bir marta sinovdan o‘tkazganda, ishlashi faqat imitatsiya dasturiga kiritilgan parametrlar, o‘zgaruvchilar va tizimli munosabatlarning

ma'lum qiymatlari uchun amal qiladigan natijalar beradi. Imitatsion tadqiqotlarning maqsadi – kiritish shartlari o'zgarganda imitatsion modelni ma'lumotlar bilan ta'minlashdir.

Imitatsion eksperimentning mazmuni quyidagilar bilan belgilanadi:

- dastlabki o'tkazilgan analitik tadqiqot (hisoblash eksperimentining ajralmas qismi hisoblanadi),

- uning natijalari ishonchli va matematik jihatdan asoslangan bo'lsa, buni yo'naltirilgan hisoblash eksperimentini deb ataymiz.

Yuqorida keltirilgan ta'rif tadqiqotchining imitatsion model bo'yicha hisoblash tajribasini tashkil etish va o'tkazishdagi ikki qismdan iborat asosiy vazifalarini aks ettiradi. Bu vazifalarga quyidagilar kiradi:

- hisoblash eksperimentini strategik rejalashtirish;
- hisoblash eksperimenti natijalarini tahlil qilish (qayta ishlash) uchun matematik usulni tanlash.

Birinchi vazifani ko'rib chiqaylik. Imitatsion tadqiqotida strategik rejalashtirish muammolarini avval muhokama qilgan edik. Hisoblash eksperimentini strategik rejalashtirish – bu hisoblash tajribasini tashkil etish, kerakli (modellashtirishning ma'lum maqsadi, qaror qabul qilish uchun) eng kam xarajat bilan uning hajmini beradigan ma'lumot to'plash usulini tanlash hisoblanadi. Ya'ni strategik rejalashtirishning asosiy maqsadi – modellashtirilayotgan tizimni o'rganish uchun kerakli ma'lumotni eng kam xarajatli eksperimentlar bilan, eng kam sonli sinovlar bilan olishdir.

Tadqiqotni boshlashdan oldin eksperimentni rejalashtirish – model bo'yicha tajriba o'tkazish rejasini ishlab chiqish kerak. Ushbu rejalashtirishning maqsadi ikki xil:

- 1) Eksperimentni rejalashtirish oqilona xulosalar olish uchun zarur bo'lgan ma'lumotlarni to'plashning aniq usulini tanlash imkonini beradi, ya'ni reja tadqiqot sxemasini belgilaydi. Shunday qilib, eksperiment rejasi tadqiqot jarayoni uchun tizimli asos bo'lib xizmat qiladi.

2) O‘rganish maqsadiga samarali tarzda erishish, ya’ni eksperimental tekshirishlar (sinovlar) sonini kamaytirish.

Haqiqatan ham, agar imitatsion tadqiqot jarayonida ko‘p sonli variantlar ko‘rib chiqilsa (har bir variant uchun parametrlar, o‘zgaruvchilar, tarkibiy munosabatlar o‘zgarishi mumkin), u holda sinovlar soni va kompyuter vaqtining narxi oshadi.

Faraz qilaylik, o‘zgaruvchining qiymatlari tomonidan qabul qilingan darajalar soni atigi 2 ta. Ikki darajali 3 ta omil bo‘lsa, $N=2^3=8$, omillar soni 7 ta teng bo‘lsa zarur bo‘lgan sinovlar soni $2^7=128$ ga oshadi.

Cheklangan miqdordagi sinovlarni tanlash muammosini eksperimentni rejalashtirishning statistik usullari yordamida hal qilish mumkin.

Imitatsion modelda yo‘naltirilgan hisoblash tajribasini tashkil etish va o‘tkazishda ikkinchi vazifa – natijalarni tahlil qilish usulini tanlashdir. Hisoblash eksperimentining maqsad va vazifalaridan kelib chiqib, eksperiment natijalarini qayta ishlash uchun turli matematik usullardan foydalanish mumkin. Imitatsion modellashtirishning ushbu texnologik bosqichida tadqiqotchiga imitatsion model 13.1-rasmda ko‘rsatilganidek, “qora quti” ko‘rinishida taqdim etiladi.



13.1-rasm. Imitatsion modelni “qora quti” ko‘rinishida tasvirlash.

Imitatsion modelining X kirishi va Y chiqishi o‘rtasidagi F bog‘liqlikni strategik talablarga javob beradigan ikkilamchi model yordamida modellashtirilishi kerak. Eng oddiy holatda, bu qandaydir chiziqli regressiya modeli bo‘lishi mumkin. Interpolatsiya masalalarida F funksiya, optimallashtirish masalalarida esa – F funksiyaning ekstremumi izlanadi.

$$Y = F(x_1, x_2, \dots, x_k).$$

Tadqiqot natijalarini tahlil qilish usulini tanlash asosan tadqiqotning maqsadi va xarakteriga bog'liq. Amalda tadqiqot natijalarini tahlil qilishning analitik usulini tanlash (ikkilamchi matematik model) tadqiqot maqsadi va ushbu maqsadga erishish uchun zarur bo'lgan uning natijalarini statistik tahlil qilish usuli bilan belgilanadi.

Shunday qilib, imitatsion modellashtirishning ko'rib chiqilayotgan bosqichining asosiy vazifalarini hal qilish kompyuter eksperimenti uchun bunday rejani tayyorlashni o'z ichiga oladi, bu eksperiment maqsadlariga resurs cheklovlarini hisobga olgan holda samarali tarzda erishishga imkon beradi hamda imitatsiya natijalarini tahlil qilish uchun matematik usulni tanlashni talab qiladi. Imitatsion modelda bunday eksperimental tadqiqotning texnologik zanjiri quyidagi harakatlar ketma-ketligini ifodalaydi: tadqiqot maqsadiga muvofiq, matematik muammoning bayoni amalga oshiriladi (yo'naltirilgan hisoblash eksperimentining mazmuni aniqlanadi); tadqiqot vazifasiga muvofiq eksperiment rejasi tuziladi; rejaga muvofiq, bir qator eksperimentlar o'tkaziladi, uning davomida ma'lumotlar yig'iladi (eksperimentlar natijalari); bundan keyin, eksperiment maqsadiga qarab, natijalarni tahlil qilish usuli tanlanadi, bu esa tadqiqotchiga modellashtirish natijalari asosida qaror qabul qilish imkonini beradi.

13.2. Imitatsion modellashtirishda hisoblash eksperimentlarining asosiy maqsadlari va turlari

Hisoblash eksperimentining maqsadlari bo'lib quyidagilar hisoblanadi:

- tizimning berilgan parametrlarida murakkab tizim faoliyatining chiqish o'zgaruvchilarini baholash;
- alternativalar to'plamida tanlov o'tkazish;

– nazorat qilinadigan parametrlarning eksperiment natijalariga ta'siri haqida bilim olish;

– optimal chiqish (javob) ga erishiladigan kirish parametrlari va o'zgaruvchilar qiymatlarini aniqlash.

Amaliyotda eng ko'p qo'llaniladigan hisoblash eksperimentlarining turlari quyidagi 13.1-jadvalda keltirilgan.

13.1-jadval

Yo'naltirilgan hisoblash tajribalarining asosiy turlari.

Hisoblash eksperimentining maqsadlari	Yo'naltirilgan hisoblash eksperimentining turi	Qo'llaniladigan matematik usullar va modellar
1. Tizimning berilgan parametrlarida chiquvchi o'zgaruvchilarni baholash. 2. Alternativalarini qiyoslash (yoki alternativalar to'plamida tanlovni amalga oshirish).	1 tur. Turli xil alternativalarining o'rtachalari va dispersiyalarini qiyoslash va baholash	Baholashning statistik usullari, gipotezlarni tekshirish; Bir omilli dispersion tahlil; Ko'plikdagi taqqoslash va tartiblash usullari; Tartiblash, tanlash protseduralari, evristik usullar va boshqalar.
3. Eksperiment natijalariga boshqariluvchi parametrlar ta'siri to'g'risida bilimlarga ega bo'lish.	2-tur. Sezuvchanlik tahlili (interpolatsiya masalasi)	Eksperimentni rejalashtirish usullari, dispersion va regression tahlil va boshqalar.
4. Optimal natijaga erishiladigan kirish parametrlari va o'zgaruvchilar qiymatlarini aniqlash.	3-tur. O'zgaruvchilarning mumkin bo'lgan qiymatlari to'plamida optimumini topish (optimallashtirish masalasi)	Eksperimentni rejalashtirishning ketma-ket usullari (javob sirtini tahlil qilish metodologiyasi).
5. Variantli sintez	Ko'p mezonli optimallashtirish, tanlov	Qaror qabul qilishning iteratsiyali imitatsion-optimallashtirish protseduralari, qaror qabul qilish usullari

1-tur: Turli alternativalarining o'rtacha qiymatlari va dispersiyasini baholash va qiyoslash.

2-tur: Parametrlarning o'zgarishiga tizimning sezgirlikini tahlil qilish (parametrik tahlil). Bunday eksperimentning asosiy mazmuni nazorat qilinadigan parametrlar, o'zgaruvchilar (omillar)ning tajribalar natijalariga ta'sirini aniqlash. 2-turdagi eksperimentda interpolatsiyaga oid matematik masala qo'yiladi va interpolyatsiya formulalari tuziladi.

3-tur: Optimallashtirish masalasi yechilmoqda: o'zgaruvchilar-ning mumkin bo'lgan qiymatlarining ma'lum bir to'plami bo'yicha optimal qiymatlarni izlash. Optimallashtirish masalalarida F funksiya-ning ekstremumini topish kerak.

4-tur: Variantli sintez – bu qoida tariqasida, ko'p mezonli optimallashtirish, takroriy imitatsiya-optimallashtirish protseduralarini amalga oshirish, keng ma'noda tanlash va qaror qabul qilish bilan bog'liq bo'lgan murakkabroq hisoblash eksperimentlari toifasidir.

Dastlabki uch turdagi hisoblash eksperimentlarida qo'llaniladigan asosiy matematik modellar va usullarni hamda ularni tashkil etish va o'tkazishning umumiy sxemalarini ko'rib chiqamiz.

Birinchi turdagi eksperimentlar juda oddiy va odatda bir omilli tajribalar deb ataladi. Ularni o'tkazishda eksperiment o'tkazuvchi oldida paydo bo'ladigan asosiy savollar tanlama hajmi, dastlabki shartlar, avtokorrelatsiya mavjudligi yoki yo'qligi va mashina eksperimentini taktik rejalashtirishning boshqa vazifalaridir.

Ushbu eksperimentda qo'llaniladigan va tavsiya etilgan asosiy matematik usullar quyidagilar hisoblanadi:

- statistik baholash usullari: o'rtacha qiymat, standart og'ish, korrelatsiya koeffitsiyenti va boshqalar;

- standart test statistikasi (t , F , χ^2 va boshqalar) yordamida gipotezalarni tekshirish tartiblari, bir omilli dispersiya tahlili;

- alternativalarini solishtirish va tanlashda Kleynen statistik reyting (vazn) va tanlash tartib-qoidalarini: bir nechta tartiblash usullari va bir nechta taqqoslash usullari tavsiya qilinadi.

– murakkabroq holatlarda turli xil evristik usullardan foydalaniladi.

Ikkinchi turdagi eksperimentlar odatda eksperimentni loyihalash usullaridan keng foydalanishni o‘z ichiga oladi. Ushbu eksperimentlar natijalarini sharhlashning asosiy usullari dispersiya va regressiya tahlilidir. Dinamik qatorlarni o‘rganish uchun (tizimli dinamika modellarida) spektral tahlil qilish tavsiya etiladi.

Eksperimentlarni rejalashtirish nazariyasi atamalarida modelning kirishi omil deb ataladi, omilning aniq qiymatlari – darajalar va modelning chiqishi – javob deb ataladi. Eksperiment rejasi darajalar kombinatsiyasini belgilaydi va har bir kombinatsiya uchun modelning takroriy sinovlar sonini belgilaydi.

Reja tanlanadi va amalga oshiriladi, so‘ngra eksperimental ma’lumotlardan foydalanib, regressiya modelining parametrlari aniqlanadi.

Tadqiqotning umumiy sxemasi quyidagicha:

- tizimning cheklangan sinovlar variantlari soni tanlash eksperimentlarni loyihalashning statistik usullari bilan hal qilinadi. Bunda to‘liq va kasrli omilli rejalardan foydalaniladi;
- eksperiment natijalarini qayta ishlash jarayonida regressiya modelining parametrlari olinadi;
- tadqiqotchi modelni tahlil qiladi (regression bog‘liqliklarni).

Optimallashtirish masalasini yechishga qaratilgan hisoblash eksperimentining 3-turi (nazorat qilinadigan parametrlar va o‘zgaruvchilarning bunday qiymatlari berilgan maqsad funksiyasini maksimal yoki minimallashtirish aniqlanadi) eksperimentlar tuzish uchun ketma-ket yoki qidiruv usullaridan foydalanishni o‘z ichiga oladi. Ushbu ma’ruzaning keyingi bo‘limlarida muhokama qilingan javob sirtini tahlil qilish metodologiyasini qo‘llash, bu rejalashtirish usullarini va iterativ imitatsion-optimallashtirish hisoblash protseduralarini birlashtirganda foydalidir. Bu yerda optimallashtirish tamoyillari analitik modellar bilan bir xil, ammo imitatsion modelning chiqishi

tasodifiy komponentani o'z ichiga oladi, shuning uchun ehtimollik ko'rinishidagi javoblarga cheklovlar qo'yish va maqsad funksiyasi qiymatlarining statistik talqinini amalga oshirish kerak.

13.3. Eksperimentlarni rejalashtirishning asosiy nazariyalari.

Asosiy tushunchalar: strukturaviy, funksional va eksperimental modellar

Modellashtiriladigan tizim variantlarini tahlil qilish uchun cheklangan miqdordagi eksperimentlarni tanlash masalasi eksperimentlarni rejalashtirishning statistik usullari yordamida hal qilinishi mumkin.

Eksperimentni rejalashtirish nazariyasi an'anaviy ravishda kimyo, fizika va qishloq xo'jaligida qo'llaniladi. Iqtisodiyotda to'liq miqyosli eksperiment istisno qilinadi, chunki bu qiyin va qimmat, ammo barcha omillar tadqiqotchi nazorati ostida bo'lgan mashina tajribasini o'tkazish mumkin.

Rejalashtirish usullarini qo'llash nazariyasi va amaliyoti hozirda yaxshi rivojlangan – ko'p sonli ishlar, maxsus ma'lumotnomalar mavjud bo'lib, ularda ba'zi turdagi rejalar standartlashtirilgan. Boshlang'ich imitatsiya qiluvchi o'z loyihasi doirasida to'g'ri tanlov qilish uchun eksperimentlarni rejalashtirish nazariyasi asoslarini o'rganishi kerak.

Mashinali eksperiment jismoniy eksperimentga nisbatan bir qator afzalliklarga ega:

- Mashinali eksperiment boshqariladigan, faol jarayon. Eksperimentni o'tkazish shartlarini nazorat qilish imkoniyati mavjud. Tasodifiy emas, balki doimiy ekanligi ma'lum bo'lgan omillar darajalarini tanlash, ya'ni doimiy samarali modellarni tuzish mumkin. Bu eksperimentlarni rejalashtirish usullarini soddalashtiradi, randomizatsiya (tasodifiylashtirish) va bloklarga bo'lish, natijalarni tahlil qilish muammolarini bartaraf etadi;

Mashinali eksperiment sharoitida eksperimentning takrorlanishi talabi bajariladi. Tajribalarni o'tkazish uchun shart-sharoitlarni takrorlash qulayligi, tajribani to'xtatish va davom ettirish qulayligi mavjud. Bu, masalan, kompyuterda bir xil hodisalar ketma-ketligini amalga oshirish imkonini beradi hamda muqobillarni taqqoslashda tajribalarda foydalidir. Bundan tashqari, kompyuter tajribalarida dispersiya va regressiyaning farazlari va taxminlarini amalga oshirishga imkon beradigan shunday sharoitlarni yaratish mumkin, masalan, javob mustaqilligi, dispersiyaning bir xilligi va boshqalar.

Yana bir afzalligi shundaki, mashinada o'tkaziladigan eksperimentlarda ketma-ket yoki evristik rejalashtirish usullaridan foydalanish mumkin, aslida bu jarayonlarni real tizimlar bilan eksperimentlarda amalga oshirib bo'lmaydi. Kompyuterda o'tkazilgan eksperimentda siz tajribani to'xtatishingiz, natijalarni tahlil qilishingiz va keyin model parametrlarini o'zgartirishga qaror qilishingiz yoki tajribani bir xil parametrlar bilan davom ettirishingiz mumkin.

Mashinada o'tkazilgan eksperimentda ham ba'zi qiyinchiliklar mavjud:

- dasturiy ta'minot tasodifiy sonlar generatorlari tomonidan kiritilgan "sof tajriba xatosi" mavjud, garchi uni modelning mosligini aniqlash bosqichida baholash mumkin;
- tasodifiy tashqi (ekzogen) omillarga katta rol beriladi;
- tanlama nuqtasi tushunchasini aniqlash qiyinligi (sinovda javobning o'rtacha qiymatini olish yoki modellashtirilgan vaqt intervalini ajratish va o'rtachalashtirish) va boshqalar.

Eksperimentlarni rejalashtirish nazariyasining asosiy tushunchalari.

Eksperimentlarni rejalashtirish nazariyasini mustaqil rivojlantirishga yordam berish uchun ba'zi atama va tushunchalarni kiritamiz.

Modelli eksperimentlarni rejalashtirish va tuzishda omillar va javoblar deb nomlanadigan ikki turdagi o'zgaruvchilar bilan ishlaymiz. Ularning orasidagi farqlarni aniqlashtirish uchun oddiy eksperimentni

ko‘rib chiqamiz, unda faqat ikkita o‘zgaruvchi x va y ko‘rib chiqiladi va uning maqsadi x o‘zgarganda y qanday o‘zgaradi, degan savolga javob berishdir. Bunda x – omil, y – esa javobdir. Adabiyotlarda omillar mustaqil o‘zgaruvchilar, javoblar esa natijalar yoki bog‘liq o‘zgaruvchilar deb ataladi. Ilgari imitatsion modelni ishlab chiqishda omil va javob uchun mos ravishda ekzogen va endogen (chiqish) atamalaridan foydalanilgan. Demak, omil, rejim, mustaqil o‘zgaruvchi, kirish o‘zgaruvchisi va ekzogen o‘zgaruvchi atamaları javob, chiqish, bog‘liq o‘zgaruvchi, chiqish o‘zgaruvchisi, holat o‘zgaruvchisi va endogen o‘zgaruvchi atamaları kabi ekvivalentdir.

Darajalar – bu har bir omilning kvantlash qiymatlaridir.

Imitatsion modellashtirish bo‘yicha eksperimentni rejalashtirish, boshqa rejalashtirish muammolari kabi, tizimli yondashuvni talab qiladi.

Eksperiment rejasini tanlash uchun:

– eksperimentni rejalashtirish mezonlarini aniqlash. Rejalashtirishning asosiy mezonlari sifatida quyidagilar ko‘rib chiqiladi: javob, o‘zgaruvchi omillar soni, darajalar soni, javob o‘zgaruvchisining kerakli o‘lchovlari soni;

– eksperimental modelni sintez qilish;
– olingan modelni mavjud modellar, standart rejalar bilan taqqoslash va eng yaxshi rejani tanlab olish.

Eksperiment rejasini tuzish jarayoni odatda, uch bosqichga bo‘linadi:

- strukturali modelni tuzish;
- funtsional modelni tuzish;
- eksperimental modelni tuzish.

Strukturaviy model:

- omillar soni;
- har bir omil uchun darajalar soni bilan xarakterlanadi.

Strukturali model nima qilish kerakligidan kelib chiqqan holda, funksional model esa nima qilish mumkinligidan kelib chiqqan holda tanlanadi.

Ushbu parametrlarni tanlash tajriba maqsadlari, omillarni o'lchashning aniqligi, chiziqsiz ta'sirlarga qiziqish va boshqalar bilan belgilanadi. Ushbu tanlovga cheklangan resurslardan kelib chiqadigan mumkin bo'lgan o'lchovlarning cheklangan soni ta'sir qilmasligi kerak. Bunday cheklovlar funksional modelni tanlash uchun zarurdir.

Eksperimentning strukturali modeli quyidagi ko'rinishga ega:

$$N_s = (q_1), (q_2), (q_3), \dots, (q_k),$$

bu yerda, N_s – eksperimentdagi elementlar soni;

k – eksperimentdagi omillar soni;

q_i – eksperimentdagi elementlar soni, $i = 1, 2, \dots, k$.

Bir omil va bir daraja, ya'ni $k=1$, $q=1$, $N_s=1$ bo'lgan taqdirda eng oddiy eksperiment sifatida aniqlangan elementni eksperimentning asosiy struktura bloki deb ataymiz.

Funksional model, javob o'lchagichi sifatida xizmat qilishi kerak bo'lgan strukturali modelning elementlari sonini aniqlaydi, ya'ni turli xil ma'lumot nuqtalaridan qancha kerakligini aniqlaydi. Bunday funksional modellar mukammal yoki nomukammal bo'lishi mumkin. Funksional model mukammal deb ataladi, agar uning barcha elementlari javobni o'lchashda ishtirok etsa, ya'ni $N_f = N_s$. Agar sodir bo'layotgan javoblar soni elementlar sonidan kam bo'lsa, funksional model nomukammal deb ataladi, ya'ni $N_f < N_s$.

Ideal holda, strukturali model funksional modelga to'g'ri kelganda, imitatsiya eksperimentida resursga cheklov mavjud bo'ladi. Funksional model mavjud resurslar va imkoniyatlar o'rtasida kompromissni o'rnatishga qaratilgan bo'lishi kerak:

$$N = pq^k,$$

bu yerda, p – eksperimentlarning takrorlanish soni; q – omillar darajalari soni; k – omillar soni (kiruvchi parametrlar va o'zgaruvchilar).

Resurslarga bo'lgan chegaraviy shartlarni hisobga olib q , k , p larni aniqlash kerak.

Eksperimental modelning turi to'g'ri tanlangan rejalashtirish mezonlari bilan belgilanadi. Eksperimentni loyihalash bir qator bosqichlarni o'z ichiga oladi, bunda eksperimentator bir qator muhim savollarga javob berishi kerak.

Birinchi qadam, tadqiqot maqsadiga bog'liq bo'lgan maqsad funksiyasi va optimallashtirish parametrini tanlashdir. Bu shuni anglatadiki, biz mezonlar bizni birinchi navbatda qiziqtiradi, ya'ni biz izlayotgan javoblarni olish uchun qaysi miqdorlarni o'lchash kerakligini hal qilishimiz kerak. Masalan, axborot-qidiruv tizimini modellashtirishda bizni tizimning so'rovga javob berish vaqti qiziqtirishi mumkin. Shu bilan birga, bizni ma'lum vaqt oralig'ida xizmat ko'rsatilgan so'rovlarning maksimal soni yoki modellashtirilayotgan tizimning boshqa xususiyatlari qiziqtirishi mumkin.

Optimallashtirish parametriga qo'yiladigan asosiy talablar:

- maqsadga erishish nuqtayi nazaridan samarali bo'lishi kerak;
- universal;
- miqdoriy;
- statistik jihatdan samarali (eng aniq);
- jismoniy ma'noga ega, sodda va hisoblash oson bo'lishi;
- mavjud (turli sharoitlarda, vaziyatlarda) bo'lishi.

Ikkinchi qadam: muhim omillarni belgilash.

Bizni qiziqtiruvchi javob parametrlarini tanlagandan so'ng, ushbu o'zgaruvchilarga ta'sir qilishi mumkin bo'lgan omillarni aniqlashimiz kerak. Odatda, bunday omillarning soni juda ko'p va shuning uchun ular orasida eng muhimlaridan bir nechtasini ajratib ko'rsatish kerak. Afsuski, tizim bilan qanchalik kam tanish bo'lsak, javoblarga ta'sir o'tkazishga qodir bo'lgan omillar shunchalik ko'p bo'ladi. Ma'lumki, qoida tariqasida, hodisani tushunish darajasi uning tavsifida paydo bo'ladigan o'zgaruvchilar soniga teskari proportsionaldir. Aksariyat

tizimlar Pareto tamoyiliga muvofiq ishlaydi, bu ko‘p omillarning faqat bir nechtasi tizimning ishlashi nuqtayi nazaridan muhimligini ta’kidlaydi. Haqiqatan ham, aksariyat tizimlarda 20% omillar tizim xususiyatlarining 80% ni, qolgan 80% omillar esa faqat 20% ni belgilaydi. Bizning vazifamiz muhim omillarni ajratib olishdir.

Imitatsion modellashtirishda ushbu vazifaning dastlabki protsedurasi – imitatsion modelining sezgirligini tahlil qilishdir.

Javob o‘zgaruvchilari va muhim omillarni aniqlagandan so‘ng, ushbu omillarni kelajakdagi eksperimentga qanday kiritishiga qarab tasniflash kerak. Har bir omil tajribaga uchta usulda kirishi mumkin:

1) omil doimiy bo‘lishi mumkin va shu bilan eksperimentning chegaraviy shartlari rolini o‘ynashi mumkin (imitatsion modelda bular kirish o‘zgaruvchilari);

2) omil o‘zgaruvchan, lekin nazorat qilib bo‘lmaydigan bo‘lishi mumkin va shu bilan eksperimental xatolarga hissa qo‘shishi mumkin (imitatsion modelda bular, qoidaga ko‘ra, tashqi, ekzogen o‘zgaruvchilar);

3) omil o‘lchanadigan va boshqarilishi mumkin. Uchinchi turdagi omillar eksperiment rejasini tuzishda muhim ahamiyatga ega. Imitatsion modelda bu – parametrlardir.

Modelga kiruvchi omillarga qo‘yiladigan asosiy talablar quyidagilar: boshqarish imkoniyati (bu faol eksperimentni amalga oshirish imkonini beradi) va noaniqlik.

Omillar kombinatsiyasiga qo‘yiladigan talablar:

- tanlangan to‘plam yetarli darajada to‘liq bo‘lishi kerak;
- omillarning aniqligi yetarlicha yuqori bo‘lishi kerak;
- muvofiqlik va chiziqli korrelatsiyaning mavjud emasligi, omillarning mustaqilligi, ya’ni boshqa omillar darajasidan qat’i nazar, har qanday darajadagi omillarni o‘rnatish imkoniyati.

Modellashtirish jarayonining ushbu bosqichida amalga oshirilgan mulohazalarning ahamiyatini tushunish kerak. Tadqiqotchi

eksperimentni loyihalash va o'tkazish jarayonida qanday o'zgaruvchilarni o'lchashi va nazorat qilishi kerakligini bilishi kerak.

Eksperimentni loyihalashning keyingi bosqichi – bu omilni o'lchash va o'rnatish kerak bo'lgan darajalarni aniqlashdir. Bunga o'lchov aniqligi, chiziqli bo'lmagan effektlarga qiziqish ta'sir qiladi.

Doimiy bo'lmagan omil darajalarining minimal soni ikkiga teng. Ko'rinib turibdiki, darajalar soni imkon qadar kam va shu bilan birga eksperiment maqsadlariga erishish uchun yetarli darajada tanlanishi kerak. Har bir qo'shimcha daraja eksperiment xarajatlarini oshiradi va unga bo'lgan ehtiyojni diqqat bilan baholash kerak. Har bir omil uchun bir xil darajalar sonini tanlash (ayniqsa, faqat ikki yoki uchta daraja mavjud bo'lsa), ma'lum analitik afzalliklarni beradi. Bunday strukturaviy modellar simmetrik va quyidagi ko'rinishga ega:

$$N = q^k.$$

Darajalar quyidagicha bo'lishi mumkin:

- miqdoriy yoki sifatli;
- doimiy va tasodifiy.

O'zgaruvchi miqdoriy deyiladi, agar uning qiymatini ma'lum bir interval yoki nisbiy shkala yordamida o'lchash mumkin bo'lsa. Masalan, daromad, yuklash, narx, vaqt va boshqalar.

O'zgaruvchi sifatli deb ataladi, uning qiymatini miqdoriy jihatdan o'lchab bo'lmasa, lekin tartiblash usullari bilan tartibga solish mumkin bo'ladi. Sifat o'zgaruvchilarga misollar mashinalar, siyosat, geografik hududlar, tashkilotlar, qaror qabul qilish qoidalari, ommaviy xizmat ko'rsatish tizimidagi navbat turi, qaror qabul qilish tizimlaridagi strategiyalar va boshqalar. Sifat omili tabiatan bir qator mumkin bo'lgan darajalarni oladi, masalan, qaror qabul qilish tizimlaridagi strategiyalar. Qulaylik uchun biz sifat omilining darajalarini 1, 2, 3 raqamlari yoki A, B, C harflari bilan belgilagan bo'lsak ham, bunday tartib ixtiyoriy ekanligini unutmasligimiz kerak, chunki sifat darajalarini miqdoriy o'lchov yordamida o'lchash mumkin emas.

Miqdoriy omil uchun bizni qiziqtiradigan o'zgarish sohasini ajratib ko'rsatish va chiziqli bo'lmagan ta'sirlarga qiziqish darajasini aniqlash kerak. Agar biz faqat chiziqli effektlar bilan qiziqadigan bo'lsak, uning diapazoni oralig'i oxirida miqdoriy o'zgaruvchining ikki darajasini tanlash kifoya. Agar tadqiqotchi kvadratik effektlarni o'rganmoqchi bo'lsa, u uchta darajadan foydalanishi kerak.

Shunga mos ravishda, kub qutisi uchun to'rtinchi daraja kerak va hokazo. Darajalar soni polinom funksiyasini tiklash uchun zarur bo'lgan minimal nuqtalar soniga teng.

Agar darajalar bir-biridan teng masofada bo'lsa, ma'lumotlarni tahlil qilish ancha soddalashtiriladi. Ushbu tartibga solish bizga ortogonal bo'limni ko'rib chiqishga imkon beradi va shu bilan polinomial funksiyaning koeffitsiyentlarini aniqlashni soddalashtiradi. Shuning uchun, odatda, bizni qiziqtiradigan miqdoriy o'zgaruvchining o'zgarish diapazonining ikkita ekstremal nuqtasi uning ikki darajasi sifatida tanlanadi va qolgan darajalar hosil bo'lgan segmentni teng qismlarga bo'ladigan tarzda tartibga solinadi.

Belgilangan darajalar atamasi kvantlash darajalarini boshqarish yoki o'rnatishimizni anglatadi. Agar kvantlash darajalari tasodifiy tanlansa (masalan, Monte-Karlo usuli yordamida), u holda darajalar tasodifiy deyiladi. Eksperimentni o'tkazishda foydalanilgan matematik model qat'i parametrlarga ega bo'lsa, u qattiq model deb ataladi. Agar model omillari tasodifiy o'zgarishi mumkin bo'lsa, u ehtimolli model deb ataladi. Agar modelda doimiy va tasodifiy omillar mavjud bo'lsa, u aralash model deb ataladi.

Javob o'zgaruvchisining kerakli o'lchov sonini aniqlash uchun eksperimentator bir qator savollarga ham javob berishi kerak:

a) Turli omillarning o'zaro ta'sirini aniqlash kerakmi?

O'zaro ta'sirni ikki yoki undan ortiq omillarning javobiga qo'shma ta'sir deb atash mumkin, bu barcha omillarning alohida ta'siridan tashqari o'zini namoyon qiladi. Amalda, bu regressiya modellarini tuzishda chiziqli bo'lmagan ta'sirlarga olib keladi;

b) Mavjud cheklovlar qanday xarakterga ega: tadqiqot uchun cheklangan vaqt, cheklangan mablag'lar yoki sinovlarni o'tkazish uchun mashina vaqti?

d) talab qilinadigan aniqlik nima?

Nazorat savollari

1. Imitatsion modellar qaysi guruhga kiradi?
2. Imitatsion tadqiqotlarning maqsadi nimadan iborat?
3. Imitatsion eksperimentning mazmunini tushuntirib bering.
4. Hisoblash eksperimentini strategik rejalashtirishni izohlang.
5. Strategik rejalashtirishning asosiy maqsadi nimalardan iborat?
6. Sinovlar soni va kompyuter vaqtining narxi oshirmaslik uchun nima qilish kerak?
7. Imitatsion modelda eksperimental tadqiqotning texnologik zanjirini tushuntirib bering.
8. Hisoblash eksperimentining maqsadlarini sanab bering.
9. Yo'naltirilgan hisoblash eksperimentining turlarini tushuntirib bering.
10. Variantli sintez deganda nimani tushunasiz?
11. Ikkinchi turdagi eksperimentlarni ma'nosi nimalardan iborat?
12. Nima sababdan iqtisodiyotda to'liq miqyosli eksperiment istisno qilinadi?
13. Mashinali eksperimentning afzal tomonlarini aytib bering.
14. Mashinada o'tkazilgan eksperimentlardagi qiyinchiliklar nimalardan iborat?
15. Eksperimentlarni rejalashtirish nazariyasining asosiy tushunchalarini izohlab bering.
16. Eksperiment rejasini tuzish jarayoni necha bosqichdan iborat?
17. Eksperimentni loyihalash bosqichlarini tushuntirib bering.
18. Optimallashtirish parametriga qo'yiladigan asosiy talablar nimalardan iborat?
19. O'zgaruvchi qachon sifatli deb ataladi?
20. Qattiq model deb nimaga aytiladi?

XIV-BOB. IMITATION MODELARNI TUZISHDA AXBOROT TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISH

REJA:

14.1. Imitation modellashtirishda MathCAD dasturining imkoniyatlari.

14.2. MathCAD tizimida sodda hisoblashlarni bajarish.

14.3. MathCAD tizimida massivlar bilan ishlash.

14.1. Imitation modellashtirishda MathCAD dasturining imkoniyatlari

Ijtimoiy-iqtisodiy ko'rsatkichlarni imitation modellashtirishda turli dasturiy paketlardan foydalanish mumkin. Hozirda iqtisodiyotning bir qator tarmoqlari va sohalariga mo'ljallangan, tor doiradagi masalalarni imitation modellashtirish uchun bir qator dasturiy paketlardan foydalanilmoqda, bular:

- Aimsun (transport oqimlarini modellashtirishda),
- Actor Pilgrim (iqtisodiy jarayonlarni vaqtinchalik, fazoviy va moliyaviy dinamikasini imitation modellashtirish tizimi),
- AGNES (AGent NETwork Simulator – diskret hodisalarga ega katta tizimlar uchun imitatsiya tizimi),
- AnyLogic (jarayonga yo'naltirilgan (diskret-hodisalar), tizim-dinamik va agentga asoslangan, shuningdek ularning har qanday kombinatsiyasidan tashkil topgan imitation modellarni tuzishga yordam beradi) va boshqalar.

Bundan tashqari, imitation modellashtirida qo'llaniladigan universal dasturiy paketlar ham mavjud. Bular Mathematica, MatLab, Maple, MathCAD, Gauss, Reduse, Eureka va boshqa turdagi amaliy dasturiy paketlardir. Ulardan ayrimlari oddiy bo'lib, MS DOS operation tizimida ham ishlaydi. Masalan, Eureka paketi shular jumlasiga kiradi. Qolgan paketlar esa juda keng sohalaridagi masalalarni yechishga mo'ljallangan universal paketlar bo'lib, ularda

paketning ichida maxsus o'rnatilgan dasturlash tillari mavjud. Bundan tashqari, yuqorida keltirilgan amaliy dasturiy paketlar bir qator modullardan tashkil topgan. Ushbu modullar paketlarning funksional imkoniyatlarini kengaytirishga yordam beradi.

Imitatsion modellashtirishda qo'llaniladigan MathCAD dasturiy paketining imkoniyatlarini ko'rib chiqamiz.

Ushbu dasturiy paket matematikaning turli sohalardagi masalalarni yechishga mo'ljallangan dasturiy tizimdir. Dasturning nomlanishi ikkita so'zdan iborat bo'lib – MAThematica (matematika) va CAD (avtomatik loyihalash tizimi).

Ushbu dasturni boshqarish Windows OT muhitida oldin ishlaganlar uchun intuitiv tushunarlidir. MathCAD tizimini o'rganish juda oson bo'lib, uni ishlatish jarayonlari yetarlicha soddadir. MathCADni juda ko'p sohalarda – oddiy hisoblashlardan tortib, to elektrik sxemalarni tuzishgacha foydalanish mumkin.

MathCAD formula, raqamlar, matnlar va grafiklar bilan ishlaydigan universal tizimdir. MathCAD tili matematika tiliga juda ham yaqin, shu sababli, unda ishlash matematiklar uchun juda oson. Zamonaviy kompyuter matematikasi matematik hisoblarni avtomatlashtirish uchun butun birlashtirilgan dasturiy tizimlar va paketlarni taqdim etadi. Bu tizimlar ichida MathCAD oddiy, yetarlicha qayta ishlangan va tekshirilgan matematik hisoblashlar tizimidir.

Umuman olganda, MathCAD – bu kompyuter matematikasining zamonaviy sonli usullarini qo'llashning noyob majmuasidir. U o'z ichiga ko'p-yillar davomida matematikaning rivojlanishi natijasida yig'ilgan tajribalar, qoidalar va matematik hisoblash usullarini jamlagan.

MathCAD paketi muhandislik va matematik hisob ishlarini bajarish uchun dasturiy vosita bo'lib, uning yordamida o'zgaruvchi va o'zgarmas parametrli algebraik va differensial tenglamalarni yechish, funksiyalarni tahlil qilish va ularning ekstremumini izlash, topilgan yechimlarni tahlil qilish uchun jadvallar va grafiklar qurish mumkin.

MathCAD murakkab masalalarni yechish uchun o‘z dasturlash tiliga ega.

Matematik paketlar, ayniqsa MathCAD – yuqorida sanab o‘tilgan ro‘yxat ichida eng mashhur dasturiy paket bo‘lib, ilmiy-texnikaviy soha mutaxassislariga dasturlashning nozik elementlariga e‘tibor berilmasdan (masalan: Fortran, C, Pascal, JAVA, BASIC va boshqalar kabi) kompyuterda matematik modellashtirishni amalga oshirishga katta yordam beradi.

Matematikada ifodalar, formulalar qanday yozilsa, MathCAD tizimida ham xuddi shunday, o‘zgarishsiz, tabiiy ko‘rinishda yoziladi. MathCAD yordamida formulalar faqatgina chiroyli yozilmasdan, balki ixtiyoriy masalani sonli yoki belgili yechish imkoniyatiga ega. MathCAD o‘zining yordamchi tizimiga ega. Har qanday tenglama atrofida ixtiyoriy matnni joylashtirish mumkin, bu esa hisoblash jarayonini izohlash uchun juda zarur.

MathCAD yordamida nafaqat matematikaga doir masalalarni yechish mumkin, balki bu dastur yordamida ilmiy maqolalar, tezislar, dissertatsiya ishlarini, diplom ishlarini, kurs ishlarini loyihalash mumkin. Chunki bu dastur yordamida matematik formulalarni, matnlarni, grafiklarni juda aniq ifodalash hamda bu dastur yordamida yuqori darajada elektron darsliklar ham yaratish mumkin.

MathCAD matematik dasturlash muhitida ishlashning yaqqol ajralib turadigan quyidagi imkoniyatlarini ajratib ko‘rsatish mumkin:

- MathCAD muhitida matematik ifoda, qabul qilingan, ya’ni tabiiy ko‘rinishda ifodalanadi. Masalan, daraja yuqorida, indeks pastda, integralning yuqori va quyi chegaralari esa an’anaviy joyida turadi;

- MathCAD muhitida «dasturlarni» tuzish va bajarilishi jarayoni parallel kechadi. Foydalanuvchi MathCAD-hujjatida yangi ifoda kiritar ekan, uning qiymatini bir vaqtda hisoblash va ifodani kiritishda yo‘l qo‘yilgan, yashirin xatoliklarni ko‘rish imkoniyati mavjud;

– MathCAD paketi yetarli darajada qudratli matematik apparat bilan qurollanganki, ular orqali tashqi protseduralarni chaqirmasdan turib, paydo bo‘ladigan muammolarni hal qilish mumkin.

MathCAD muhiti:

– Chiziqli va chiziqli bo‘lmagan algebraik tenglama va sistemalarni yechish;

– oddiy differensial tenglama va sistemalarni (Koshi masalasi va chegaraviy masala) yechish;

– xususiy hosilali differensial tenglamalarni yechish;

– ma’lumotlarga statik qayta ishlov berish (interpolatsiya, ekstrapolatsiya, approksimatsiya va ko‘pgina boshqa amallar);

– vektor va matritsalar bilan ishlash (chiziqli algebra va boshqalar);

– funksional bog‘liqlikning maksimum va minimumini izlash kabi masalalarni oson, ko‘rgazmali hal qilishga katta imkon beradi.

MathCAD paketi matematik va fizik-kimyoviy formulalarga hamda o‘zgarmaslarga asoslangan yordamchi qo‘llanmalar bilan boyitilgan.

MathCAD paketida turli sohalar bo‘yicha elektron darsliklar yaratish mumkin. Masalan: oddiy differensial tenglamalarni yechish, statistika, termodinamika, boshqaruv nazariyasi, materiallar qarshiligi va boshqalar bunga misol bo‘la oladi.

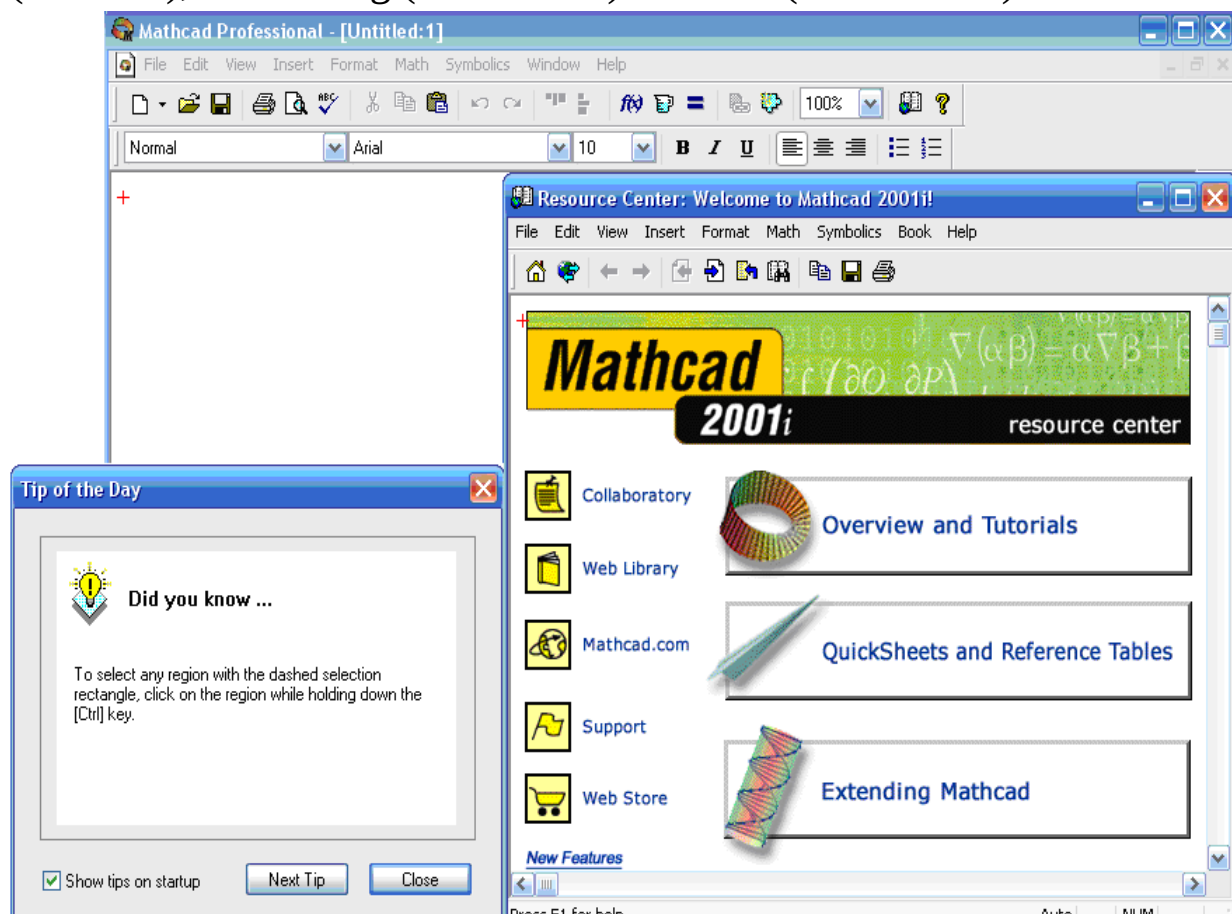
Bundan tashqari MathCAD muhiti animatsiya vositasi bilan qurollangan, bunda tuzilgan modellarni nafaqat statik (o‘zgarmas), balki dinamik (animatsion kliplar) holda yaratish mumkin.

MathCAD muhiti belgili matematika elementlari bilan boyitilgan bo‘lib, bunda masalani nafaqat miqdoriy yechish, balki analitik usulda ham yechishga imkoniyat yaratilgan.

MathCAD muhitidan chiqmagan holda boshqa serverdagi hujjatlarni ishlatish va Internet tavsiya qiladigan yuqori axborot texnologiya imkoniyatlaridan foydalanish mumkin.

Quyidagi 14.1-rasmda MathCAD yuklangandan keyingi ishchi oynasi ko‘rinishi keltirilgan

MathCAD interfeysi Windowsning barcha dasturlari interfeysiga o‘xshash qilib yaratilgan. MathCAD ishga tushirilgandan so‘ng uning oynasida bosh menyu va uchta panel vositasi chiqadi: Standart (Standart), Formatting (Formatlash) va Math (Matematika).



14.1-rasm. MathCAD yuklangandan keyingi ishchi oynasi ko‘rinishi.

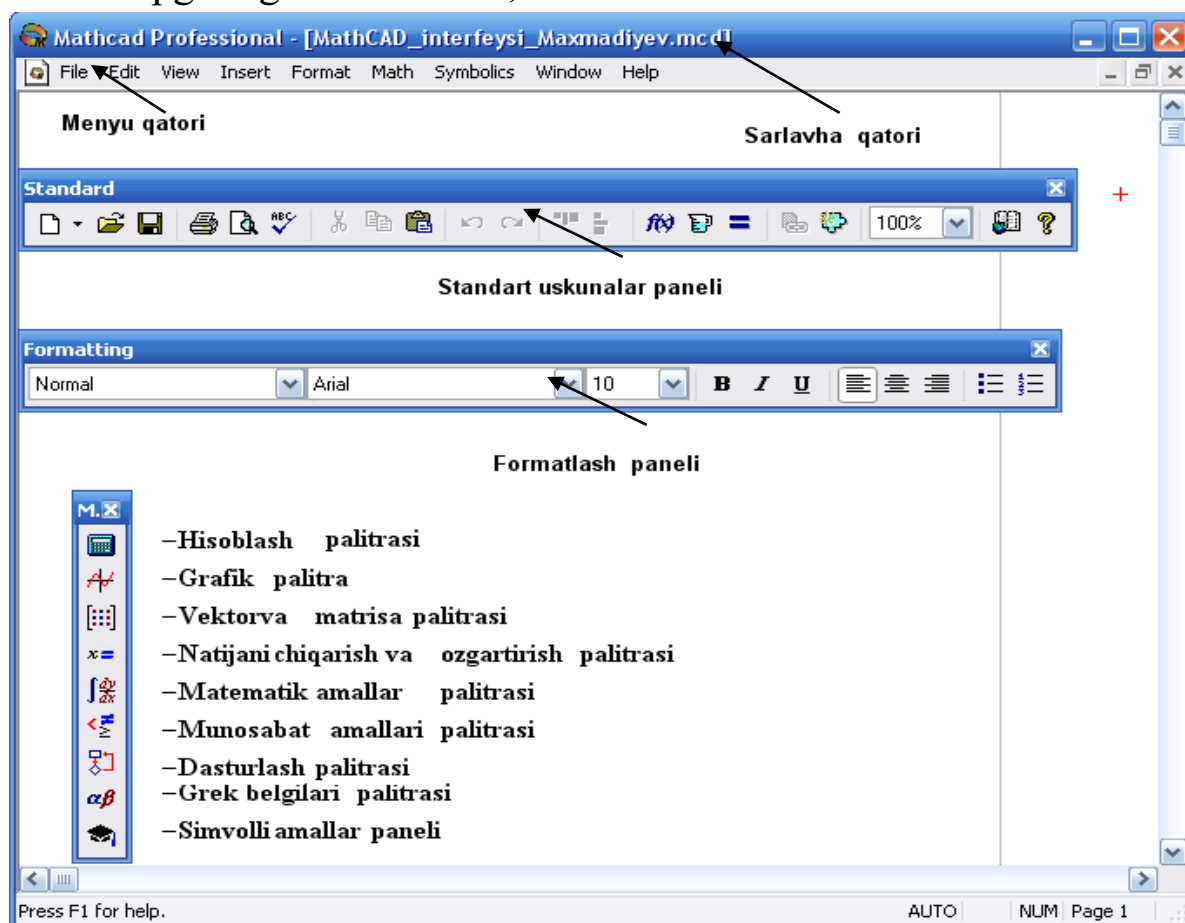
MathCAD ishga tushganda avtomatik ravishda uning ishchi hujjat fayli Untitled 1 nom bilan ochiladi va unga Worksheet (Ish varag‘i) deyiladi. Standart (Standart) vositalar paneli bir necha fayllar bilan ishlash uchun buyruqlar to‘plamini o‘z ichiga oladi. Formatting (Formatlash) formula va matnlarni formatlash bo‘yicha bir necha buyruqlarni o‘z ichiga oladi. Math (Matematika) matematik

vositalarini o'z ichiga olgan bo'lib, ular yordamida simvollar va operatorlarni hujjat fayli oynasiga joylashtirish uchun qo'llaniladi.

MathCAD bosh menyusi. MathCAD dasturi 5 ta xarakterli interfeyslardan iborat (14.2-rasm):

– Sarlavha qatori – bu qatorda hujjatning nomi va oynani boshqarish tugmalari joylashgan;

Menyu qatori – bu qatorda har bir menyu qanday buyruqlardan tashkil topganligini ko'rsatadi;



14.2– rasm. MathCAD interfeysi.

Standart uskunar paneli – belgili tugmalardan iborat bo'lib, har bir belgili tugma qandaydir buyruqni bajaradi;

Formatlash paneli – belgili tugmalardan iborat bo'lib, hujjatdagi belgilangan formula yoki matnni formatlashni tez amalga oshirishini ta'minlaydi;

Matematik belgilar paneli – bu panel ham belgili tugmalardan iborat bo‘lib, har bir belgili tugma qandaydir matematik amalni bajaradi.

Yuqorida keltirilgan uchta panelning har birini oynaning ixtiyoriy joyiga joylashtirish mumkin. Buning uchun har bir panelni ustida sichqonchani olib borib chap tugmasini bosib turgan holda panelni siljitib, oynaning ixtiyoriy joyiga joylashtirish mumkin. Quydagi rasmda MathCADning oynasi va uning matematik panel vositalari ko‘rsatilgan (14.2– rasm):

Menyular qatorida quyidagi bo‘limlar joylashgan:

- File (Fayl) – fayllar (hujjatlar) bilan ishlash;
- Edit – hujjatlarni tahrirlash;
- View – MathCAD interfeys ko‘rinishini boshqarish va animatsiyali fayllar yaratish komandalarini o‘z ichiga oladi;
- Insert – hujjatga turli obyektlarni qo‘yish buyruqlari;
- Format – matnlarni, formulalarni va grafiklarni formatlash buyruqlari joylashgan;
- Math – hisoblash jarayonlarini boshqarish buyruqlari;
- Symbolics – simvolli hisoblash buyruqlari;
- Window – oynani boshqarish;
- Help – yordam.

MATLAB amaliy dasturiy paketi. MATLAB MATrix LABoratory – matritsali laboratoriya) dasturiy kompleksi Math Works Inc. firmasi mutaxassislari tomonidan yuqori darajali texnik hisoblarni dasturlash tili sifatida ishlab chiqilgan. MATLAB dasturiy kompleksi bu texnikaviy va iqtisodiy hisoblar uchun mo‘ljallangan samaradorligi yuqori bo‘lgan dasturlash tili. MATLAB orqali yechilayotgan masalani dasturlashtirish, qiymatlarni hisoblash va natijalarni grafik (tasvir)da kuzatish mumkin. Bu yerda masala va uning yechimi matematik formaga yaqin bo‘lgan ko‘rinishda ifodalanadi va bu foydalanuvchini qo‘shimcha dasturlashtirish ishlarini bajarishdan ozod qiladi.

MATLAB tizimi orqali quyidagi masalalarni yechish mumkin: matritsali tahlil, signal va tasvirlarni qayta ishlash, matematika va fizika masalalari, optimallashtirish masalasi, ma’lumotlarni qayta ishlash va

kuzatish, blok-sxema ko‘rinishida dasturlash, moliyaviy va iqtisodiy masalalar, kartografik tasvirlar bilan ishlash va boshqalar. MATLAB dasturiy kompleksidan quyidagi maqsadlarda foydalaniladi:

- matematik hisob ishlarini bajarish;
- algoritmlar ishlab chiqish;
- modellashtirish;
- ilmiy va muhandislik masalalar yechimini grafiklarini hosil qilish;
- qo‘shimcha ilovalar yaratish va shu kabi boshqalar.

MATLABning asosiy qulayliklaridan biri modifikatsiyalash imkoniyati mavjudligida. Bu esa fan texnika taraqqiyoti natijasida vujudga keluvchi yangidan-yangi masalalarni kengaytiruvchi paketlar yordamida kompyuterda yechish imkonini beradi.

MATLAB dasturiy kompleksi o‘nlab kengaytirma paketlardan iborat. Bu paketlar to‘plami, ya’ni ToolBox yordamida qurilma va tizimlarni oson modellashtirish mumkin. ToolBox bu MATLAB dasturiy kompleksining funksiyalar to‘plami bo‘lib, undan signallarni qayda ishlashda, nazorat tizimlari, neyron tarmoqlari, noaniq mantiq, modellashtirish va boshqa masalalarni yechishdan foydalaniladi.

MATLAB dasturiy kompleksi quyidagi qismlardan tashkil topgan:

1. MATLAB dasturiy kompleksi tili. Axborotlar oqimi, funksiyalar, ma’lumotlar strukturasi, kirish-chiqish signallarini boshqaradigan va obyektga mo‘ljallangan dasturlashtirish tili xususiyatiga ega bo‘lgan yuqori darajali matritsa va massivlar tili.

2. MATLAB dasturiy kompleksi muhiti. Bu foydalanuvchi va dasturlovchi ishlashiga mo‘ljallangan instrumentlar va moslamalar to‘plami. Bu to‘plam orqali MATLAB da o‘zgaruvchilarni, kirish va chiqish ma’lumotlarini boshqarish va shuningdek M-fayllar (MATLAB muhitida tuzilgan dasturlar) va MATLAB ilovalarini yaratish, ularni kuzatish va moslashtirish amalga oshiriladi.

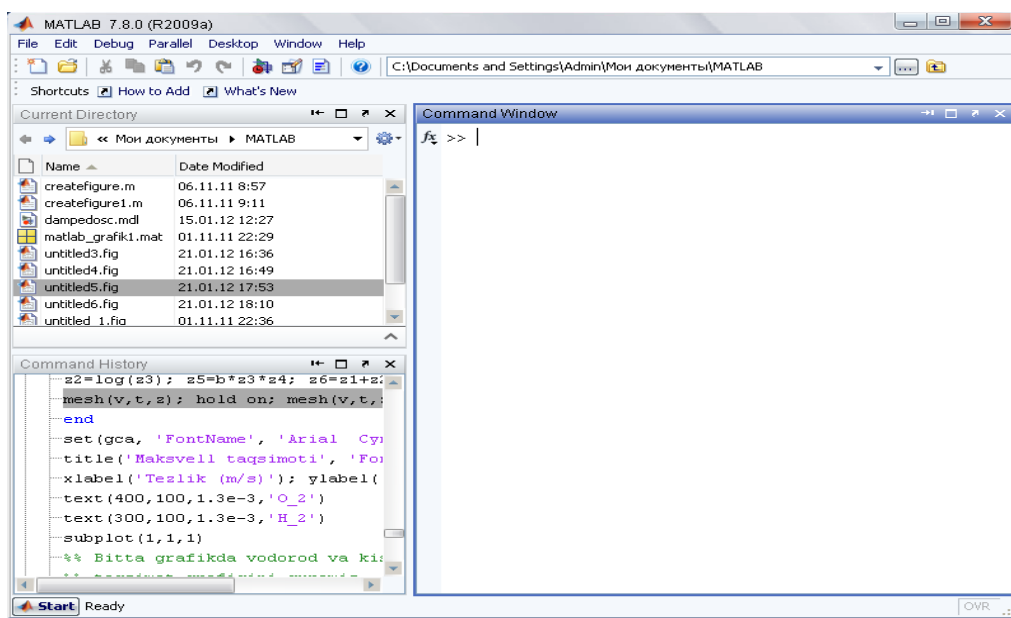
3. Boshqariladigan grafika. MATLAB dasturiy kompleksining grafik tizimi ikki va uch o‘lchamli ma’lumotlar orqali hosil qilingan grafiklarni namoyish etishga hamda tasvir, animatsiya va grafiklarni

qayta ishlashga mo'ljallangan yuqori darajali buyruqlardan tashkil topgan.

4. Matematik funksiyalar kutubxonasi. Bu kutubxona summa, sinus, kosinus, kompleks arifmetika kabi elementar funksiyalardan tortib, matritsalar ustida amallar, funksiyani Fure qatoriga yoyish kabi murakkab hisoblash algoritm to'plamidan iborat.

5. Dasturlash interfeysi. Bu kutubxona C va Fortran dasturlash tillarida dastur tuzish imkonini beradi.

MATLAB ning so'nggi versiyalari chiziqli va nochiziqli dinamik tizimlarni modellashtirishga mo'ljallangan Simulink kengaytma paketlari bilan birga qo'llanilib kelinmoqda. Simulink paketida vizual – orientirlash tamoyillari qo'llanilgan bo'lib, kerakli bloklarni yig'ish orqali tadqiq qilinayotgan tizim va qurilma modelini yaratish qulaydir. Tizim ishga tushirilgandan so'ng ishchi oynalari paydo bo'ladi (14.3-rasm). Bu ishchi oynalarni foydalanuvchi boshqarish panelining Desktop tugmasidan foydalanib o'ziga moslab olishi mumkin.

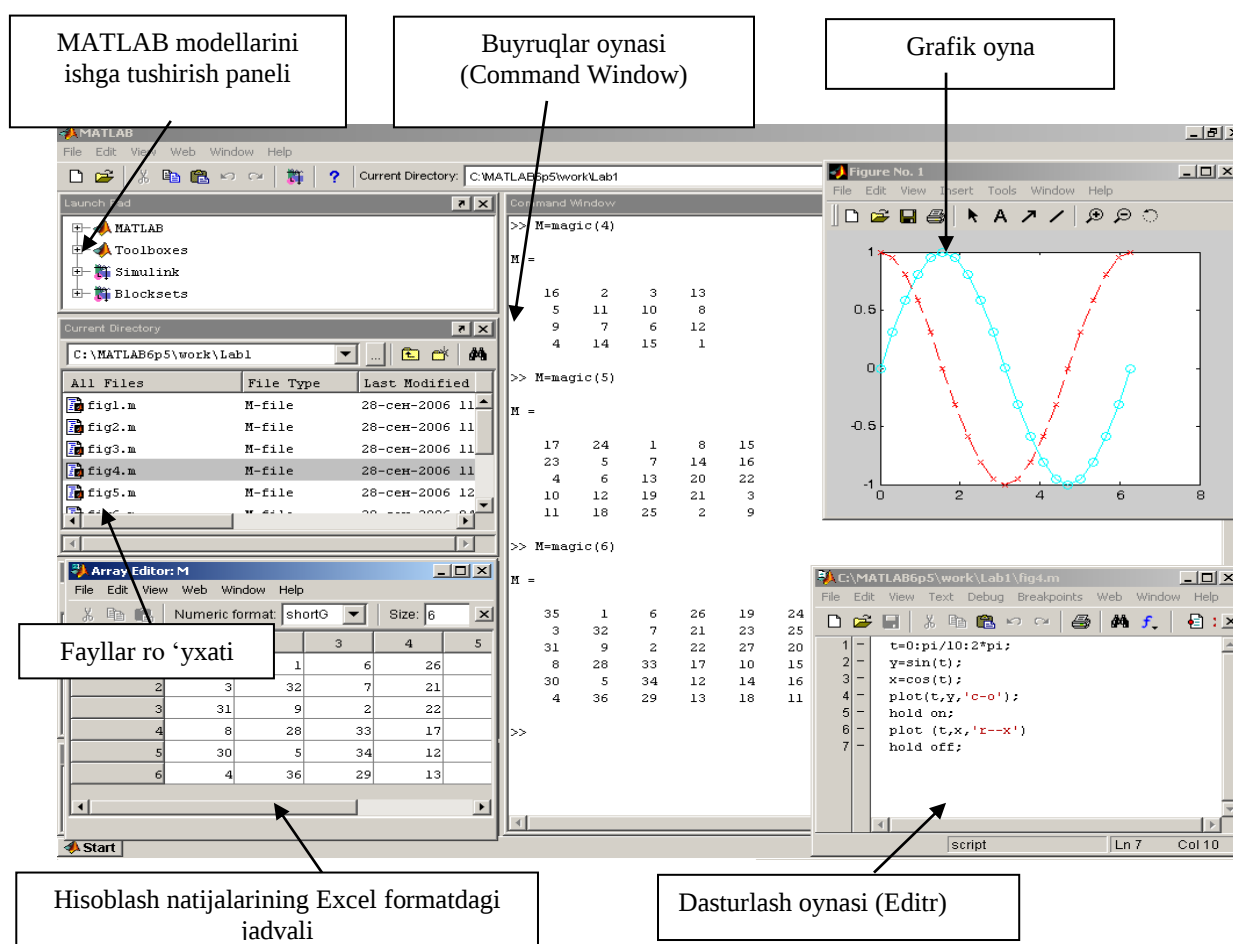


14.3-rasm. MATLAB tizimini ishga tushirilgandan keyingi oynalari.

Yechilayotgan masalaga bog'liq holda tizimning qo'shimcha oynalari ham chiqishi mumkin (14.4-rasm).

Maple amaliy dasturiy paketi. Maple – tipik integrallashgan tizim bo‘lib uning tarkibiga quyidagi vositalar kiradi:

- kuchli dasturlash tili (u tizim bilan interaktiv muloqot qilish vositasi hamdir);
- dasturlar va hujjatlarni tahrir qilish va tayyorlash uchun tahrirlagich;
- muloqot rejimida ishlash imkoniyatini beruvchi zamonaviy ko‘p oynali interfeys;
- minglab namunalarga ega bo‘lgan kuchli ma’lumotlar tizimi;
- algoritmlar va matematik ifodalarni o‘zgartirish qoidalarini o‘z tarkibiga oluvchi tizimning yadrosi;



14.4-rasm. MATLAB tizimining ba'zi bir ishchi oynalarini ko'rinishi.

- sonli va simvolli protsessorlar;
- diagnostika tizimi;
- o'rnatilgan va qo'shimcha funksiyalar kutubxonasi;

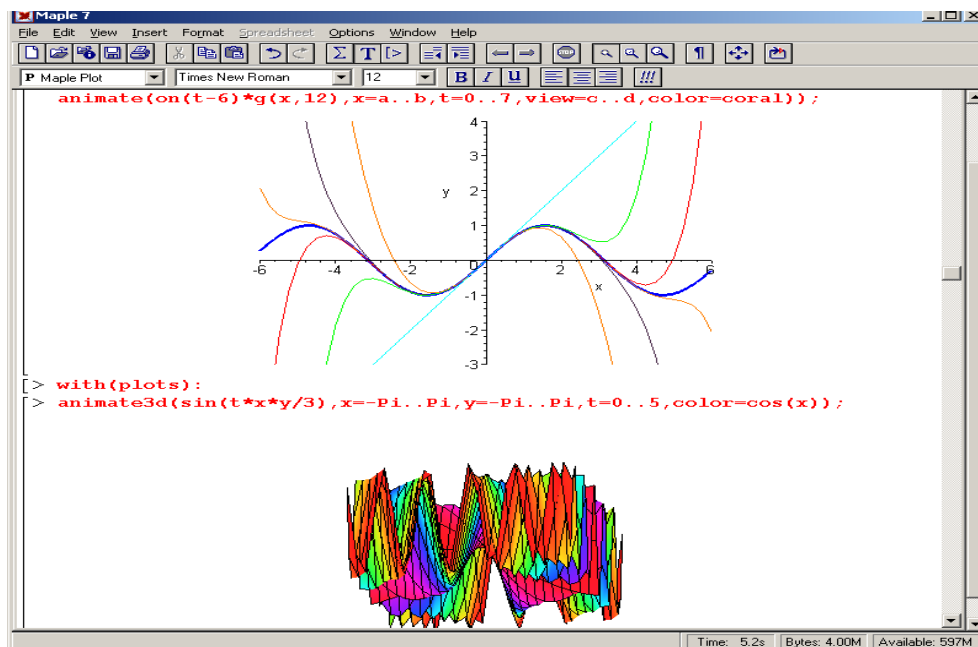
– foydalanuvchilar funksiyalarini va boshqa ayrim dasturlash tillari va dasturlarni qo‘llab-quvvatlash paketlari.

Yuqorida keltirilgan vositalarning barchasiga Maple dasturi orqali to‘g‘ridan-to‘g‘ri kirish mumkin.

Maple tizimi o‘zining uchta xususiy: kirish, amalga oshirish va dasturlash tillariga ega. Uning kirish tili o‘ta yuqori darajadagi til bo‘lib, har qanday murakkablikdagi matematik masalalarni yechishga yo‘naltirilgan. Bu til tizimga savol, ya‘ni qayta ishlanuvchi kirish ma‘lumotlarini berish uchun xizmat qiladi va o‘zining ideologiyasi bo‘yicha eski Basic tiliga o‘xshab ketadi. Kirish tili katta miqdordagi oldindan aniqlangan matematik va grafik funksiyalarga hamda zarur bo‘lganda qo‘shiladigan bibliotekalarga ega.

Maple tizimi an‘anaviy tarkibiy dasturlash vositalarini hamda kirish tilining buyruq va funksiyalarini o‘z ichiga oluvchi protseduraviy dasturlash tili – Maple-tiliga ham ega. Maple tizimini amalga oshirish tili bo‘lib eng kuchli va universal tillardan biri bo‘lgan C dasturlash tili xizmat qilgan. Uning yordamida tizim yadrosining dasturi yozilgan. Umuman olganda, Maple tizimi vositalarining taxminan 5 dan 10% gacha qismi C dasturlash tilida, qolgan 90-95% esa Maple-tilida yozilgan. Maple-tilidagi dasturlarni biriktirilgan taxrirlagichdan tashqari tashqi tahrirlagichlarda (masalan, Word da) ham tayyorlash mumkin. Maple tizimining biriktirilgan tahrirlagichi File menyusidagi New va Open buyruqlari yordamida ochiladi.

Maple – tili tarkibiy operatorlarining (sikl operatorlari, shartli va shartsiz operatorlar va h.k.) sintaksisi Basic va Paskal tillari sintaksislarining aralashmasiga o‘xshab ketadi. Windows tarkibida ishlovchi boshqa ilovalar singari Maple 7 ham qator elementlarga ega (14.5-rasm).



14.5-rasm. Maple 7 dasturining interfeysi.

- sarlavha satri (Yuqorida);
- bosh menyu satri (ikkinchi qator);
- asboblarning asosiy paneli (uchinchi qator);
- ko‘rinishi Maple 7 tizimining ishlash rejimiga asosan o‘zgarib turuvchi asboblarning kontekst paneli (to‘rtinchi qator);
- kiritish va hujjatlarni tahrirlash oynasi;
- holat satri (eng pastdagi qator).

Matematik simvollarni kiritishda tasvirlash vositalari (palitralar) View menyusining komandalari, jumladan Palettes ro‘yxatidan kerakli palitrani tanlash yo‘li bilan o‘zgartiriladi:

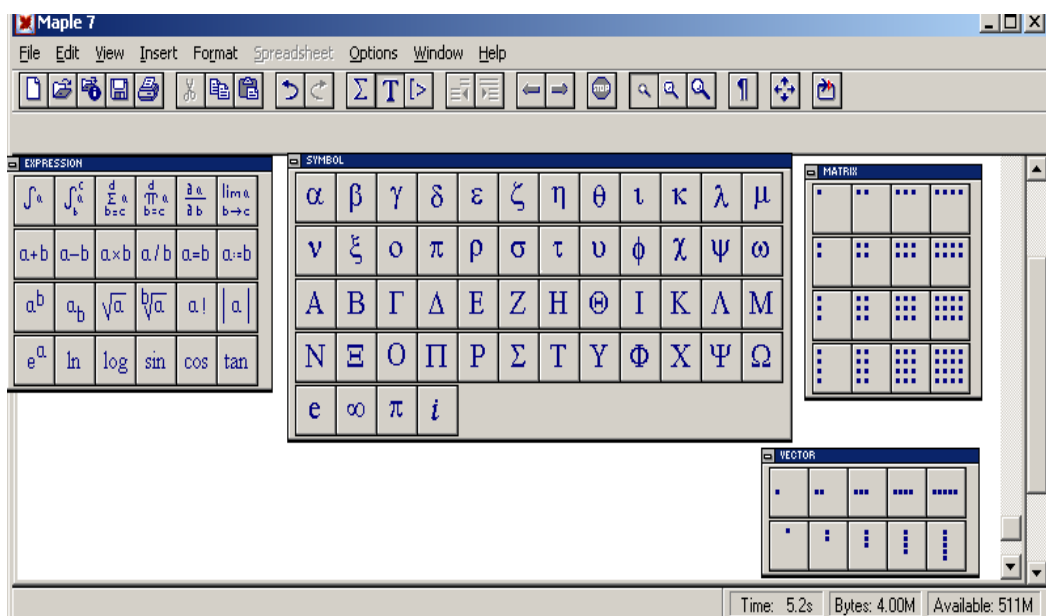
Symbol – ayrim simvollarni kiritish (yunon harflari va ayrim matematik belgilar);

Expression – matematik operatorlar va amallar shablonlarini kiritish;

Matrix – har xil o‘lchamdagi matritsalar shablonlarini kiritish;

Vektor – har xil o‘lchamdagi va turdagi (vektor-ustun va vektor-satr) vektorlarning shablonlarini kiritish;

Show All Palettes – ekranga hamma shablonlarni chiqarish (14.6-rasm).



14.6-rasm. Maple dasturining matematik shablonlarini chiqarish.

Matematikada bo'lgani singari Maple 7 tizimida ham funksiya tushunchasi asosiy tushunchalardan biri bo'lib hisoblanadi. Funksiya boshlang'ich ma'lumotlarni (funksiya parametrlarini) o'zgartirish natijalarini qaytaradi. Maple 7 juda ko'p biriktirilgan funksiyalarga ega. Ifodalarda funksiya nomi va qavs ichiga olingan parametrlari bilan ko'rsatiladi. Masalan, $\text{sqrt}(2)$ kvadrat ildizni hisoblash funksiyasidir. Unga murojaat qilinganda qiymatni qaytaradi. Masalan:

```
>4*sqrt(25.);
```

```
20.00000000
```

```
>4*sqrt(25);
```

```
20
```

```
>sqrt(26.);
```

```
5.099019514
```

```
>sqrt(26);
```

```
 $\sqrt{26}$ 
```

```
>sin(1);
```

```
sin(1)
```

```
>evalf(sin(1));
```

```
.8414709848
```

```
>sin(1.);
```

```
.8414709848
```

14.2. MathCAD tizimida sodda hisoblashlarni bajarish

MathCAD foydalanuvchiga elektron jadval imkoniyatlari bilan birga WYSIWYG (ekranda nimani ko'rsangiz, o'shani chop etganda olasiz) interfeys matn protsessorini havola qiladi. Tenglamalarni MathCAD da kiritish, tipografik matematik yozuv bilan ustma-ust tushadi. Xuddi elektron jadvallaridagidek, MathCAD dagi hujjatga ixtiyoriy o'zgarish kiritilsa, bu o'zgarishga bog'liq bo'lgan barcha natijalar yangilanadi. MathCAD o'ta murakkab matematik formulalarni hisoblashga mo'jallangan bo'lsa ham, uni oddiy kalkulator sifatida foydalanish mumkin (14.1-jadval).

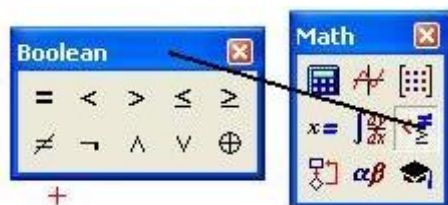
14.1-jadval

MathCAD dasturida arifmetik amallar

Amal	Klavisha	O‘qilishi	
•	*	Ko‘paytirish	
+	+	Qo‘shish	
-	-	Ayirish	
:	/	Bo‘lish	
Munosabat amallari			
>	>	Katta	
<	<	Kichik	
=	Ctrl =	Teng	
≥	Ctrl)	Katta yoki teng	
≤	Ctrl (	Kichik yoki teng	
≠	Ctrl #	Teng emas	
Mantiqiy amallar			
Not ¬	And ∧	Or ∨	Xor ⊗
0¬=1	0∧0=0	0∨0=0	0⊗0=0
1¬=0	0∧1=0	0∨1=1	0⊗1=1
	1∧0=0	1∨0=1	1⊗0=1
	1∧1=1	1∨1=1	1⊗1=0

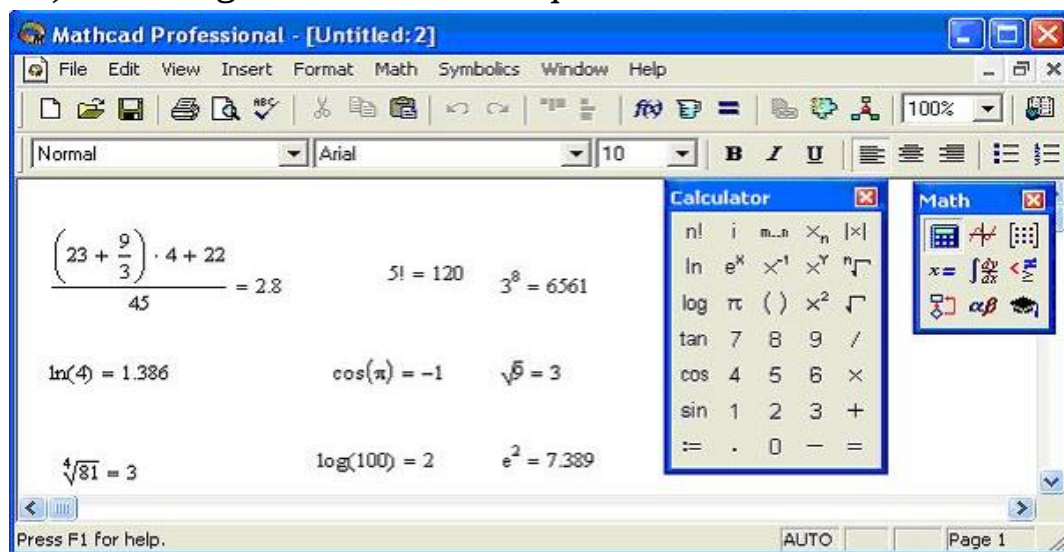
Masalan: $20 - \frac{10}{5}$ ifodani terib, = belgisini kiritish bilan MathCAD natijani hisoblab ekranga chiqaradi, ya'ni $20 - \frac{10}{5} = 18$.

Munosabat va mantiqiy amallarni Boolean palitrasida olish mumkin.



Ushbu misol MathCAD ishlashining xususiyatlarini namoyish qiladi.

- 1) Formulalar kitobda qanday yozilsa, MathCAD dasturida ham shunday yoziladi.
- 2) Qaysi amalni birinchi bajarishni MathCAD o'zi aniqlaydi.
- 3) = belgisi yozilgandan keyin MathCAD natijani chiqaradi.
- 4) Operatorlar kiritilgandan so'ng kiritish maydonchasi deb nomlangan to'g'ri to'rtburchakni ko'rsatadi.
- 5) Ekrandagi ifodalarni tahrir qilish mumkin.



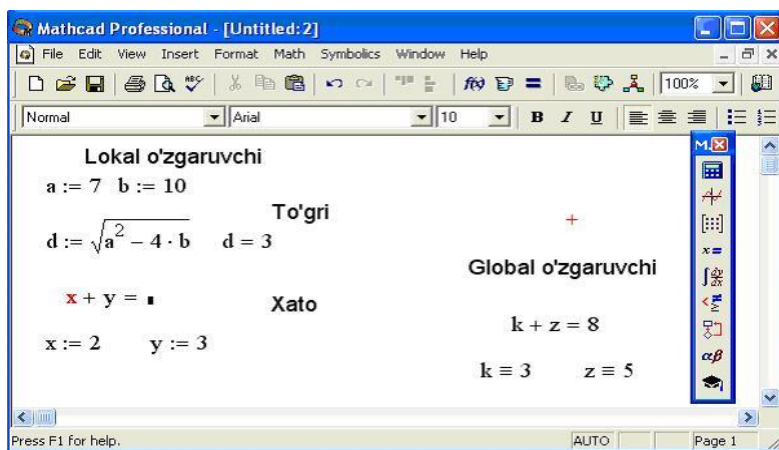
14.7-rasm. MathCADdasturida oddiy hisoblashlarga doir misollar

MathCAD da o'zgaruvchi va funksiyalarni aniqlash mumkin. Masalan t o'zgaruvchini aniqlash uchun t : kiritish lozim natijada $t :=$

hosil bo‘ladi, bo‘sh maydonchaga ixtiyoriy son kiriting. Shu bilan t o‘zgaruvchini aniqlash tugaydi $t := 10$. Ana shu tartibda har qanday o‘zgaruvchini aniqlash mumkin. Bu yerda, $:=$ o‘zlashtirish operatori vazifasini bajaradi, ya’ni $=$ dan o‘ng tomondagi qiymatni $=$ dan chap tarafdagi o‘zgaruvchiga o‘zlashtiradi. Ma’lumki dasturlash tillarida lokal va global o‘zgaruvchi tushunchasi mavjud, bu yerda ham bu tushuncha bor. Agar o‘zgaruvchi ko‘rinishda aniqlansa u lokal o‘zgaruvchi bo‘ladi. Global o‘zgaruvchi esa quyidagicha aniqlanadi $t \equiv 10$.

Misol qarab chiqamiz.

MathCAD ishchi hujjatni yuqoridan pastga va chapdan o‘ngga qarab o‘qiydi. Yuqorida keltirilgan misolda, agar ifodani qiymatini hisoblashda o‘zgaruvchilar ifodadan pastga e‘lon qilingan bo‘lsa, ifodani qiymatini hisoblashda xatolik yuz beradi. Global o‘zgaruvchilarda esa ifoda qayerda yozilishidan qat’i nazar, ifodada global o‘zgaruvchi qatnashgan bo‘lsa, unda ta’sir qiladi.



14.8-rasm. Lokal va global o‘zgaruvchilarni e‘lon qilish.

MathCAD da funksiyani ham aniqlash mumkin. Masalan $f(x) = x^2$ funksiyani qanday aniqlashni ko‘rib chiqamiz.

- 1) $f(x)$: kiritilsa, natijada $f(x) := \blacksquare$ hosil bo‘ladi.
- 2) x^2 kiritilsa, natijada $f(x) := x^2$ funksiya hosil bo‘ladi.

Bu yerda f funksiya nomi x esa funksiya argumenti. Funksiyaning ixtiyoriy nuqtadagi qiymatini hisoblash mumkin. Masalan $f(3)=9$, $f(5)=25$, $f(4)=16$. Xuddi shu tartibda ikki argumentli, uch argumentli va n argumentli funksiyaning aniqlashni mumkin. Masalan, ikki argumentli funksiyaning qanday aniqlashni ko'rib chiqamiz. $T(x,u):=x^2+u^2$, $T(2,1)=5$, $T(2,2)=4$.

MathCAD takroriy yoki iteratsion hisoblashlarni amalga oshirishi mumkin. Bunda u diskret argumentli o'zgaruvchilardan foydalanadi. Masalan, x o'zgaruvchining 10 dan 20 gacha 1 qadam bilan $\frac{x^2}{2}$ ifodaning qiymatlarini hisoblash talab qilingan bo'lsin.

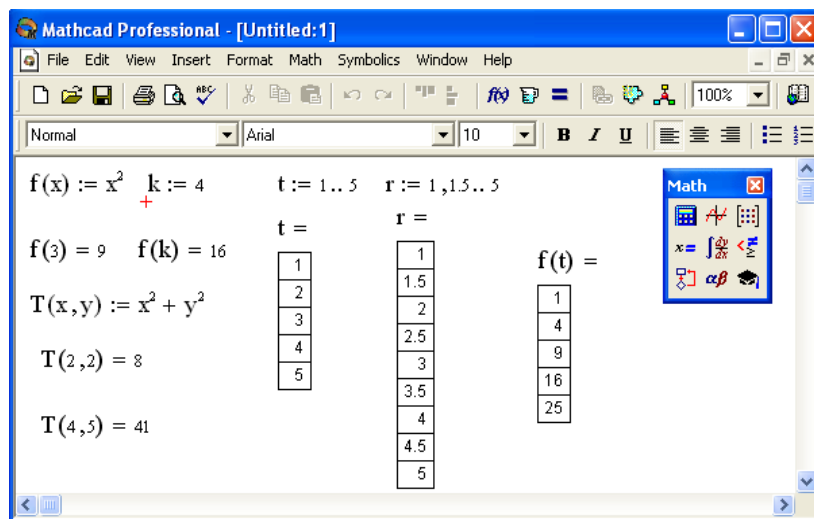
Buni quyidagicha amalga oshirish mumkin:

1) $x:=10,11$ ifoda kiritiladi;

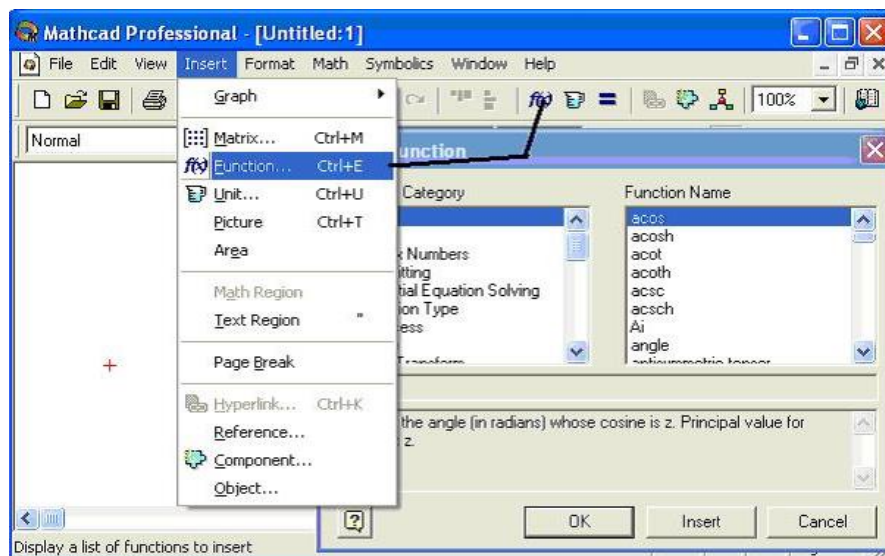
2) ; 20 ifoda kiritiladi;

natijada $x:=10,11,...,20$ hosil bo'ladi, bu yerda faqat ; tugmasi orqali qo'yiladi aks holda xato hisoblanadi. Agar oraliq berilgan bo'lsa, qadamni aniqlash quyidagicha bo'ladi. Birinchi qiymat kiritiladi va dan so'ng ikkinchi son kiritiladi. Ular orasidagi ayirmani qadam sifatida oladi agar , dan keyin son ko'rsatilmasa, qadamni 1 ga teng deb oladi. Diskret argument aniqlangandan keyin, shu o'zgaruvchini kiritilib, = ni kiritilsa, jadval shaklida diskret o'zgaruvchining qiymatlari keltiriladi. Boshqa dasturlash tillari kabi MathCAD da ham ixtiyoriy funksiyaning e'lon qilish mumkin, bunda oldindan yaratilgan maxsus standart funksiyalardan foydalanish mumkin. Masalan: $\sin(x)$, $\cos(x)$, $\ln(x)$ va boshqa funksiyalar.

Funksiyalarni qanday aniqlashni, funksiya diskret argumentning qiymatlarida hisoblashni va standart funksiyalardan qanday foydalanishni 14.9 va 14.10-rasmlarda keltirilgan.



14.9-rasm. MathCAD dasturida funktsiyani aniqlash



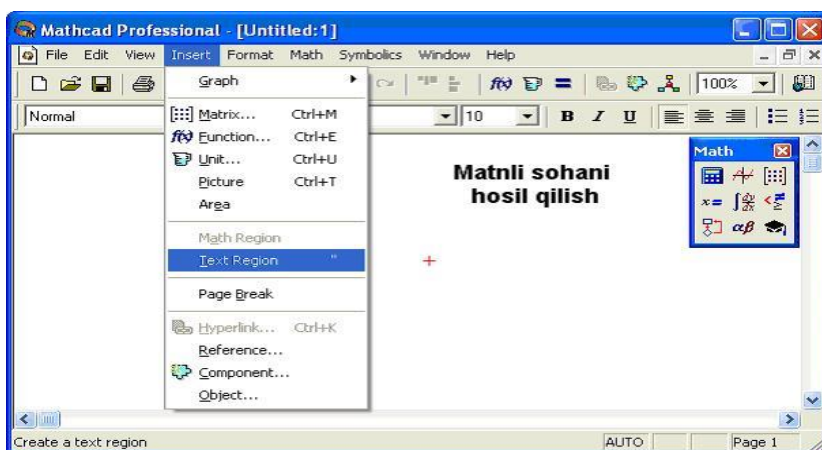
14.10-rasm. MathCAD dasturida standart funktsiyalardan foydalanish.

MathCAD dasturi matn va formulalarni ishchi hujjatning ixtiyoriy joyiga kiritishga imkon beradi. Har bir matematik ifoda yoki matn lavhasi ma'lum sohada yoziladi. MathCADning ishchi hujjati mana shunday sohalardan iborat bo'ladi. MathCAD da formulalarga matn yordamida izohlar keltirish mumkin. Matn ikki xil ko'rinishda bo'ladi: matnli soha va paragraf ko'rinishda bo'ladi. Matnli sohani ishchi hujjatning ixtiyoriy joyiga joylashtirish

mumkin, paragraf esa kengligi bo'yicha betga tengdir. Matnli sohani tuzish uchun:

- 1) Kursor tegishli joyga qo'yiladi.
- 2) Menyu qatorining INSERT bo'limidan Text Region tugmasi bosiladi yoki [Shift+ "] tugmalarini birgalikda bosiladi.

Shunday qilib, matnli soha hosil qilinadi va ixtiyoriy matnni kiritib tahrirlash mumkin. Matnda formula kiritish uchun esa menyu qatorining INSERT bo'limidan Math Region qismi tanlanadi. Yozilgan matnni rangli tasvirlash mumkin va matndagi simvollar ustida izlash, almashtirish va xatolarini tekshirish mumkin.



14.11-rasm. MathCAD dasturida matnli sohani hosil qilish.

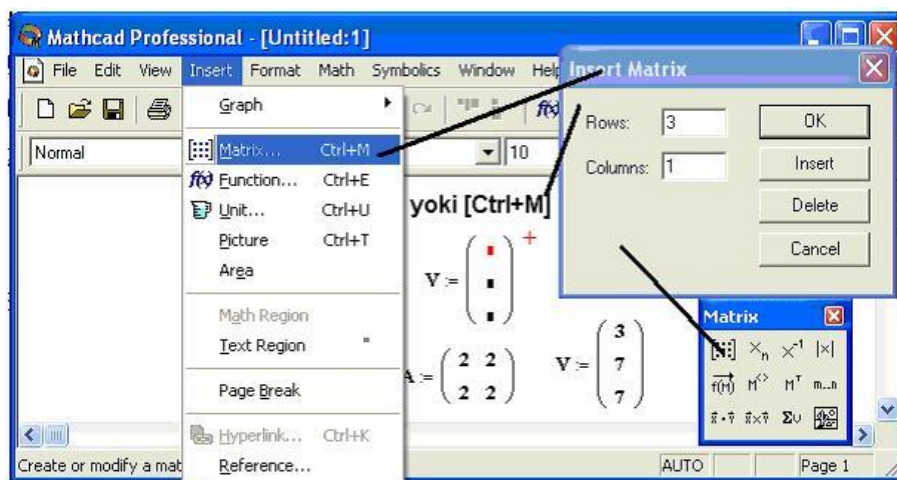
14.3. MathCAD tizimida massivlar bilan ishlash

MathCAD tizimida vektor va matritsalar bilan ishlash mumkin. O'zgaruvchilar ham skalyar sonlar kabi massivga ega. Massivni aniqlash ham o'zgaruvchilarga skalyar qiymatlarni berganidek, avval o'zgaruvchining nomi yoziladi va : qo'yiladi keyin massivi kiritiladi (vektor yoki matritsa). Masalan 3 elementli v vektorni aniqlash uchun quyidagi ishlar bajariladi.

- 1) bo'sh qatorga $V := \bullet$ ko'rinishda v vektor kiritiladi.

2) INSERT bo‘limidan Matrix... ni tanlanadi, yoki [Ctrl+M] tugmasi bosiladi, yoki matematik belgilar panelidan matritsa belgisi tanlanadi, natijada muloqot oynasi hosil bo‘ladi.

3) Satr va ustun elementlar sonini kiritib, OK tugmasi bosilsa, vektor yoki matritsa hosil qilinadi.



14.12-rasm. MathCAD dasturida matritsa va vektorni tasvirlash.

Massiv hosil qilinganidan keyin, uning elementlarini Tab tugmasi orqali to‘ldirish mumkin.



Massivni hosil qiladi.

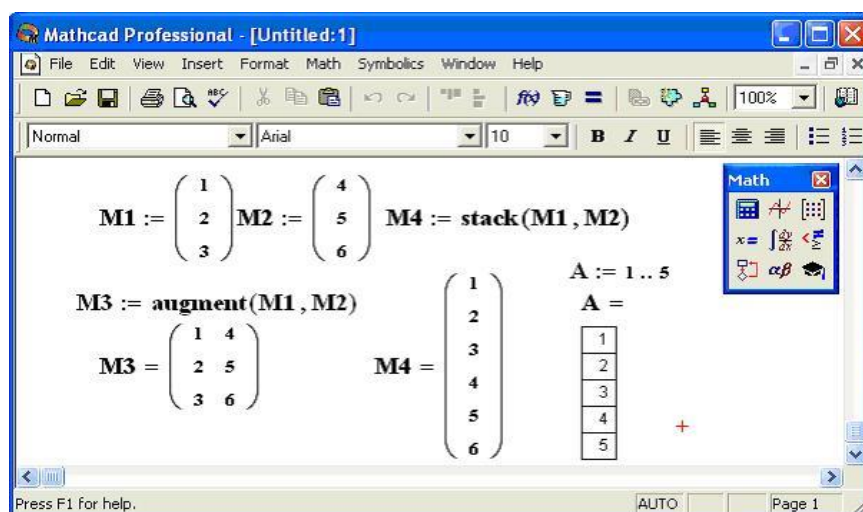
Satr yoki ustun joylashtradi

Satr yoki ustunni o‘chiradi.

Bekor qiladi.

Massiv elementlariga murojaat qilish uchun quyi chegara ishlatiladi, uning alohida ustunlariga murojaat qilish uchun yuqori chegaradan foydalaniladi. Quyi chegara [bilan yuqori chegara [Ctrl+6] tugmalari yordamida chiqariladi. Masalan, yuqoridagi misolda $V_0=3$, $A_{1,1}=2$, $A^1=\begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix}$ ga teng bo‘ladi. Ba’zi massiv

elementlariga qiymat berilmasligi ham mumkin. Masalan X ga qiymat bermasdan X_3 ga qiymat berilsa, X_0, X_1, X_2 lar 0 qiymat qabul qiladi. Agar massivlarni e'lon qilishdan oldin $\text{ORIGIN} \equiv 0$ deb yozilsa, massiv elementlarini tartiblashni 0 dan boshlaydi. Agar $\text{ORIGIN} \equiv 1$ deb yozilsa, massiv elementlarini tartiblashni 1 dan boshlaydi. Massiv elementlari 100 dan ortiq bo'lsa uni 14.13-rasmda keltirilganidek aniqlab bo'lmaydi. Buning uchun "argument" yoki "stack" funksiyalaridan foydalanish mumkin yoki diskret argumentlar yordamida aniqlash mumkin.



14.13-rasm. MathCAD dasturida massivni “argument” yoki “stack” funksiyalari yordamida birlashtirish va diskret argument orqali aniqlash.

MathCAD dagi ba’zi operatorlar matritsa va vektorlarni o‘zgartirish uchun muhimdir. Bu operatorlarning ko‘pi simvollardan iborat, ular 14.2-jadvalda keltirilgan.

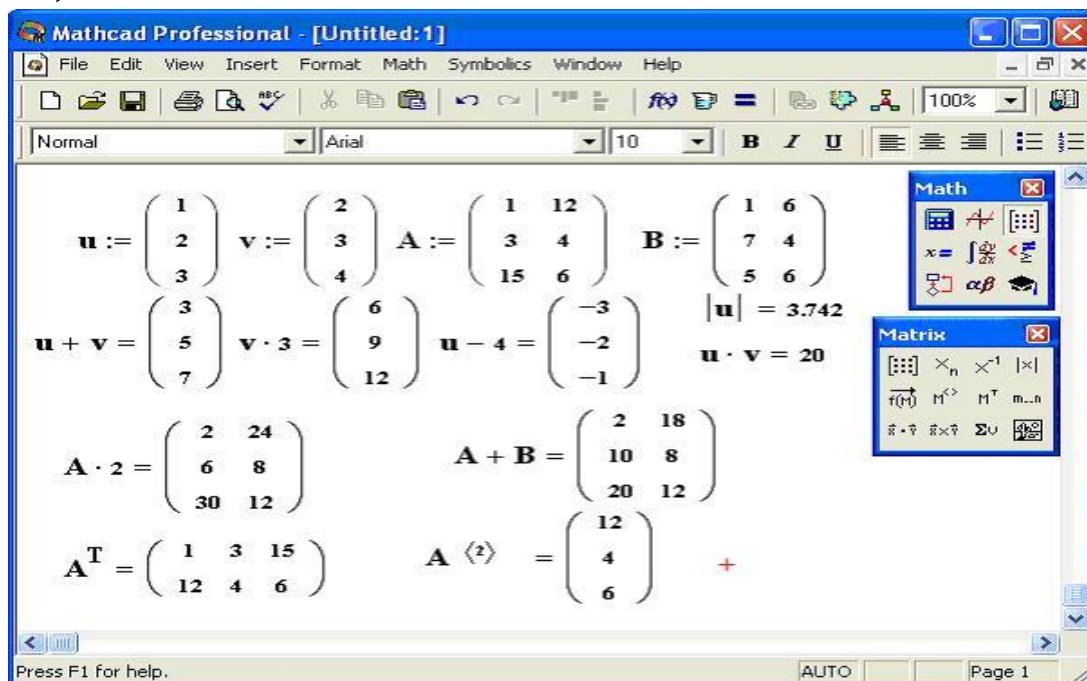
14.2-jadval

MathCAD dasturi operatorlari

Amal	Ko‘rinishi	Klavisha	Ma’nosi
Matritsani skalyar songa ko‘paytirish	$A \cdot n$	*	A ning har bir elementi n ga ko‘paytiriladi
Skalyar ko‘paytma	$u \cdot v$	*	u va v ning uzunligi teng
Matritsaviy ko‘paytma	$A \cdot B$	*	A ustunlar soni B qatorlar soniga teng
Matritsani vektorga ko‘paytirish	$A \cdot v$	*	A ustunlar soni v ning satrlar soniga teng bo‘lishi kerak
Matritsani songa bo‘lish	$\frac{A}{n}$	/	Har bir massiv elementi n ga bo‘linadi
Vektor va matritsani yig‘indisi va ayirmasi	$A+B, u+v$ $A-B, u-v$	+	Massivlar bir xil satr va bir xil ustunga ega bo‘lishi kerak
Skalyar yig‘indi	$A+n$	+	A ning har bir qiymatiga n qo‘shiladi
Skalyar ayirma	$A-n$	-	A ning har bir qiymatidan n ayiriladi
Ishorani almashtirish	$-A$	-	A ni -1 ga ko‘paytiradi
Matritsa darajasi	M^n	$\wedge$	n-darajali kvadrat matritsa M^{-1} , M ga teskari matritsa
Vektor uzunligi	$ v $	<i>Shift</i> + $\backslash$	
Determinant	$ M $	<i>Shift</i> + $\backslash$	
Transponirlash	A^T	<i>Ctrl</i> +1	Satr elementlarini ustun elementlariga almashtiradi
Vektor ko‘paytma	Yxv	<i>Ctrl</i> +8	u va v lar uchun ko‘paytmani hisoblaydi.
Kompleks	$\overline{A}$	“	A ning mavhum qismini belgisini almashtiradi
Yuqori daraja	$A^{<n>}$	<i>Ctrl</i> +6	Matritsaning n – ustuni
Vektorizatsiya	$\vec{A}$	<i>Ctrl</i> + $-$	
Quyi indeks	$A_{n,m}$	[	
Elementlar yig‘indisi	$\sum^v$	<i>Ctrl</i> +4	

Yuqoridagi jadvalda keltirilgan o‘zgaruvchilarda:

- 1) A va B – matritsalar;
- 2) u va v – vektorlar;
- 3) M – kvadrat matritsa;
- 4) u_i, v_i – u va v vektorning elementlari;
- 5) m va n – butun sonlar.



11.14-rasm. MathCAD dasturida vektor va matritsali operatorlar.

MathCAD o‘zida algebra va chiziqli algebra uchun funksiyalarni saqlaydi. Bu funksiyalar vektorlar va matritsalarini ishlatish uchun tayinlangan. 14.3-jadvalda vektorli va matritsali funksiyalar keltirilgan.

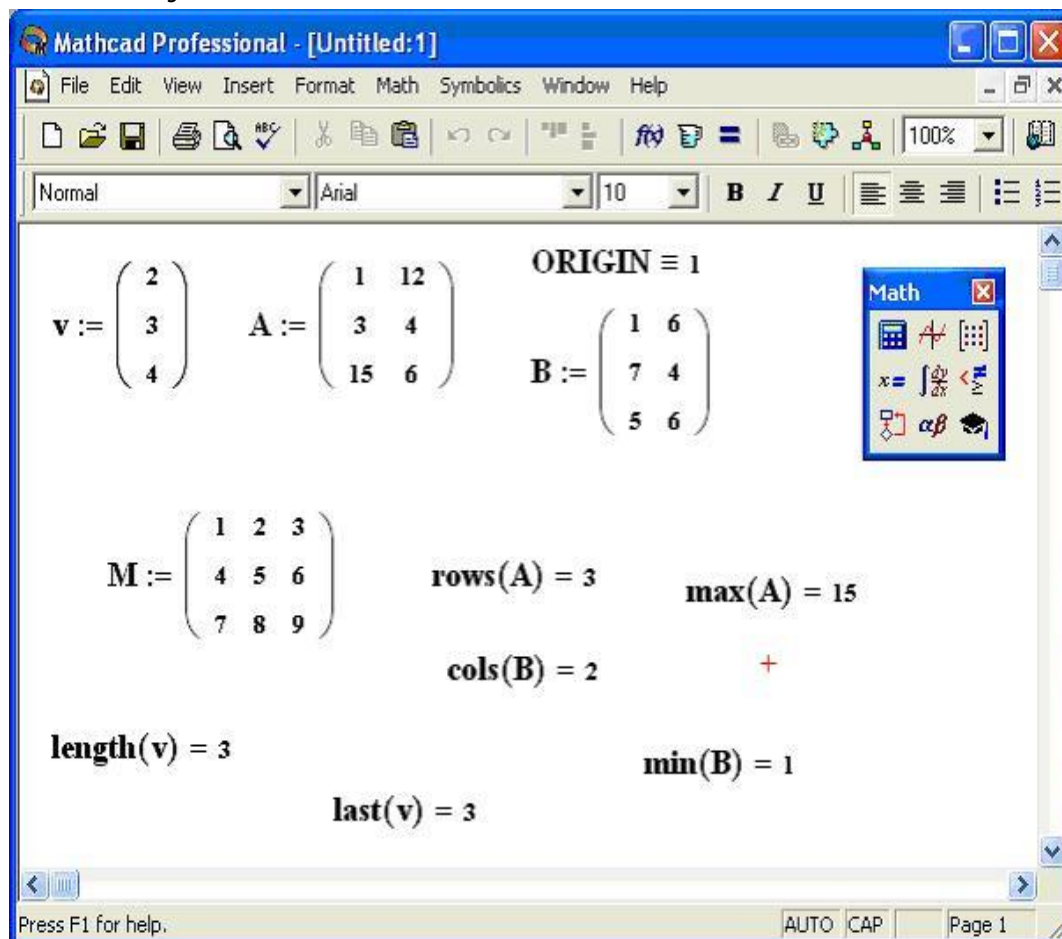
14.3-jadval

MathCAD dasturida vektorli va matritsali funksiyalar

Funksiya nomi	Hosil bo‘ladi
$rows(A)$	A massivning satrlar soni
$cols(A)$	A massivning ustunlar soni
$length(V)$	V vektorning elementlar soni
$last(V)$	V vektor elementining oxirgi indeksi
$max(A)$	A massivning eng katta elementi
$min(A)$	A massivning eng kichik elementi

Bunda: A va B – massivlar, V – vektor; M va N – kvadrat matritsa; z – skalyar son

m, n, i, j – butun sonlar.

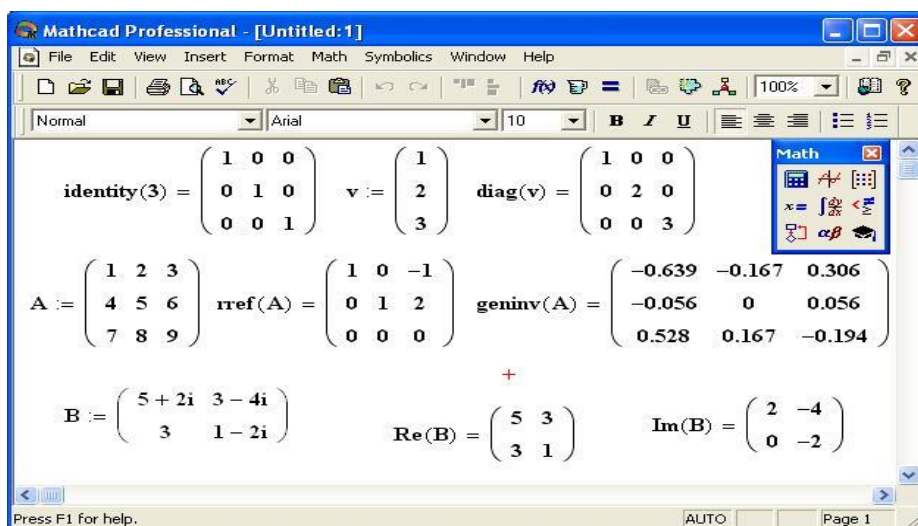


14.15-rasm. MathCAD dasturida vektorli va matritsali funksiyalarni qo‘llashga oid misollar.

14.4-jadval

MathCAD dasturida matritsali funksiyalar

Funksiya nomi	Hosil bo‘ladi
$\text{identity}(n)$	$N \times n$ birlik matritsa
$\text{Re}(A)$	A matritsa elementining aniq qismiga tegishli massiv
$\text{Im}(A)$	A matritsaning mavhum qismiga tegishli massiv
$\text{diag}(v)$	V nimatritsa diagonalida joylashtiradi
$\text{geninv}(A)$	A – $m \times n$ matritsa, $m \geq n$
$\text{rref}(A)$	A matritsani bosqichli shakli



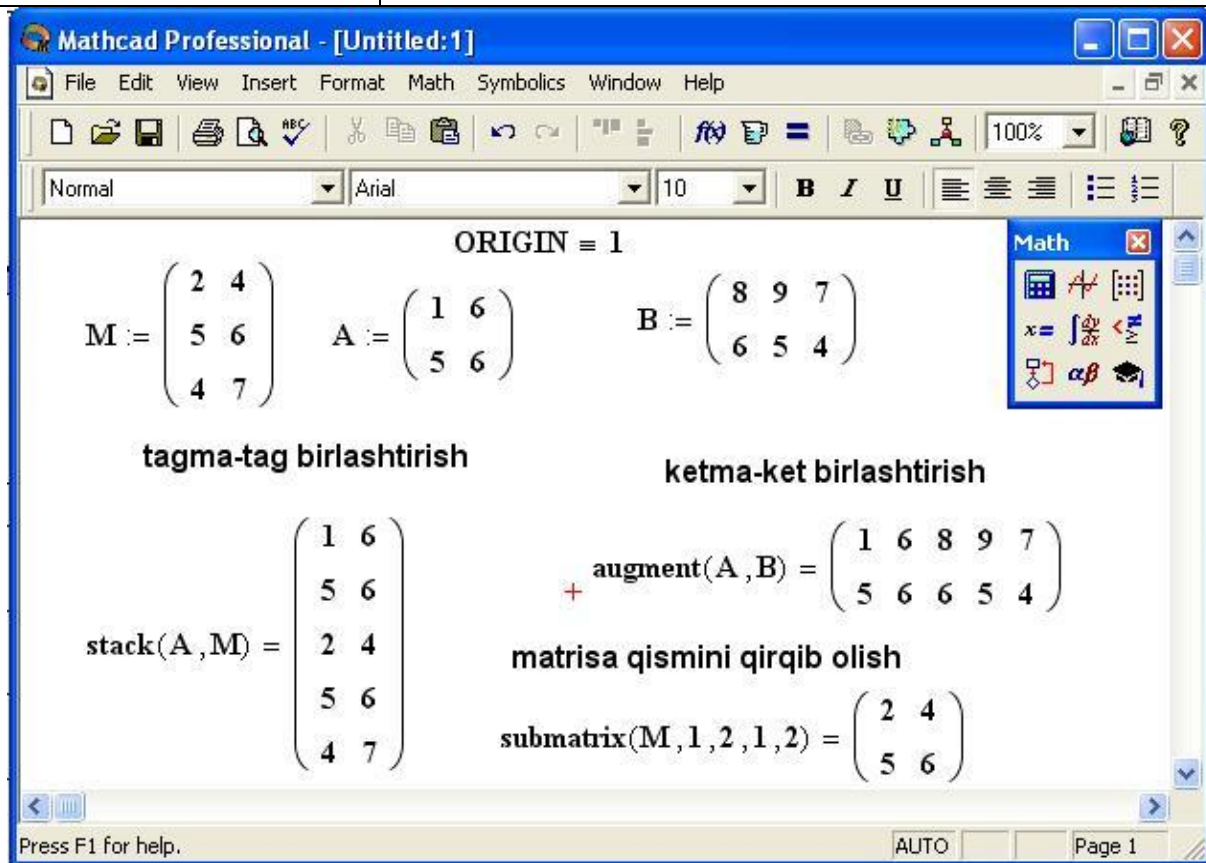
14.16-rasm. MathCAD dasturida matritsali funksiyalarga oid misollar.

14.5-jadval

MathCAD dasturida matritsaning xarakteristikalari

Funksiya nomi	Hosil bo‘ladi
tr(M)	M-kvadrat matritsa diagonal elementlari yig‘indisi
mean(T)	T-massiv elementlari o‘rta arifmetigi.
rank(A)	A matritsaning rangi
norm1(M)	M matritsaning L_1 normasi
norm2(M)	M matritsaning L_2 normasi
norme(M)	M matritsaning Evklid normasi
normi(M)	M matritsaning teng o‘lchovli normasi
cond1(M)	M matritsa shartli soni L_1 normaga asosli
cond2(M)	M matritsa shartli soni L_2 normaga asosli
conde(M)	M matritsa shartli soni Evklid normaga asosli
cond(iM)	M matritsa shartli soni teng o‘lchovli normaga asosli
Yangi matritsani formatlash	
augment(A,B)	A va B massivni ketma-ket joylashtiradi. A va B ning satr elementlari teng bo‘lishi kerak.
stack(A,B)	A va B massivni tagma-tag joylashtiradi. A va B ning ustun elementlari teng bo‘lishi kerak.
Submatrix(A,m,n,i,j)	A-matritsaning m...n satrva i...j ustun

elementlaridan iborat.



14.17-rasm. MathCAD dasturida matritsani xarakteristikasiga va matritsani formatlashga oid misollar.

Massivlardan o'zgaruvchi va funksiyalarni e'lon qilishda ham ishlatish mumkin. Masalan: [16, 17, 28, 29, 38, 48, 50].

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 5 \\ 6 \\ 7 \end{pmatrix}, \text{ bu yerda } a=5, b=6 \text{ va } c=7.$$

$$F(x) := \begin{pmatrix} x^2 & x \\ \sqrt{x} & -x \end{pmatrix} F(4) := \begin{pmatrix} 16 & 4 \\ 2 & -4 \end{pmatrix}$$

$$F(4)_{2,2} = -4 \quad F(4)^{<2>} = \begin{pmatrix} 4 \\ -4 \end{pmatrix}$$

MathCAD dasturida matritsa va vektor elementlarini saralash

sort(V)	V– vektor elementlarini o‘sib borish tartibida joylashtirish
revarse(V)	V vektor elementlarini kamayib borish tartibida joylashtirish
Csort(M,n)	M-matritsa n-qator elementlarini saralash
Rsort(M,n)	M-matritsa n– ustun elementlarini saralash

V vektor elementlarini o'sib borish tartibda joylashtirish $V := \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{sort}(V) = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 3 \end{pmatrix}$		ORIGIN = 1 $+ \quad M := \begin{pmatrix} 2 & 6 & 7 & 8 \\ 5 & 4 & 1 & 9 \\ 6 & 3 & 5 & 2 \end{pmatrix}$	
M matrisani 3-ustun elementlarini saralash $\text{csort}(M,3) = \begin{pmatrix} 5 & 4 & 1 & 9 \\ 6 & 3 & 5 & 2 \\ 2 & 6 & 7 & 8 \end{pmatrix}$		Matrisani 2- qator elementlarini saralash $\text{rsort}(M,2) = \begin{pmatrix} 7 & 6 & 2 & 8 \\ 1 & 4 & 5 & 9 \\ 5 & 3 & 6 & 2 \end{pmatrix}$	

14.18-rasm. MathCAD dasturida matritsava vektor elementlarini saralash.

Nazorat savollari

1. Imitatsion modellashtirishda foydalaniladigan dasturiy paketlarni tasniflab bering.
2. Imitatsion modellashtirida qo‘llaniladigan universal dasturiy paketlarning imkoniyatlari nimalardan iborat?
3. MathCAD dasturiy paketining imkoniyatlarini tushuntirib bering.
4. MathCAD dasturiy paketining dasturlash tili mavjudmi?
5. MathCAD dasturiy paketi muhitida ishlashning yaqqol ajralib turadigan imkoniyatlarini aytib bering.
6. MathCAD muhitida qanday tenglamalar va tenglamalar sistemasini yechish mumkin?
7. MathCAD interfeysini tushuntirib bering.

8. MathCAD dasturining xarakterli interfeyslarini izohlab bering.
9. MathCAD dasturining Menyular qatorida nimalar joylashgan?
10. MATLAB amaliy dasturiy paketining imkoniyatlarini tavsiflab bering.
11. MATLAB tizimi orqali qaysi turdagi masalalarni yechish mumkin?
12. MATLAB dasturiy kompleksi qanday qismlardan tashkil topgan?
13. Maple amaliy dasturiy paketi imkoniyatlarini izohlab bering.
14. MathCAD amaliy paketida natijani chiqarish uchun qanday belgi bosiladi?
15. MathCAD amaliy paketida funktsiyani qanday aniqlash mumkin?
16. MathCAD amaliy paketida vektor va matritsalar bilan ishlash qanday amalga oshiriladi?

GLOSSARIY

Analitik modellar – modellashtirilayotgan tizim strukturasini o'rganish uchun ishlab chiqilgan matematik modellar. Iqtisodiy va matematik modellashtirishda, qoida tariqasida, maqsad modellashtirilgan tizimning samaradorligini oshirish zaxiralarini yoki iqtisodiy faoliyatning o'rganilayotgan ko'rsatkichlariga ta'sir qiluvchi omillarni, shuningdek ularning ta'sir qilish shakllari va darajalarini aniqlashdan iborat.

Antagonistik o'yinlar – tomonlarning qarama-qarshi manfaatlariga ega bo'lgan o'yinlar (qarama-qarshi bo'lmagan manfaatlarga ega bo'lgan o'yinlardan farqli ravishda). Bularga, xususan, ikki kishilik nol summali o'yin, ya'ni bir o'yinchining yutug'i ikkinchisining yo'qotishi kabi o'yinlar kiradi.

Aposterior yechim – stoxastik ikki bosqichli modellarda iqtisodiy natijalarga ta'sir etuvchi ma'lum bir tasodifiy hodisaning ro'y berishi haqida ma'lumot olgandan keyin bajariladigan rejalashtirilgan vazifalarni tavsiflovchi o'zgaruvchilarning optimal qiymatlari vektoridir. Tasodifiy hodisalarning har bir varianti (natijasi) uchun alohida aposterior yechimi taqdim etiladi.

Aprior qaror – stoxastik ikki bosqichli modellarda – kutilayotgan iqtisodiy natijalarga ta'sir qiluvchi tasodifiy hodisalar haqida ma'lumot olishdan oldin bajarilishi kerak bo'lgan rejalashtirilgan vazifalarni tavsiflovchi o'zgaruvchilarning optimal qiymatlari vektori.

Balans – iqtisodiy-matematik modellashtirishda – resurs manbalari va undan foydalanish yo'nalishlari o'rtasidagi muvofiqlikni o'rnatadigan tenglama yoki tengsizlik. Resursning mavjud manbalaridan qoldiqsiz foydalanish kerak bo'lsa yoki qoldiq mavjudligi iqtisodiy samaraga ta'sir qilsa (utilizatsiya qilish xarajatlarini talab qilsa yoki bozorda foydali sotilishi mumkin bo'lsa) tenglamalar qo'llaniladi. Aks holda, balanslar tengsizliklar shaklida yoziladi, unga

ko'ra resursdan umumiy foydalanish uning mavjud manbalari hajmidan oshmaydi.

Chegaraviy shartlar tizimi – resurslarning chegaralanganlik shartlarini rasmiy ifodalovchi tenglamalar tizimi.

Chegaraviy shartlarning ikkilangan bahosi – bu chegaraviy shartlarshning erkin muddati qiymatining kichik o'zgarishi bilan optimal dasturlash masalasining maqsad funksiyasi qiymatining oshishini tavsiflovchi qiymat; optimal dasturlash masalasi chegaraviy shartlarining erkin hadlari funksiyasi sifatida qaraladigan maqsad funksiyaning optimal qiymatining qisman hosilasi, ushbu chegaraviy shartlarning erkin hadining qiymatiga nisbatan. Chegaraviy shartlar birligi uchun maqsad funksiya birliklarida o'lchanadi.

Chiziqli dasturlash – (1) chiziqli tenglamalar va (yoki) tengsizliklar tizimi tomonidan berilgan o'zgaruvchilarning ruxsat etilgan qiymatlari to'plamida chiziqli funksiyaning ekstremumini topish masalasini o'rganadigan matematik dasturlash bo'limi; (2) imitatsiya qilingan obyektlarning tuzilishi haqidagi bilimlarni chiziqli tenglamalar tizimi va (yoki) tomonidan berilgan o'zgaruvchilarning ruxsat etilgan qiymatlari to'plamida chiziqli funksiyaning ekstremumini topish masalasi ko'rinishida ifodalash uchun foydalaniladigan tengsizliklar tizimi.

Deskriptiv modellar – maqsadi modellashtirilgan obyektning tuzilishi haqidagi bilimlarning rasmiylashtirilgan ifodasi bo'lgan modellar.

Deterministik vaziyat – aniq, tasodifiy omillarga ega bo'lmagan vaziyat. Asosan chiziqli dasturlash masalalari yechiladi

Dinamik holat – vaqtga bog'liq holat.

Dinamik model – jarayonning vaqt bo'yicha rivojlanishini tavsiflovchi matematik model.

Diskret o'zgaruvchi – uzluksiz o'zgaruvchi.

Empirik model – 1. bu qiymatlari eksperimental yoki kuzatish ma'lumotlari bilan tasdiqlangan raqamli parametrlarni o'z ichiga olgan

matematik modellar turi; 2. raqamli parametrlarni o'z ichiga olgan matematik model, ularning qiymatlari tajriba yoki kuzatish ma'lumotlari bilan asoslanadi.

Formalizm – (1) bilimlarni ifodalash uchun ishlatiladigan belgilar tizimi; (2) bilimlarni ifodalashning lingvistik (rasmiy) va protsessual (hisoblash) vositalari to'plami.

Gipoteza – mavjud bilim va tajribaga asoslangan holda ilmiy isbotlashni, muammoni oldindan tushuntirishni talab qiladigan taxmin.

Gomomorfizm – bu ikki tizim tuzilmalari o'rtasidagi o'xshashlikning bir tomonlama munosabati. Agar uning o'zgaruvchilari ruxsat etilgan har qanday vektorini boshqa tizimning ba'zi tanlangan o'zgaruvchilari vektoriga moslashtiruvchi munosabatni belgilash mumkin bo'lsa, tizim boshqa tizimga gomomorf deyiladi, uning tarkibiy qismlari uning holatining ba'zi bir ruxsat etilgan vektorining komponentlari bo'ladi. Model uchun majburiy talab uning modellash-tirilgan obyektga gomomorfizmidir.

Graf – bu cho'qqilar va qirralar to'plamidan iborat grafik.

Hisoblash tajribasi – bu kompyuter modeli ishlab chiqilgan hodisa, jarayon yoki mashinani o'rganish usuli.

Hodisa – tarmoqni rejalashtirish va boshqarishda ish boshlanishi yoki tugashini bildiruvchi holat.

Hodisa rezervi (zaxirasi) – bu umuman loyihani yakunlash muddatini keltirib chiqarmay, tadbirni yakunlash kechiktirilishi mumkin bo'lgan maksimal ruxsat etilgan muddat.

Hodisalarning to'liq guruhi – hodisalar, ularning kamida bittasi, albatta, tajriba natijasida yuzaga keladi.

Hodisani yakunlash (tugatish) uchun kechiktirilgan muddat – bu voqeadan oldingi barcha ishlarni, umuman loyihaning tugash muddatini buzmasdan bajarish mumkin bo'lgan eng so'nggi vaqt.

Hodisani yakunlashning (tugatishning) eng erta muddat – bu voqeadan oldingi barcha ishlar tugatilishining eng erta muddati.

Hodisaning ehtimolligi – bu voqea sodir bo‘lishining obyektiv imkoniyati darajasidir.

Iqtisodiy model – voqelikning soddalashtirilgan ko‘rinishi bo‘lib, iqtisodiy-matematik model ko‘rinishida mujassamlashgan.

Iqtisodiy o‘shish modellari – bu butun iqtisodiyotni, uning tarmoqlarini va ayrim iqtisodiy subyektlarni rivojlanishini tavsiflovchi iqtisodiy ko‘rsatkichlarning vaqt o‘zgarishini tavsiflovchi iqtisodiy-matematik modellar.

Iqtisodiy-matematik modellashtirish – bu boshqariladigan tizimning matematik shakldagi eng muhim munosabatlari va xatti-harakatlarining qonuniyatlarining jamlangan ifodasidir.

Iqtisodiy-matematik model – iqtisodiy jarayonlarni, obyektlarni va munosabatlarni matematik vositalar yordamida ifodalovchi model.

Iqtisodiy-matematik usullar – iqtisodiy jarayon va hodisalarni hisoblash yoki modellashtirishning analitik usullari.

Imitatsiya modeli – o‘rganilayotgan obyektning xatti-harakatlarini takrorlaydigan va turli xil tashqi sharoitlarda va boshqaruv harakatlarida obyektning ishlash xususiyatlarini ochib beruvchi kompyuter tajribalarini o‘rnatish uchun ishlatiladigan matematik model.

Ish – tarmoqli rejalashtirish va boshqarishda mehnat va boshqa resurslarni talab qiladigan har qanday xarajatlardir.

Ishonchli hodisa – bu tajriba natijasida sodir bo‘ladigan voqea (ehtimolligi birga teng).

Kompyuter imitatsiyasi – dinamik tenglamalar tizimi bilan ishlaydigan kompyuterda amalga oshiriladigan matematik modeldir.

Kompyuter modeli – bu raqamli bo‘lmagan algoritmlar bilan ishlaydigan va kompyuterda amalga oshiriladigan matematik model.

Kritik yo‘l – tarmoq grafigidagi davomiyligi bo‘yicha eng uzun yo‘ldir.

Makroiqtisodiy modellar – iqtisodiyotning bir butun va uning eng muhim tarmoqlari rivojlanishini tavsiflovchi iqtisodiy-matematik

modellardir. Makroiqtisodiy ko'rsatkichlar makroiqtisodiy modelning o'zgaruvchilari sifatida ishlatiladi.

Makroiqtisodiy model – bu modellashtirilgan iqtisodiy tizimni tashkil etuvchi alohida iqtisodiy subyektlarni (korxonalarni, tarmoqlarni) tavsiflovchi o'zgaruvchilarga ajratmaydigan va umuman ushbu tizimga xos bo'lgan aloqalarni aks ettiradigan iqtisodiy-matematik modeldir.

Maqsad funksiya – o'rganilayotgan tizim samaradorligining tanlangan mezonini uning matematik modelida aks ettiruvchi matematik ifodadir.

Maqsad funksiyasining cheksizligi – bu matematik dasturlash masalasi o'zgaruvchilarining ruxsat etilgan qiymatlari to'plami maqsad funksiyasining ixtiyoriy ravishda katta qiymatini ta'minlaydigan qiymatlarni o'z ichiga olgan holatdir. Agar maqsad funksiyasi cheklanmagan bo'lsa, masalaning optimal yechimi yo'q.

Matematik dasturlash – (1) o'zgaruvchilarning berilgan qiymatlari to'plami bo'yicha ekstremumni topish masalalarini yechish usullarini o'rganadigan matematikaning bo'limi; (2) o'zgaruvchilarning ruxsat etilgan qiymatlari to'plamida ekstremumni topish masalasi ko'rinishida imitatsiya qilingan obyektlarning tuzilishi haqidagi bilimlarni ifodalash uchun foydalaniladigan bo'lim.

Matematik model – 1. bu o'rganilayotgan tizim uchun gomomorf bo'lgan va uning xususiyatlari va xatti-harakatlarini baholash uchun ishlatiladigan matematik bog'liqliklar to'plami; 2. modellashtirilayotgan obyekt, jarayon yoki hodisaning asosiy xususiyatlarini tasvirllovchi matematik qonuniyatlarni ifodalovchi obyekt, jarayon yoki hodisa modeli.

Matematik modellashtirish – real obyektlarning matematik modellari bo'yicha tajribalar o'tkazish orqali o'rganish usuli.

Matritsali model – moddiy ishlab chiqarishning turli darajalarida mahsulot ishlab chiqarish va taqsimlashni rejalashtirish va tahlil qilish uchun mo'ljallangan iqtisodiy-matematik model.

Mikroiqtisodiy model – korxona, birlashma, tashkilot tuzilishi va faoliyatini iqtisodiy tarmoqlar, mintaqalar va mamlakat makromodelida aks ettiruvchi model.

Modellashtirish – bu bilish obyektlarini ularning modellari bo'yicha o'rganish hisoblanadi. Modellashtirish real hayotdagi obyektlar, hodisalar va tuzilgan obyektlarning modellarini tuzish va

- nazorat va prognozlashni o'rganishni o'z ichiga oladi;
- o'z xususiyatlarini aniqlash yoki yaxshilash;
- ularni tuzish usullarini ratsionalizatsiya qilishdir.

Modelning adekvatligi – bu modelga qo'yiladigan talab bo'lib, u o'rganilayotgan obyektning xususiyatlarini, holatini va xatti-harakatlarini belgilangan maqsadlar uchun yetarli darajada aniqlik bilan takrorlash qobiliyatidan va uning holati va holatidagi juda keng doiradagi o'zgarishlardan iborat. Modelning adekvatligi uchun yetarli shart bo'lib, uning o'rganilayotgan obyektga gomomorfizmidir.

Model – bu o'rganish uchun ishlatiladigan real obyektning soddalashtirilgan nusxasi.

Mos kelmaydigan hodisalar – bir xil tajribada bir vaqtning o'zida paydo bo'lishi mumkin bo'lmagan hodisalar.

Mumkin bo'lmagan voqea – tajriba natijasida yuzaga kelishi mumkin bo'lmagan hodisa (ehtimolligi nolga teng).

Nazariy model – o'rganilayotgan obyektning tuzilishini umumiy ma'noda, parametrlarning o'ziga xos raqamli qiymatlarini ko'rsatmasdan tavsiflovchi matematik model.

Optimal reja – tenglamalar va tengsizliklar tizimi shaklida ko'rsatilgan talablarni hisobga olgan holda rejalashtirish obyekti faoliyati samaradorligining tanlangan mezonini aks ettiruvchi maksimal (minimal) maqsad funksiyasini ta'minlaydigan reja. Optimal reja, albatta, tasdiqlanishi va keyinchalik amalga oshirilishi kerak bo'lgan eng yaxshi reja emas, chunki u faqat matematik shaklda tavsiflanishi mumkin bo'lgan biznes sharoitlarini hisobga oladi. Ko'p

hollarda rejalashtirish jarayoni turli xil optimal rejalarda mavjud bo'lgan ma'lumotlardan foydalanishni talab qiladi.

Optimal rejalashtirish modeli – berilgan ishlab chiqarish natijasini ta'minlovchi reja tuzishga mo'ljallangan iqtisodiy-matematik model.

Optimal rejaning barqarorligi – bu chiziqli dasturlash masalasi shakliga ega bo'lgan matematik modellarning xususiyati bo'lib, u chegaraviy shartlarning erkin hadlari ma'lum chegaralar ichida o'zgarganda chegaraviy shartlarning ikkilangan baholarining o'zgar-masligidan va qiymatlarning o'zgar-masligidan iborat; maqsad funksiya parametrlari ma'lum chegaralarda o'zgarganda o'zgaruvchilar hisoblanadi.

Optimallashtirish modeli – bu matematik dasturlash masalasi ko'rinishidagi matematik model.

Optimallashtirish modeli – bu modellashtirilayotgan jarayonlar yoki vaziyatlardagi ba'zi o'zgaruvchilar maksimal yoki minimal-lashtirilganligiga asoslangan matematik model.

Simpleks usul – agar yechim mavjud bo'lsa, chekli sonli qadamlarda chiziqli dasturlash masalasining optimal yechimini analitik ravishda topishga imkon beruvchi ayniyat o'zgarishlari usulidir.

Statik holat – vaqtga bog'liq bo'lmagan holat.

Stoxastik holat – ehtimollik, tasodifiy omillarga bog'liq holat.

Tarmoqlararo balans – bir tarmoqda ishlab chiqarilgan mahsulot (qiymat jihatidan) bilan ushbu ishlab chiqarishni ta'minlash uchun zarur bo'lgan barcha ishtirok etuvchi tarmoqlar mahsulot-larining xarajatlari o'rtasidagi munosabatni tavsiflovchi chiziqli teng-lamalar tizimi ko'rinishidagi iqtisodiy-matematik balans modelidir.

Tizimli tahlil – o'rganilayotgan tizim strukturasini o'rnatishga qaratilgan ilmiy bilish usuli. Tizimli tahlil usuli matematik modellashtirish usulining zaruriy shartidir.

Tizimni tasvirlash shakli – bu ma'lum bir qator tadqiqotlar yoki amaliy muammolarni hal qilish uchun qo'llanilishi asosida ajralib

turadigan tizim haqidagi bilimlarning ramziy ko‘rinishlari sinfidir. Masalan, kibernetik tizimning shakli ushbu tizimni boshqarishda vositachilik qiluvchi axborot jarayonlarini o‘rganishga qaratilgan.

O‘zaro bog‘liqlik (matematik dasturlashda) – oldingi maqsad funksiyasining qiymati optimal yechimning invariantligi va Lagranj ko‘paytuvchilari shkalasigacha bo‘lgan invariantlikdan iborat qavariq (shu jumladan, chiziqli) dasturlash masalalarining xossasidir.

Vektorli dasturlash – (1) matematikaning vektorli dasturlash masalalarini yechish usullarini o‘rganuvchi bo‘limi; (2) vektor dasturlash masalasi ko‘rinishida modellashtirilayotgan obyektlarning tuzilishi haqidagi bilimlarni ifodalash uchun foydalaniladigan formalizm.

Vektorli dasturlash masalasi – o‘zgaruvchilarning ruxsat etilgan qiymatlari to‘plamida berilgan vektor funksiyasining Pareto optimalini topish masalasidir.

Zaxiralarni boshqarish modeli – bu resurslardan foydalanishning oqilona tuzilishini hisoblash imkonini beruvchi iqtisodiy-matematik model.

Zaxiralarni boshqarish modeli – resurslardan foydalanishning oqilona tuzilishini hisoblash imkonini beruvchi iqtisodiy-matematik modeldir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “Matematika ta’limi va fanlarini yanada rivojlantirishni davlat tomonidan qo‘llab-quvvatlash, shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasining

V.I. Romanovski nomidagi matematika instituti faoliyatini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi 2019-yil 9-iyuldagi PQ-4387-sonli Qarori. <https://lex.uz/docs/4409503>.

2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “Matematika sohasidagi ta’lim sifatini oshirish va ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” 2020-yil 7-maydagi PQ-4708-sonli Qarori. <https://lex.uz/docs/4807552>.

3. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyevning Oliy Majlisga Murojaatnomasi. <http://uza.uz/oz/politics/zbekiston-respublikasi-prezidenti-shavkat-mirziyoyevning-oliy-majlisga-murojaatnomasi-20-01-2021>.

4. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “2022-2026-yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning Taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida” gi 28.01.2022-yildagi PF-60-sonli Farmoni. <https://lex.uz/docs/5841063>.

5. Mirziyoyev Sh.M. Yangi O‘zbekiston strategiyasi. –T.: O‘zbekiston, 2021. – 205 b.

6. Ishnazarov A.I. Iqtisodiy-matematik usullar va modellar. Darslik. –T.: “Innovatsion rivojlanish nashriyot-matbaa uyi”, 2021, 216 b.

7. Гармаш А.Н. Экономико-математические методы и прикладные модели: учебник для бакалавриата и магистратуры. /под редакцией В.В. Федосеева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 328 с.

8. Смагин Б.И. Экономико-математические методы: учебник для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 272 с.

9. Королев А.В. Экономико-математические методы и моделирование: учебник и практикум для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 280 с.

10. Попов А.М. Экономико-математические методы и модели: учебник для вузов. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 345 с.

11. Фомин Г.П. Экономико-математические методы и модели в коммерческой деятельности: учебник для бакалавров. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2021, 462 с.

12. Косников С.Н. Математические методы в экономике: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 170 с.

13. Филатов А.Ю. Математическая экономика. Практикум: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 169 с.

14. Красс М.С. Математика в экономике: математические методы и модели: учебник для бакалавров. /отв. Ред. М.С. Красс. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 541 с.

15. Дубина И.Н. Основы математического моделирования социально-экономических процессов: учебник и практикум для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 349 с.

16. Вьюненко Л.Ф. Имитационное моделирование: учебник и практикум для вузов. /под редакцией Л.Ф. Вьюненко. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 283 с.

17. Боев В.Д. Имитационное моделирование систем: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 253 с.

18. Древс Ю.Г. Имитационное моделирование: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 142 с.

19. Акопов А.С. Имитационное моделирование: учебник и практикум для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 389 с.
20. Альсова О.К. Имитационное моделирование систем в среде ExtendSim: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 115 с.
21. Боев В.Д. Моделирование в среде AnyLogic: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2022, 298 с.
22. Зализняк В.Е. Введение в математическое моделирование: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2021, 133 с.
23. Королев А.В. Экономико-математические методы и моделирование: учебник и практикум для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2021, 280 с.
24. Косников С.Н. Математические методы в экономике: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2021, 170 с.
25. Палий И.А. Линейное программирование: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2021, 175 с.
26. Ishnazarov A.I., Nurullayeva Sh.T., Ro‘zmetova N.Sh. Iqtisodiy-matematik usullar va modellar. O‘quv qo‘llanma. –Т.: TDIU, 2019, 167 b
27. Попов А.М. Экономико-математические методы и модели: учебник для прикладного бакалавриата. – М.: Изд-во Юрайт, 2019, 345 с.
28. Макаров С.И. Экономико-математические методы и модели. Задачник: Учебно-практическое пособие. – М.: КноРус, 2019, 240 с.
29. Орлова И.В. Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование: Учебное пособие. – М.: Вузовский учебник, 2017, 344 с.

30. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в логистике: потоки событий и системы обслуживания. –М.: Academia, 2017, 248 с.

31. Шапкин А.С. Математические методы и модели исследования операций. –М.: Дашков и К., 2015, 320 с.

32. Clive L. Dym. Principles of Mathematical Modeling (Second Edition), California. Elsevier Academic Press, 2004, 297 pp.

33. Angel de la Fuente. Mathematical methods and models for economists. Cambridge university press, 2000, 829 pp.44.

34. Rangarajan K. Sundaram. A first Course in optimization theory. New York University press, 1996, 364 pp.

MUNDARIJA

Kirish.....	3
1.BOB. IQTISODIYOTDA MATEMATIK VA IMITATION	
USULLAR FANIGA KIRISH.....	6
1.1. Iqtisodiy-matematik va imitacion modellashtirishning mohiyati va zarurligi.....	6
1.2. Iqtisodiyotda matematik va imitacion usullar va modellar tasnifi.....	9
1.3. Fanning maqsadi, vazifalari va boshqa fanlar bilan aloqasi.....	13
2.BOB. IJTIMOIIY-IQTISODIY TIZIMLARNI O‘LCHASH	
USULLARI.....	17
2.1. Model va modellashtirish jarayonining ma’nosi.....	17
2.2. Modellar va modellashtirish usullari tasnifi.....	21
2.3. Imitacion model va imitacion modellashtirish mohiyati.....	27
2.4. Modellashtirish bosqichlari.....	30
3.BOB. IQTISODIYOTDA OPTIMAL DASTURLASH	
USULLARI.....	35
3.1. Iqtisodiyotda optimallashtirishga oid masalalar.....	35
3.2. Optimal dasturlash usuli mohiyati.....	39
3.3. Optimal dasturlash masalasini yechish algoritmi. Simpleks usuli.....	45
3.4. Optimal dasturlash usulining ikkilangan masalalari.....	50
3.5. Optimal dasturlash usuli masalalarini yechishda axborot texnologiyalaridan foydalanish.....	55
4.BOB. IKKI INDEKSLI IQTISODIY MASALALARNI YECHISH	
USULLARI.....	63
4.1. Iqtisodiyotda ikki indeksli masalalar tasnifi.....	63
4.2. Transport masalasining qo‘yilishi va iqtisodiy-matematik modeli.....	68
4.3. Ko‘p bosqichli transport masalasi.....	71
5.BOB. IQTISODIYOTDA BALANS USULLARIDAN	
FOYDALANISH.....	76
5.1. Tarmoqlararo balansning mazmuni.....	76
5.2. Tarmoqlararo balans kvadrantlarining xarakteristikalarini.....	78
5.3. Tarmoqlararo balansda matematik bog‘lanishlar.....	79
5.4. Tarmoqlararo balans asosiy sxemasining modifikatsiyalari.....	82

6.BOB. IQTISODIYOTDA DINAMIK DASTURLASH	
USULLARINI QO‘LLASH.....	88
6.1. Dinamik dasturlash to‘g‘risida tushuncha. Dinamik masalalarning xususiyatlari va tuzish shartlari.....	88
6.2. Dinamik dasturlash usuli yordamida yechiladigan iqtisodiy masalalar.....	90
6.3. Dinamik dasturlash masalasining qo‘yilishi.....	91
6.4. Dinamik modellarning vektorli va matritsaviy shakli.....	93
7.BOB. IQTISODIYOTDA O‘YINLAR NAZARIYASI	
USULLARI.....	96
7.1. Iqtisodiyotda o‘yinlar nazariyasi elementlari.....	96
7.2. Noaniqlik sharoitida shartlarni qabul qilish.....	98
7.3. Matritsali o‘yinlarni simpleks usulida yechish.....	100
8.BOB. IQTISODIYOTDA TARMOQLI USULLARDAN FOYDALANISH.....	104
8.1. Tarmoqli rejalashtirish va boshqarish modellari.....	104
8.2. Tarmoqli rejalashtirish masalasining algoritmi.....	106
8.3. Tarmoqli grafiklar parametrlarini hisoblash qoidalarini.....	107
8.4. Tarmoqli grafiklar parametrlarini hisoblashning analitik usuli.....	109
8.5. Tarmoqli modellarda “kritik yo‘l”.....	112
9.BOB. ISHLAB CHIQUV FUNKSIYALARI.....	116
9.1. Ishlab chiqarish funksiyasi to‘g‘risida tushunchalar.....	116
9.2. Ishlab chiqarish funksiyalari turlari va xususiyatlari.....	120
9.3. Kobb-Duglas ishlab chiqarish funksiyasi va uning xarakteristikalarini.....	127
10.BOB. IMITATION MODELLASHTIRISH USULI.....	133
10.1. Murakkab tizimlar va ularning xususiyatlari.....	133
10.2. Kompyuterli modellashtirish. Imitation modellashtirish usuli.....	137
10.3. Murakkab tizimlarning modellarini tuzish va tadqiq qilish.....	140
11.BOB. IMITATION MODELLASHTIRISH TEXNOLOGIYASI.....	147
11.1. Imitation modellashtirish usuli va uning xususiyatlari.....	147
11.2. Diskret va uzluksiz imitation modellar.....	150
11.3. Modellashtiruvchi algoritm. Imitation model va hisoblash eksperimenti.....	153

12.BOB. IMITATION MODEL XUSUSIYATLARINI SINASH VA TADQIQ QILISH.....	159
12.1. Imitation modelni testdan o'tkazishga bo'lgan kompleks yondashuv.....	159
12.2. Imitation model adekvatligini tekshirish.....	163
12.3. Imitation modelni verifikatsiyalash.....	167
12.4. Imitation model sezgirligini tahlil qilish.....	171
12.5. Imitation eksperimentni taktik rejalashtirish.....	174
13.BOB. IMITATION MODELDA YO'NALTIRILGAN HISOBLASH EKSPERIMENTLARINI TASHKIL ETISH VA O'TKAZISH TEXNOLOGIYASI.....	180
13.1. Imitation modelda yo'naltirilgan hisoblash eksperimenti va uning mazmuni.....	180
13.2. Imitation modellashtirishda hisoblash eksperimentlarining asosiy maqsadlari va turlari.....	183
13.3. Eksperimentlarni rejalashtirishning asosiy nazariyalari. Asosiy tushunchalar: strukturaviy, funksional va eksperimental modellar.....	187
14.BOB. IMITATION MODELLARNI TUZISHDA AXBOROT TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISH.....	196
14.1. Imitation modellashtirishda Mathcad dasturining imkoniyatlari.....	196
14.2. MathCAD tizimida sodda hisoblashlarni bajarish.....	209
14.3. MathCAD tizimida massivlar bilan ishlash.....	214
Glossariy.....	224
Foydalanigan adabiyotlar	232

R.X. ALIMOV, A.I. ISHNAZAROV, O.Q. RIXSIMBOYEV

IQTISODIYOTDA MATEMATIK VA IMITATION USULLAR

Toshkent – «INNOVATION RIVOJLANISH
NASHRIYOT-MATBAA UYI» – 2022

Muharrir:	N. Abdullayeva
Texnik muharrir:	M. Tursunov
Musavvir:	A. Shushunov
Musahhih:	L. Ibragimov
Kompyuterda sahifalovchi:	M. Zoyirova

E-mail: nashr2019@inbox.ru Tel: +99899920-90-35
№ 3226-275f-3128-7d30-5c28-4094-7907, 10.08.2020.

Bosishga ruxsat etildi 05.09.2022.

Bichimi 60x84 1/16. «Timez Uz» garniturası.

Ofset bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog'i: 15,5. Nashriyot bosma tabog'i 15,0.

Tiraji: 50. Buyurtma №

«INNOVATSION RIVOJLANISH NASHRIYOT-MATBAA UYI»
bosmaxonasida chop etildi.
100174, Toshkent sh, Olmazor tumani,
Universitet ko‘chasi, 7-uy.