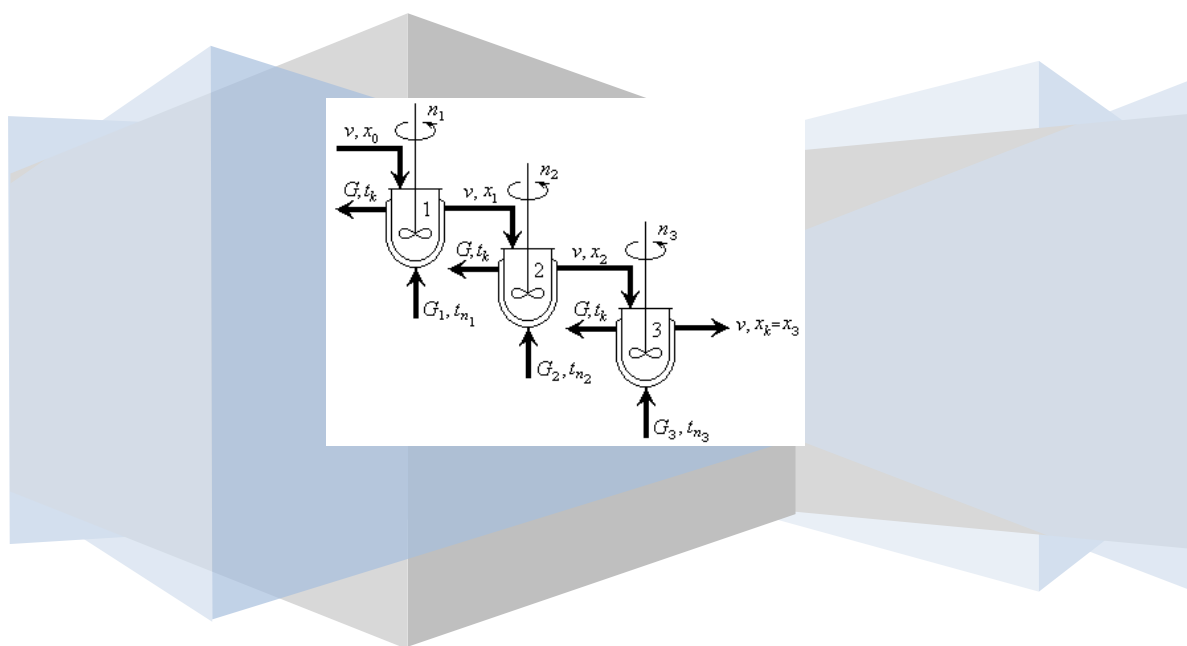


TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

M. Annamyradow, M. Kelowa

**HIMIÝA TEHNOLOGIÝASYNYDA
ELEKTRON HASAPLAÝJY MAŞYNLARYŇ
ULANYLYŞY**

Ýokary okuw mekdepleriniň «Organiki däl maddalaryň himiki tehnologiýasy», «Eremesi kyn metal däl we silikat materiallaryň himiki tehnologiýasy» we «Nebiti, gazy gaýtadan işlemegiň himiki tehnologiýasy» hünärleri üçin okuw kitaby



AŞGABAT – 2010

Annamyradow M.A., Kelowa M.G. Himiýa tehnologiýasynda elektron hasaplaýjy maşynlaryň ulanylyşy. Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby. – A.: 2010. – 206 sah.

Kitapda «Himiýa tehnologiýasynda elektron hasaplaýjy maşynlaryň ulanylyşy» dersiniň nazaryýet esaslary beýan edilýär. Hasaplaýjy tehnikanyň döwrebap serişdeleriniň himiki tehnologiýanyň dürli meselelerini çözmek üçin we önümçilik proseslerini dolandyrmakda giňden ulanylmagynyň, şeýle hem himiki kibernetikanyň, fiziki hem-de matematiki modelleşdirmegiň, himiki prosesleri optimallaşdyrmagyň meselelerine garalyp geçilýär.

Kitap ýokary okuw mekdepleriniň «Organiki däl maddalaryň himiki tehnologiýasy», «Eremesi kyn metal däl we silikat materiallaryň himiki tehnologiýasy» we «Nebiti, gazy gaýtadan işlemegiň himiki tehnologiýasy» hünärleriniň talyplary we mugallymlary üçin niýetlenen.

© Annamyradow M., Kelowa M.G., 2010

GIRIŞ

Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň ylym we bilim syýasatyny durmuşa geçirmekde we ýaş nesli ýokary bilimli, hünärli adamlar edip ýetişdirmekde ýokary okuw mekdepleriniň önünde uly wezipeler durýar. Sebäbi ýokary okuw mekdeplerinde dürli hünärlere degişli çuňňur bilimler berilýär.

Türkmenistanyň Prezidentiniň 2007-nji ýylyň aprel aýynyň 4-ündäki «Bilim-terbiýeçilik edaralarynyň işini kämilleşdirmek hakynda» Kararynda milli bilim ulgamyny özgertmek boýunça geçirilmeli anyk çäreler barada giňişleýin durlup geçilýär. Hormatly Prezidentimiziň aladalary netijesinde ýurdumyzyň bilim ulgamynda taryhy özgertmeler geçirilýär. Häzirki wagtda milli bilim ulgamyny mundan beýläk-de ösdürmek we dünýäniň ösen döwletleriniň derejesine çykarmak üçin ygtybarly binýat döredilýär. Bu aladalara gowy düşüňän ýaşlar öz bilimleri we başarnyk-lary bilen Türkmenistanyň ykdysadyýetini ýokarlandyryp, Garaşsyzlygyny we baky Bitaraplygyny has hem berkitmelidirler.

Garaşsyz, baky Bitarap Watanymyz häzirki wagtda Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň parasatly syýasaty we ýadawsyz tagallalary netijesinde ylym-bilim ulgamynda we beýleki ähli ugurlarda täze galkynyş döwrüni başdan geçirýär. Hormatly Prezidentimiziň Watanyň gülläp ösmeginiň hatyrasyna jan aýaman zähmet çekmäge, ýurduň maddy baýlyklaryny halkyň eşretine gulluk etdirmäge gönükdirilen parasatly we öňdengörüjilikli syýasaty netijesinde halk hojalygynyň ähli pudaklarynda ägurt uly üstünlikler gazanylýar. Bu babatda ýurdumyzyň ýerasty we ýerüsti tebig mineral baýlyklarynyň rejeli we netijeli peýdalanylyşynyň ösüşini görkezmek bolar. Sebäbi ýurdumyz mineral baýlyklaryň görnüşleri we gorlary boýunça dünýäde öňdäki orunlary eýeleýär.

Türkmenistanyň Prezidenti G.M. Berdimuhamedowyň il-gün üçin bähbitli tagallalarynyň içinde okuw okatma serişdeleriniň häzirkizaman görnüşlerini, ýagny interaktiw hem-de multimediyä okadyş usullaryny öňe sürdi. Hasaplaýjy tehnikanyň döwrebap serişdeleriniň himiki tehnologiýanyň dürli meselelerini çözmek üçin we önümçilik proseslerini dolandyrmakda giňden ulanylmagy islendik ugruň himik-tehnologyndan degişli bilimi we ýeterlikli inženerçilik derejesinde elektron hasaplaýjy maşynlary (EHM) ulanmagy we hasaplaýjy maşynlary ulanylmagyň maksada laýyklygyna baha bermegi başarmagy talap edýär.

§1. Dersiň maksady

1. Talyplary himiýa tilsimatynyň meselelerini çözmekde hasaplaýjy tehnikanyň serişdelerini ulanmak mümkinçilikleri: önümçilik prosesleriniň modelirlenişi, optimizirlenişi we dolandyrylyşy bilen tanyşdyrmakdan;

2. EHM-da çözmek üçin himiýa tilsimatynyň meselelerini dürs öz öňünde goýmagyň, EHM-da hasaplama algoritmleri amala aşyrmagyň we hasaplamalaryň fizika taýdan esaslanyrylan netijelerini almagyň endiklerini talyplaryň gursagyna guýmakdan;

3. Talyplara himiki prosesleriniň hasaplama barlaglaryny EHM-da geçirmegiň usulyýetini we bu hasaplama barlaglary himiýa önümçiliklerini taslamakda we optimizirmek meselelerini çözmek üçin ulanmagy öwretmekden ybaratdyr.

«Himiýa tehnologiýasynda EHM-yň ulanylyşy» dersinde meseleleriň giň hataryna — fiziki-himiki prosesleriň geçiş mehanizmini öwrenmek boýunça ylmy barlaglarda hasaplaýjy maşynlaryň ulanylyşyndan başlap, olaryň prosesleri we hereketdäki önümçilikleri dolandyrmakda ulanylmagyna çenli seredilýär. Bu ders okuw maksatnamasynyň beýleki inženerçilik-himiki dersleri bilen jebis baglanyşkly, ýöne beýlekilerden tapawutlykda, esasy üns EHM-yň ulanylmak mümkinçiligine gönükdirilýär. Şonuň üçin hem bu dersiň öwrenilmegi hünär beriş dersleri bilen diňe bir mazmuny boýunça däl-de, eýsem okadylýan göwrümi boýunça hem baglanyşdyrmak zerur, öwrenilýän materiallary bolsa talyplaryň okaýan hünärlerine ýakyn mysallarda görkezmek teklip edilýär.

Bu dersiň maksatnamasy EHM-yň haýsy-da bolsa, belli bir kesgitli elementar bazasynda ugrukdyrylýar. Okuw algoritmleriniň we programmalarynyň fondlary bilen alyş-çalyş mümkinçiliklerini üpjün etmek üçin goşmaça programmalaryň pakety bilen üpjün edilen we programmalary ýokary derejeli uniwersal algoritm dillerinde ýazmaga mümkinçilik berýän EHM-yň döwrebap görnüşlerini ulanmak zerur. Şol sebäpli bu dersde birinji ýyllyk talyplara geçilýän «Informatika we hasaplaýjy tehnika» dersiniň düzgünleri we usullary himiýa tehnologiýasynyň aýratyň meselelerinde ulanmak üçin logika taýdan zygider ösdürilýär.

§2. Himiýa tehnologiýasynda elektron hasaplaýjy maşynlaryň ähmiýeti

Hasaplaýjy tehnikasynyň ösmegi adamzadyň durmuşynda elektron-hasaplaýjy maşynlaryň (EHM-laryň) giňden ulanylmagyna getirdi.

Häzirki döwürde halk hojalygynyň EHM-laryň ulanylmaýan pudagyny tapýmak juda çetindir. Himiýanyň we himiki tehnologiýanyň ähli bölümlerinde hem EHM-lar giňden ulanylýar. Häzirki zaman EHM-lary (kompýuterleri) ummasyz uly maglumaty (informasiýany) gysga wagtyň içinde çalt işläp bilýändigini, iň çylşyrymly hasaplamalary ýerine ýetirýändigini üçin EHM-lary himiýada hem-de himiki tehnologiýada uly göwrümlü maglumatlary işläp düzmekde we prosesleri dolandyrmakda ulanylýar.

Himiýada we himiki tehnologiýada EHM-lar, esasan, aşakdaky ugurlarda ulanylyp bilnar:

1. Maglumatlaryň (informasiýanyň) uly massiwini işlemek;
2. Tejribeler arkaly alnan eksperimental maglumatlary işlemek;
3. Matematiki modelleşdirmek;
4. Oňalyly optimal taslamak;
5. Dolandyryş;
6. YBUA (ylmy barlaglaryň ulgamyny awtomatlaşdyrmak);
7. Keşpleri (obrazlary) bilmek (organiki we organiki däl maddalaryň sintezi);
8. San (sifr) däl maglumatlary işlemek.

Meseleleriň dürli ugurlara degişlidigine, mazmunlarynyň ýeterlik derejede tapawutlarynyň bardygyna garamazdan, olary EHM-larda çözmäge taýýarlyk prosesinde kesgitli etaplary (başgaçaklary) ýerine ýetirmeli: meselem, meseläniň matematiki deňlemesini düzmeli; hasaplaýyş usulyňy-metodyňy saýlap-seçmeli; algoritmini düzmeli; programmasyny düzmeli we ş.m. Bu başgaçaklarda ýüze çykýan aýratyn soraglaryň üstünlikli çözülmegi köplenç tiz wagtda garaşylýan netijileri almaklyga alyp barýar.

Ýokarda agzalyp geçilen her bir ugur barada durup geçeliň:

Maglumatlaryň uly massiwini işlemek. Häzirki wagtda ylmy barlaglar geçirilende maglumatlaryň (informasiýanyň) uly massiwi bilen iş salşylýar. Meselem, häzirki döwürde 4,5 milliondan aşýan organiki birleşmeler we 3,5 milliondan gowrak bolsa organiki däl maddalaryň bardygy mälim. Mundan başga-da, häzirki wagtda ylmy maglumatlaryň möçberi ummasyz derejede giňedi. Elbetde, bu ýagdaýda zerur gerek maglumaty gözläp tapmaklyk aýratyn meselä (problema) öwrülýär.

Himiki tehnologiýada möçberi uly maglumatlary işlemek bilen baglanyşykly meselelere öndürilýän önümleri hasaba almak, çig mal üpjünçiligini we öndürilýän önümleriň ýerleşdirilmegini meýilleşdirmek degişlidir.

Tejribe arkaly alnan eksperimental maglumatlary işlemek. Eksperimental maglumatlary işlemekde ýüze çykýan meseleleri, umuman, iki topara bölse bolar:

- 1) Öwrenilýän hadysanyňýa-da prosesiň fiziki-himiki mazmunyny hasaba alýan nazary (teoretiki) pikir ýöretmeler netijesinde gurulýan kanunalaýyklyklaryň näbelli parametrlerini tapmak;
- 2) Passiw ýa-da aktiw eksperimentiň netijelerini işlemek arkaly gurulýan baglanyşyklaryň näbelli koeffisiýentlerini tapmak.

Matematiki modelleşdirmek. Matematiki modelleşdirmek usuly (metody) obýektde bolup geçýän kesgitli bir kanunlara tabyn bolýan real (hakykatda bolup geçýän) proseslerdir hadysalary matematiki gatnaşyklar arkaly teswirläp bolýandygyna esaslanýar. Bu hadysalar matematikanyň üsti bilen öwrenilende prosesleri teswirleýän deňlemeleri ulgama (sistema) birikdirip, üstünde barlag geçirilýän obýektiň matematiki modeli alynýar.

Islendik prosesini matematiki modeli EHM-da amala aşyrylýar. Şonuň üçin hem köp halatlarda matematiki modelleşdirmek gymmat düşýän we çylşyrymly ylmy barlaglaryň göwrümini kiçeldýär hem-de EHM-da geçirilýän barlaglar bilen onuň üsti ýetirilýär (doldurylýar).

Matematiki modelleşdirmek näbelli ýagdaýlarda obýektleriň özlerini alyp baryşlaryny öňünden kesgitlemäge, şeýle hem taslanýan prosesleriň köp sanly hem-de dürli häsiýetlerini öwrenmäge mümkinçilik döredýär.

Matematiki modelleşdirmek proseslerdir hadysalaryň oňaýly (optimal) şertlerini tapmaga mümkinçilik berýär hem-de bu prosesleri EHM arkaly dolandyrmakda ulanylýar.

Optimal oňaýly taslamany düzmek. Köplenç täze prosesler döredilende, umumy maksada tabyn bolýan, ýagny ýeterlik derejede ygtybarly we ykdysady tarapdan düşewüntli (girdejili) önümçilik döretmek meselelerini çözmeli bolýar.

Häzirki zaman himiki-tehnologiki prosesleri optimal derejede taslamak (proýektirmek), bu prosesleriň haýsy-da bolsa bir esasy görkezijisiniň iň uly ýa-da iň kiçi baha eýe bolar ýaly apparaturalaryň (abzallaryň hem-de enjamlaryň) guruluşyny tapmaklyk talap edilýär.

Optimal taslamak juda çylşyrymly hasaplamalaryň ýerine ýetirilmegini talap edýär. Şeýle hasaplamalary diňe güýçli EHM-da amala aşyrmak başardýar.

Dolandyryş. Himiki-tehnologiki prosesleri dolandyrmak optimal taslama meseleleri bilen üznüksiz baglanyşykda bolup durýar. Mundan başga-da, täze himiki-tehnologiki prosesler taslananda tapylýan oňaýly optimal şertleri durmuşa geçirmek hem EHM-da amala aşyrylýar. Häzirki zaman çylşyrymly himiki-tehnologiki prosesleri EHM-syz dolandyrmaklygy göz önüne hem getirmek mümkin däl.

YBAU (ylmy barlaglaryň awtomatlaşdyrylan ulgamy). Himiki prosesleriň mikro- hem-de makrokinetikasyňy öwrenmek ylmy barlaglaryň awtomatlaşdyrylan ulgamyny ulanmak bilen bilelikde geçirilende himiki prosesleriň analizi kibernetiki usullar arkaly amala aşyrylýar we tejribe (eksperiment) geçirmeginiň usullary (metodlary) düýbünden üýtgedilýär. Öň eksperimentator (tejribe-barlag geçirýän) maglumatlary eli bilen dolandyryp alyp, soňra olary gaýtadan işleýän bolsa, YBAU eksperimental tejribe desgasynda alnyp barylýan ylmy barlaglara dialog (sorag-jogap) arkaly EHM-da gözegçilik etmäge hem-de gaýtadan işlemäge mümkinçilik berýär. Şeýlelikde, onlarça gezek ylmy barlaglary geçirmek üçin az wagt sarp edilýär we onuň hili ýokarlanýar.

Ylmy barlaglaryň awtomatlaşdyrylan ulgamyna (sistemasyna), sözüň giň manysynda, aşakdaky elementlerden duran ulgam diýlip düşünilýär: eksperimental tejribe enjamlary, ölçeyiş desgalary, eksperimentiň geçiriliş usulyýeti we meýilnamasy, alnan netijeleri işleme we teswirleme serişdeleri.

YBAU tehniki taýdan amala aşyrylanda, ol barlag geçirilýän desgadan, ölçeg tehnikasyndan, alnan maglumatlary gaýtadan işleýän we teswirleýän EHM-yndan ybarat bolup durýar.

Keşpleri (obrazlary) **bilmeklik** (organiki we organiki däl maddalaryň sintezi). Soňky döwürler EHM-lar organiki däl maddalaryň we organiki birleşmeleriň sintezinde giňden ulanylyp başlandy.

Organiki sintez diýseň çylşyrymly sintez bolup, köp başgançakly (stadiýaly) bolýar. Himik-sintetikler, esasan, «barlap görmek we ýalňyşlary düzetmek» usulyny ulanyp organiki birleşmeleriň sintezini geçirýärler. Emma bu usul (metod) köp harajatlary, çykdaýlary köp wagt sarp edilmegini talap edilýänligi sebäpli gowy netije almak mümkinçiligi juda pes.

Diňe EHM-yň ummasyz ýadynyň-husunyň barlygy hem-de hasaplaýyş tizliginiň ýokary bolmagy haýsy hem bolsa bir birleşmäniň sinteziniň dürli we köp sanly wariantlarynyň içinden has oňaly optimal wariantyny saýlap-seçip almaga mümkinçilik döredýär.

Organiki maddalaryň sintezini EHM-da meýilleşdirmek üçin ýärite programmalary (maksatnamalary) döretmek zerurlugu ör-boýuna galýar.

San däl maglumatlary işlemek. Tejribe geçirmek arkaly alnan maglumatlary sanly we sanly däl usullaryň üsti bilen işlemekligi tapawutlandyrmak juda çetin. Maglumatlar sanly usullar arkaly işlenilende esasy üns hasaplamalara gönükdirilýär. Sanly däl usullara — tertipleşdirmek, gözleg, gaýtadan teswirlemek, öçürmek, hasaba almak, göçürmek, şekillendirmek we ş.m. operasiýalar degişlidir. Sanly däl usullara mysal hökmünde uçar peteklerini ätiýaçlykda saklamagy, uly kitaphanalarda abonementleri awtomatlaşdyrylan tertipde hasaba almaklygy, kriminalistikada (jenaýat agtaryşda) jenaýatçynyň şahsyýetini anyklap, tapmagy we hasaba almagy, himiýada reaksiýalaryň (täsirleşmeleriň) kinetiki mehanizmleriniň differensial deňlemelerini düzmekligi we ş.m.-leri getirse bolar.

I. HIMIÝADA WE HIMIKI TEHNOLOGIÝADA ELEKTRON-HASAPLAÝJY MAŞYNLARYŇ ULANYLYÄN UGURLARY

§1.1. Himiki kibernetika

Islendik bilim pudagyny ylym hökmünde kesgitlemek üçin zerur hem-de ýeterlik şertleri: barlag predmetiniň, barlag usulynyň hem-de şol usuly amala aşyrmak üçin gerek bolan serişdeleriň bolmagydyr.

Ylym hökmünde kibernetika üçin barlag predmeti bolup — islendik tebigaty bolan ulgamlar we olaryň dolandyrylyp bilnişi, barlag usuly hökmünde — matematiki modelleşdirme, barlag strategiýasy bolup — ulgamlaryň derňew (sistemalaryň analiz), barlag serişdesi hökmünde bolsa, — hasaplaýjy maşynlar hyzmat edýär. Şonuň üçin hem kibernetikany tebigaty islendik görnüşde bolan, optimal (amatly, oňaly) dolandyrmak maksady bilen maglumatlary (informasiýalary) kabul etmäge, saklamaga we gaýtadan işlemäge ukyply ulgamlary öwrenýän ylym hökmünde kesgitlese bolar. Himiki kibernetikanyň umumy ylmy-usulyýet ugry — dolandyrmak maksady bilen himiki-tehnologiki prosesler hem-de ulgamlar barada maglumatlary (informasiýalary) almakdyr we gaýtadan işlemekdir.

Şeýlelikde, kibernetika ulgamlar, maglumat (informasiýa), informasiýany saklamak we gaýtadan işlemek, ulgamlary dolandyrmak we olary optimizasiýalaşdyrmak ýaly düşüňjeleri öz içine alýar. Şunlukda kibernetika matematiki modelleşdirmekden giňden peýdalanýar we öwrenilýän ulgamlary analiz etmäge hem-de sintez edip almaga, olaryň özlerini optimal ýagdaýda alyp baryşlaryny öňünden aýtmaga (prognozirlemäge) we dolandyryş kanallaryny hem-de algoritmlerini anyklap, ýüze çykarmaga mümkinçilik berýän anyk netijeleri almaga ymytylýar.

Kibernetikanyň usullaryndan islendik ulgamda peýdalansa bolýar, şonuň üçin hem olar himiýada we himiki-tehnologiýada ulanylyp hem-de kibernetikanyň tehniki serişdeleri bolan hasaplaýjy maşynlaryň kömegi bilen amala aşyrylyp bilner. Şunlukda kibernetikanyň usullary himiki-tehnologiki prosesleriň geçişiniň täze kanunalaýyklyklaryny açmaga hem-de olary optimizasiýalaşdyrmagyň we dolandyrmagyň ýollaryny bellemäge mümkinçilik berýär. Himiki-tehnologiki prosesleriň kibernetikasy himiki tehnologiýany matematiki usullar we analiziň tärleri baýlaşdyryp, himiki-tehnologiýanyň özbaşdak ylmy bölümi hökmünde döredi. Şonuň netijesinde himiki tehnologiýanyň hakykatdan-da düýpli teoretiki (nazary) binýady tutuldy.

Kibernetikanyň usullary diňe bir optimal ýagdaýda funksionirleýän prosesi ýa-da ulgamy döretmäge mümkinçilik bermän, eýsem optimal režimi-kadany saýlap-seçip almagyň we ulanmagyň, şeýle hem prosesi ýa-da ulgamy optimal dolandyrmagyň ýollaryny hem görkezýär.

Ulgamlar (sistemalar) we prosesler. «Ulgam» düşüňjesi öwrenilýän obýektleriň düýp esasyna, manysyna çuň aralaşmagy hem-de giň

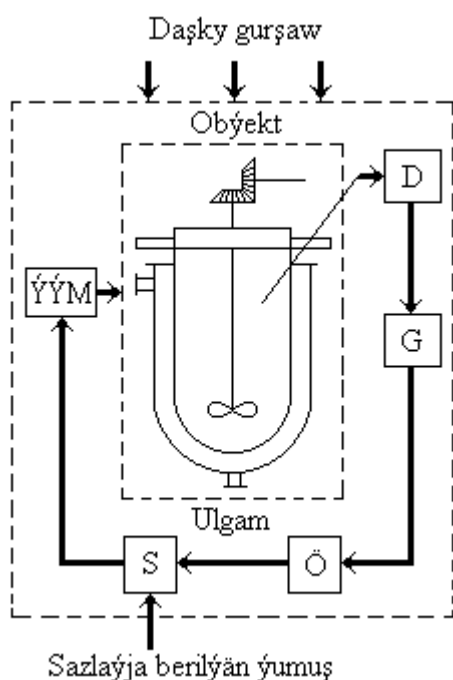
umumylaşdyrmalary we mukdar taýdan kanunalaýyklyklary almagy üpjün edýän matematiki formalizasiýany amala aşyrmaga mümkinçilik berýär.

Islendik ulgam özara baglanyşan we öz aralarynda hem-de daşky gurşaw bilen özara täsirleşýän böleklerden we kesgitli bir manyda aýdylanda ýapyk bitewilikden ybaratdyr (ýogsa oňa ulgam diýip bolmazdy).

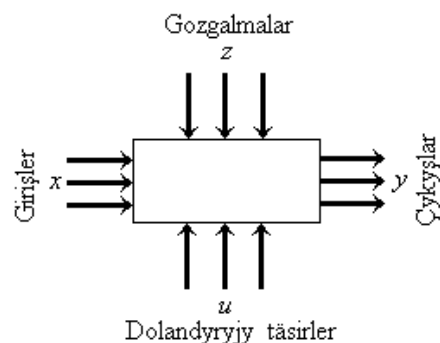
Himiki ulgam diýlip, ulgamda bolup geçýän fiziki-himiki prosesleriň jemine, hem-de olary amala aşyrmagyň serişdelerine düşünilýär. Şeýlelikde, himiki ulgam: himiki prosesiniň özüni, içinde şol proses geçýän apparaty, proseslere gözegçilik etmek hem-de olary dolandyrmak üçin serişdeleri we olaryň arasyndaky aragatnaşyklary öz içine alýar.

Ulgam daşky gurşaw bilen özara täsirleşýär we öz x girişleriniň we y çykyşlarynyň üsti bilen oňa mukdar taýdan baha berlip bilner (1-nji surat). Girişler hökmünde gaýtadan işlenilýän çig mal, onuň mukdary, düzümi, temperaturasy we ş.m.; çykyşlar bolsa — taýýar önümiň mukdary, onuň hili, temperaturasy we ş.m. bolup bilerler. Adaty ulgam z gozgalmalara sezewar bolýar, olary kompensirlemek (olaryň edýän täsirlerini aýyrmak ýa-da öwezini dolmak), ýagny ulgamyň berlen ugurda işlemegi üçin bolsa, şonuň ýaly mukdar taýdan aňladylýan u dolandyryjy täsirlere ulanylýar.

Ulgamyň mysaly hökmünde dolandyryp bolýan obýektde (meselem, reaktorda) geçýän sazlanýlyp bolunýan (regulirlenýän) islendik himiki proses hyzmat edip biler (2-nji surat). Prosesiň geçişi D datçik tarapyndan registrirlenýär (hasaba alynýar); ondan gelýän signallar ýörite goýlan G güýçlendiriji arkaly güýçlendirilýär we ondan aňryk $Ö$ signallary (meselem, elektriki signallary mehaniki signallara) özgerdijä berilýär. Özgerdilen signallar S sazlaýjynyň (regulýatoryň) gurnaýjysyna täsir edýärler. Regulýator öz gezeginde signallary ýerine ýetiriji $ÝÝM$ mehanizme (meselem, çig malyň ýa-da ýylylyk görerijiniň girizilýän liniýasyndaky klapana) öz signallaryny berýär. Soňky edilen täsire laýyklykda reagentleriň ýa-da ýylylyk görerijiniň harçlanylyşy azalýar ýa-da köpeliýär.



2-nji surat. Ulgam hökmünde sazlanýlýan himiki proses



1-nji surat. Ulgamyň iň ýönekeý strukturasy

Şeýlelikde ulgam — munuň özi ýeterlik derejede çylşyrymly kiçi ulgamlara, ýa-da elementlere bölüp bolýan (dekompozisiýaa edip bolýan) obýektidir. Bu elementler maglumat (informasiýa) taýdan biri-birleri we daşky gurşaw bilen baglanyşyklydyrlar. Baglanyşyklaryň jemi

ulgamyň strukturasyny emele getirýär. Ulgamyň kesgitli maksada ýetmeklige gönükdirilen funksionirleme algoritmi bardyr.

§1.2. «Gara gapyrjak» prinsipi

Çylşyrymly prosesler analizlenende, haçanda ulgamyň içki arabaglanyşyklaryny anyklama mümkinçiligiň bolmadyk halatlarynda, kibernetikada «Gara gapyrjak» prinsipi giňden ulanylýar. Bu prinsip prosesiniň tebigaty we içki gurluş-strukturasyny maglumatlar bolmadyk ýagdaýynda, onuň matematiki teswirlenmesi üçin çykyş ululyklarynyň giriş ululyklaryny ulanmaklykdan ybaratdyr. «Gara gapyrjak» prinsipi kibernetikanyň esasy düşüňjelerine degişlidir: ol ulgamlaryň özlärini alyp baryşlaryny, ýagny olaryň içki gurluş-strukturalaryndan abstragirlenip*, olaryň dürli daşky täsirlere bolan reaksiýasyny (olara bolan jogaplary — täsirleriň netijesindeki üýtgemelerini) öwrenmäge ýardam berýär. Ulgamlaryň köpüsi, aýratyn hem uly ulgamlar, şeýle bir çylşyrymly bolýar welin, hatda olaryň elementleri barada doly maglumatlar bolsa-da, iş ýüzünde şol maglumatlary tutuşlygyna alnan ulgam bilen baglanyşdyrmak mümkin däl. Şeýle ýagdaýda ulgamy analogiki meňzeşlikde funksionirleýän käbir «gara gapyrjak» görnüşinde almak ýönekeýleşdirilen modeli gurmagy ýeňilleşdirýär. Modeliň özüni alyp barşyny analizläp we ony ulgamyň özüni alyp barşy bilen deňeşdirip, ulgamyň özüniň käbir häsiýetleri barada netijä gelse bolýar; olaryň modeliň häsiýetleri bilen gabat gelmegi, öwrenilýän ulgamyň göz önüne getirilýän gurluşy barada işçi çaklamany (gipotezany) saýlap almaklyga mümkinçilik döredýär.

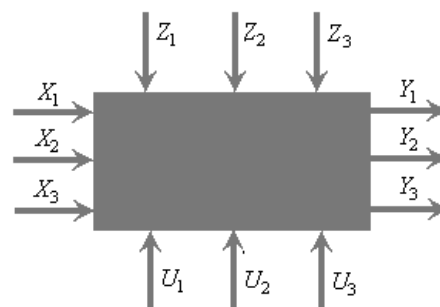
«Gara gapyrjak» prinsipi bir ulgamy oňa analogiki meňzeşlikde funksionirleýän beýleki bir ulgam bilen çalşylanda örän peýdaly bolup durýar. Meselem, toksiki (zäherli) önümçilikler awtomatlaşdyrylanda, apparatçynyň ýerine şol bir funksiýalary ýerine ýetirmäge ukyply awtomatiki gurluş (abzal, enjam) ulanylýar.

Eger-de öwrenilýän ulgamyň ähli çykyş parametrlerini Y bilen belgilense, onda modelirleme prosesi giriş maglumatlaryny çykyş maglumatlaryna gaýtadan işlemeklige hem-de ulgamyň giriş we çykyş parametrleriniň arasyndaky matematiki baglylygynyň görnüşini anyklamaklyga syrykdyrylýar (3-nji surat):

$$Y = \Phi(X, Z, U), \quad (1.1)$$

bu ýerde Z – gozgaýjy täsirler; U – dolandyryjy täsirler.

Maglumat nazaryýetiniň we ulgamlaryň analiziň nukdaýnazaryndan matematiki modeli, ýa-da (1.1) funksiýanyň görnüşini üýtgeýän giriş $\{Z, U\}$ ululyklaryň funksional giňişligini we ulgamyň



3-njy surat. «Gara gapyrjak»

*) içki gurluş-strukturalary abstraksiýa görnüşinde alyp,

özünüň ýagdaýlarynyň üýtgeýän $\{X\}$ ululyklarynyň giňişligini üýtgeýän $\{Y\}$ çykyş ululyklarynyň bahalarynyň giňişligine şekillendirýän funksional Φ operator hökmünde teswirlese bolar.

Anyk görnüşde Φ operator zerur başlangyç we araçäk şertler bilen üsti ýetirilen differensial, integral, integrodifferensial deňlemeleriň empiriki tebigaty bolan gatnaşyklaryň ýapyk ulgamydyr. Bu funksional operatoryň sintezi diýlip matematiki modeliň gurulmagyna düşünilýär.

§1.3. Ulgamlaýyn analiz

Ulgamlaýyn analiz — munuň özi çylşyrymly ulgamlary öwrenmegiň strategiýasydyr, hususanda, şeýle ulgamlara himiki tehnologiýanyň hem-de himiýa önümçiliginiň prosesleri degişlidir. Onda barlag usuly hökmünde matematiki modelleşdirme ulanylýar. Onuň esasy prinsipi çylşyrymly ulgamlaryň has ýönekeý kiçi ulgamlara dekompozisiýasy (ulgamyň iýerarhiýa prinsipi) bolup durýar. Şeýle ýagdaýda ulgamyň matematiki modeli bloklaýyn prinsip boýunça gurulýar: umumy model deňeşdirilende ýönekeýräk matematiki teswirnama berip bolaýjak bloklara bölünýär. Şunlukda, ähli kiçi ulgamlaryň umumy bitewi matematiki modeli emele getirip, özara täsirleşýändikleri göz önünde tutulmalydyr.

Ulgamlaýyn analiziň strategiýasynyň esasyňy aşakdaky umumy düzgünler tutýar:

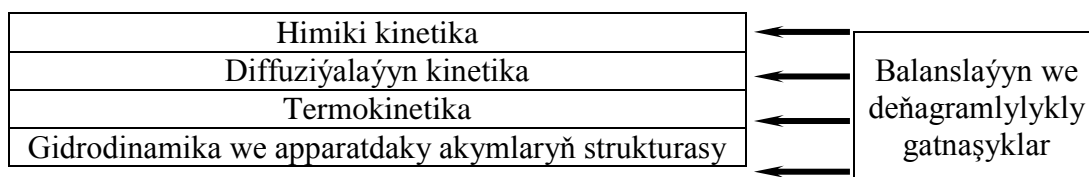
- 1) barlagyň maksadynyň anyk kesgitlenilmegi;
- 2) bu maksady amala aşyrmak boýunça meseleleriň öňde goýulmagy we meseläniň çözülişiniň netijeliliginiň kriteriýasynyň kesgitlenilmegi;
- 3) meseläniň çözülişiniň esasy tapgyrlaryny (etaplaryny) hem-de ugurlaryny görkezmek bilen bilelikde, giňden beýan edilen meýilnamanyň işlenilip düzülmegi;
- 4) özara baglanyşan tapgyrlaryň (etaplaryň) hem-de bolup biläýjek ugurlaryň ähli kompleksleri boýunça proporsional-zygider öňe gidilmeli;
- 5) aýratyn tapgyrlarda (etaplarda) barlaglaryň zygider golaýlaşmalaryň we gaýtadanlaýyn sikleriň gurnalmagy;
- 6) düzümläýin hususy meseleleri çözmekdäki analiziň aşak düşýän iýerarhiýasy hem-de sinteziň ýokary galýan iýerarhiýasy prinsipleri we ş.m.

Zerur strategiýany saýlap-seçip almaga ýa-da bir ýa-da birnäçe maksadalaýyk hasap edilýän strategiýalaryň netijelerini önünden aýtmaga karara gelýänlere kömek etmek maksady bilen ulgamlaýyn analiz obýekt baradaky maglumatlary gurnaýar. Himiki-tehnologiki ulgamlary modelleşdirmegiň, optimizasiýalaşdyrmagyň, dolandyrmagyň we optimal taslamagyň meseleleri ulgamlaýyn analiziň nukdaý nazaryndan çözülýär.

Ulgamlaýyn analiziň dürli meseleleri çözmekde aýratyn goşandy — onuň soňunda örän düýpli täsir edip biljek faktorlary we arabaglanyşyklary ýüze çykarmaga, bu faktorlar göz önünde tutular ýaly, gözegçiligiň usulyýetini hem-de eksperimenti gurnamaga mümkinçilik bermeginden, gipotezalaryň (çaklamalaryň) we güman etmeleriň gowşak ýerlerini görkezmeginden ybaratdyr. Ylmy çemeleşme hökünde ulgamlaýyn analiz özüniň dürli iýerarhiýa derejelerine

laýyklykda hadysalara yzygider garap geçmegi hem-de gipotezalary (çaklamalary) eksperimentleriň hem-de saýlap-seçilip alnan takyk proseduralaryň kömegi bilen barlamagy bilen bilelikde fiziki dünýäni öwrenmek üçin kuwwatly instrumentleri döredýär we bu instrumentleri çylşyrymly hadysalaryň çäýe, ýöne, şol bir wagtda, takyk barlagynyň ulgamyna birikdirýär.

Ulgamlaýyn analiziň strategiýasynyň çylşyrymly prosesleri hasaplamak üçin ulanylmagy bloklaýyn prinsipden peýdalanmaklyga mümkinçilik berýär. Mysal üçin, reaktorda geçýän himiki prosese garalyp geçilende, baş blogy ýüze çykarsa bolar (4-nji surat). Ilki başda prosesiň gidrodinamikasy hem-de akymalaryň strukturasy barlanylýar, ondan soňra ýylylyk we madda geçirmegiň täsiri we, ahyrynda, himiki kinetikasy öwrenilýär hem-de maddy (material) we ýylylyk balansy düzülýär.



4-nji surat. Himiki prosesiň iýerarhiýasynyň bloklaýyn prinsipi

Ulgamlaýyn analiz prosesleriň geçişiniň kinetikasynyň mikroderejede (prosesiň mikrokinetikasy) we makroderejede (prosesiň makrokinetikasy) seredilip geçilmeginiň ylmy esasy bolup durýar.

Mikrokinetiki faktorlara fiziki we himiki hadysalaryň molekulýar (atomar) derejede hem-de apparatyň lokal göwrümünde geçiş tizligini kesgitleýän fiziki-himiki efektleriň jemi degişlidir. Prosesiň makrokinetikasy fiziki-himiki ulgamyň tutuş apparatyň masşabyndaky özüni alyp barşyny, bolşuny öwrenýär. Şunlukda, mikroderejäniň efektleriň üsti strukturasy senagat apparatynyň konstruktiv aýratynlyklary, oňa daşky energiýanyň eltilişi, garyşdyryjy abzallaryň görnüşi we ş.m.-ler bilen kesgitlenýän, uly masşablaýyn häsiýetli gidrodinamiki, ýylyklaýyn we diffuziýalaýyn hadysalar bilen ýetirilýär.

5-nji surat. Fiziki-himiki ulgamyň (reaktoryň) elementleriniň özara täsir effektleriniň iýerarhiki strukturasy

Özara täsir ediş derejesi	
Makrokinetika	Apparatyň göwrümi
	Globullaryň, goşundylaryň jemi
Mikrokinetika	Aýratyn globullar, goşundylar
	Makromolekulalar, üstmolekulýar strukturalar
	Atomlar, molekulalar

Adatça mikro- hem-de makroderejelerde bolup geçýän hadysalaryň arasynda aýdyň, mese-mälim görnüp duran araçägi geçirmek örän çetin. Şunuň bilen baglylykda, garalyp geçilmeklige mikro- we makroderejeleriň hadysalaryny bir bitewi fiziki-himiki ulgama baglanyşdyrýan efektleriň aralyk derejeleriniň girizilmeginiň zerurlygy ýüze çykýar. Mikro- we makroderejeleriň hadysalarynyň arasynda köpri geçirmek synanyşygy fiziki-himiki ulgamyň özara täsir effektleriniň çylşyrymly baş basgançakly iýerarhiki strukturasy alyp barýar (5-nji surat).

Himiki tehnologiýada kibernetikanyň usullarynyň ulanylmagy önümçilik prosesi ulgam hökmünde barlananda we gurnalanda, haçanda ähli tejribe desgalaryndaky tejribehana (laboratoriýa) barlaglaryndan başlap, tä himiki-tehnologiki ulgamlaryň sintezine çenli, alnan maglumatlar yzygider toplananda, baýlaşdyrylanda hemde EHM-lar üçin algoritmler görnüşinde amala aşyrylanda, ulgamlaýyn analiziň dürmuşa geçirmekligiň mümkinçiliklerini açýar. Iň soňky tapgyrynda, ähli himiki-tehnologiki ulgam modelleşdirilenden soň, umumylaşdyrylan we ulgamlaşdyrylan (sistemalaşdyrylan) maglumat (informasiýa) ony awtomatlaşdyrylan taslamada ulanmak üçin çykarylyp berilýär.

Şeýlelikde, ulgamlaýyn analiz laboratorýalaýyn işlemleriň senagatda amala aşyrylmagynyň möhletini çürt-kesik gysgaltmagyň ylmy esasy bolup durýar.

II. HIMIKI-TEHNOLOGIKI PROSESLERI WE ULGAMLARY FIZIKI WE MATEMATIKI MODELLEŞDIRME USULLARY ARKALY BARLAMAK

§2.1. Matematiki modeller we himiki-tehnologiki prosesleriň matematiki modelleşdirilişi

§2.1.1. Obýekte bolan determenistiki hem-de stohastiki çemeleşmeler

Himiki-tehnologiki prosesleriň matematiki modellerini gurmagyň usullaryna hem-de şol modelleriň käbir ulanylyş ýollaryna garap geçeliň.

Himiki tehnologiýanyň prosesleri öz aýratynlyklary hem-de çylşyrymlylyk derejesi boýunça juda köpdürlidirler. Şonuň üçin hem olaryň analizine hem-de olary dolandyrmaklyga bolan çemeleşmeler hem dürli-dürli bolýar.

Çemeleşmäniň, esasan, iki görnüşine garap geçeris: bu iki ýol hem ylmyň we amalyýetiň (praktikanyň) ähli ugurlarynda giňden ulanylýar. Olaryň tapawudy ylmy usulyýetde örän wajyp orun tutýar.

Birinji çemeleşme prosesiň mehanizmini öwrenmekdäki ylmy barlaglara esaslanýar. Şeýle barlagyň netijesinde prosesiň soňraky analiziniň hem-de ony dolandyrmagyň esasy bolup hyzmat edýän nazaryýet (teoriýa) döredilýär. Muňa — determinirleşdirilen çemeleşme, onuň esasynda alnan modellere bolsa, — determinirleşdirilen modeller diýilýär (*determinare* diýen latyn sözi kesgitlemek diýmegi aňladýar).

Ýöne başgaça çemeleşse-de bolýar. Eger-de proses örän çylşyrymly bolup, onuň mehanizmini jikme-jik anyklamak işleri juda köp harajatlary talap edip, maksada laýyk gelmezligi mümkin. Şeýle ýagdaýlarda prosesi empiriki ýol arkaly, ýany nazaryýete (teoriýa) çuňňur aralaşmazdan öwrenmek amatly bolýar. Adatça şeýle usula *stohastiki* (ol *στοχαστις* grek sözünden gelip çykýar. Bu söz *güman etmek, çak etmek* diýen manyny berýär) çemeleşme diýilýär. Oňa degişli matematiki modellere — empiriki ýa-da statistiki modeller diýilýär, sebäbi bu modeller döredilende matematiki statistika örän wajyp ähmiýete eýe bolýar.

Deterministiki çemeleşmedäki usullar şeýle bir köp dürli bolansoň, olara umumy häsiýetnama bermek mümkin däl. Ýöne olaryň güýçli we gowşak taraplaryny belläp geçse bolar.

Deterministik çemeleşmäniň esasynda alnan maglumatlaryň esasy artykmaçlygy — olaryň öňünden aýtmakda, çaklamakda (prognoz etmekde) tutýan wajyp, kuwwatly ornudyr. Haýsy hem bolsa bir prosesiň mehanizmini doly derejede anyklap, ýokary derejedäki ynandyryjylykda onuň dürli şertlerde özüni nähili alyp barjakdygyny öňünden aýtsa bolýar. Şonuň üçin hen belli aforizmde «gowy teoriýadan amatly hiç bir zat bolup bilmez» diýilýär.

Bu usulyň gowşak ýeri — çylşyrymly prosesiň gowy teoriýasyny döretmegiň kynlygydyr. Eger-de himiki-tehnologiki prosesiň diňe bir elementi — onuň giddrodinamikasy alynsa, onda şu günki gün turbulentligiň näçedir bir teoriýasynyň ýokdugy bilen oňuşmaly bolýar. Häzirki zaman himiýasynda ýüz-münlerçe maddalar belli. Eger-de biz bu maddalaryň ählisiniň alnyş

reaksiýalarynyň mehanizmini anyklamagy äňümizde çynlakaý maksat edip goýsak, onda bu maksada ýakyn gelejekde ýetjegimiz gümana bolup galýar. Şunuň ýaly kynçylyk her ädimde duş gelýär.

Prosesleri stohastiki çemeleşme arkaly barlap öwrenmek üçin kibernetika ylmynda käbir umumy usullar işlenilip düzüldi. Bu usullar barada düşüňjani «gara gapyrjak» diýlip atlandyrylýan shema arkaly berse bolar. Bu ilki başda ýarym degişme görnüşde alnan termin (adalga) häzirki döwürde kibernetikada giňden ulanylýar.

§2.1.2. Matematiki model barada düşüňje. Modelleşdirmegiň esasy prinsipleri we tapgyrlary (etaplary)

Häzirki döwürde model sözi giňden ýaýran terminleriň (adalgalaryň) biridir. «Model» sözüne dürli düşündirişler berilýär, şeýle hem olar dürli klaslara (toparlara) bölünýärler.

«Model» adalgasy latynça *modis, modilie* (ölçeg, keşp, usul we ş.m.) sözlerden gelip çykýar. «Model», «model teswiri» diýen sözler ulanylanda öwrenilýän obýektiň barlagçyny gyzyklandyryan aýratynlyklarynyň teswirlenmegine düşünilýär. Model islendik dilde, meselem, türkmen, rus, iňlis dillerinde teswirlenip bilner. Olar grafiki görnüşde gurlup, himiýa, fizika, biologiýa ylmylarynyň dilini ulanyp döredilip bilner. Modelleriň hususy ýagdaýlarynyň biri hem-de iň köp ulanylýany **matematiki modeldir**. Matematiki modelleri teswirlemek üçin matematikanyň dili ulanylýar.

Islendik matematiki model üç ýol arkaly döredilip bilner:

a) **Hadysalara we proseslere gönüden-göni gözegçilik etmek netijesinde döreyän modeller**. Şeýle usul arkaly alnan modellere **fenomenologiki modeller** diýilýär.

b) **Käbir deduksiýa prosesleriniň netijesinde döredilýän modeller**. Bu modeller has umumy modeliň hususy ýagdaýlarynyň biri hökmünde alynýar. Şeýle modellere **asimptotiki modeller** diýilýär.

b) **Käbir induksiýa prosesleriniň netijesinde döredilýän modeller**. Täze model elementar modelleri umumylaşdyrmak arkaly alynýar. Şeýle modellere **ansambl modelleri** diýilýär.

Model gurmaklyk formal däl prosedura bolup, ol barlagçynyň bilimine, tejribesine, zehinine we öwrenilýän obýekt barada mälum bolan maglumatlara bagly bolup durýar. Modeliň diňe bir obýektde bolup geçýän hadysalary (prosesleri) doly derejede teswirlemegi ýeterlik däl. Munda başga-da modeliň praktikada (iş ýüzünde) ulanylmagy ýeňil bolmalydyr.

§2.2. Fiziki, matematiki we imitasiýalaýyn modelleşdirme barada düşüňje

Modelleşdirmegiň üç görnüşini bolýar:

- 1) fiziki modelleşdirme;
- 2) matematiki modelleşdirme;
- 3) imitasiýalaýyn modelleşdirme.

§2.2.1. Fiziki modelleşdirme

Fiziki modelleşdirme — munuň özi hadysany öwrenmekden, obýekti dürli masştablarda gaýtadan dikeltmekden, onuň fiziki aýratynlyklaryny hem-de çyzyklaýyn (liniýalaýyn) ölçeglerini hasaba almakdan ybaratdyr. Fiziki modelleşdirmede geçirilen eksperiment göniden-göni öwrenilýän obýekte göçürilip geçirilýär. Alnan maglumatlar fiziki ululyklaryň hem-de liniýalaýyn ölçegleriň utgaşdyrylmasyndan (kombinasiýasyndan) düzülen, ölçegsiz kompleksleriň baglanyşyklary görnüşinde işlenilýär. Ölçegsiz formalar tapylan baglanyşyklary öz aralarynda meňzeş hadysalaryň toparyna ýaýratmaga mümkinçilik berýär.

Fiziki modelleşdirmek meňzeşlik prinsipini ulanmaklyga esaslanandyr. Meňzeşlik prinsipi differensial deňlemeler bilen teswirlenýän hadysalar klasynyň içinden ölçegsiz görnüşe getirmek arkaly özara meňzeş toparlary saýlap almaga mümkinçilik berýär.

Hadysalaryň meňzeşligi. Meňzeş hadysalar diýlip häsiýetlendirýän ähli ululyklary giňişligiň islendik nokadynda özara birmeňzeş gatnaşykda bolan hadysalara aýdylýar; şeýle ýagdaýdaky meňzeşlige doly meňzeşlik diýilýär. Eger-de meňzeşlik ululyklaryň diňe kábiri üçin berjaý edilýän bolsa, onda oňa kem-käslýin meňzeşlik diýilýär.

Islendik proses kesgitli bir geometryki konturda (sudurda) bolup geçýändigini sebäpli, ilkinji nobatda onuň geometryki meňzeşligi, diňe şondan soňra berlen prosesi häsiýetlendirýän fiziki meňzeşlik häsiýetlendirilýär.

Geometryki meňzeşlik. Iki sany figuranyň meňzeşligi baradaky ýönekeýje düşünje bize geometriýadan hem mälum. Eger-de figuranyň liniýalaýyn (göni çyzyklaýyn) ölçeglerini diňe bir skalýar däl, eýsem kesgitli ugry hem bolan ululyk hökmünde garalsa, onda şeýle figuralar giňişlikde olaryň birmeňzeş analogiki ölçegleri biri-birlerine parallel bolup ýerleşmeli bolýar.

Modeliň hem-de natural (real) obýektiň birmeňzeş analogiki ölçegleriniň gatnaşygyna modeliň masştaby diýilýär. Modeliň haýsy hem bolsa bir liniýalaýyn l_m ölçegini alyp, hem-de natural obýektiň degişli l_n ölçegine bölüp, modeliň liniýalaýyn masştabyny alarys:

$$a_l = \frac{l_m}{l_n}. \quad (2.1)$$

Mysal üçin, egerde garyşdyryjyly iki sany, ölçegleri: degişlilikde, diametrleri D_1 we D_2 ; garyşdyrylýan suwuklugyň gatlagynyň beýikligi H_1 we H_2 ; garyşdyryjylaryň pilçeleriniň (ganatlarynyň) diametri d_{g_1} we d_{g_2} , pilçeleriniň beýikligi h_{g_1} we h_{g_2} bolsa, onda bu apparatlar meňzeş bolar ýaly

$$a_D = \frac{D_1}{D_2}; \quad d_H = \frac{H_1}{H_2}; \quad a_d = \frac{d_{g_1}}{d_{g_2}}; \quad h_d = \frac{h_{g_1}}{h_{g_2}} \quad (2.2)$$

deňlikler berjaý edilmelidirler.

Geometryki meňzelik şertlerinde

$$a_D = d_H = a_d = h_d \quad (2.3)$$

deňlikler berjaý edilýär.

Ýöne aparatlaryň geometriki meňzeşligini kesgitleýji geometriki ölçeg girizip, ony aňlatmak aňsat bolýar. Mysal üçin, eger-de garyşdyryjyly aparatyň garalyp geçilýän modeliniň kesgitleýji geometriki ölçegi hökmünde garyşdyryjynyň pilçesiniň d_g diametri alynsa, hem-de onuň bilen ähli esasy ölçegler deňeşdirilse,

$$i_D = \frac{D_1}{d_{g_1}}; i_H = \frac{H_1}{d_{g_1}}; i_h = \frac{h_{g_1}}{d_{g_1}}, \quad (2.4)$$

onda islendik başga bir aparatda şol bir kesgitleýji häsiýetnamada i_D , i_H , i_h ölçegsiz gatnaşyklar saklanyp galsa, ýagny

$$\frac{D_2}{d_{g_2}} = \frac{D_1}{d_{g_1}} = i_D; \frac{H_2}{d_{g_2}} = \frac{H_1}{d_{g_1}} = i_H; \frac{h_{g_2}}{d_{g_2}} = \frac{h_{g_1}}{d_{g_1}} = i_h, \quad (2.5)$$

bolanda, geometriki meňzeşlik berjaý edilýär.

Modelde hem-de natural (real) obýektde şol bir bahany saklaýan ölçegsiz i_D , i_H , i_h we ş.m. gatnaşyklara geometriki meňzeşligiň inwariantlary diýilýär.

Şeýlelikde, deňeşdirip boljak ulgamlarda geometriki meňzeşligiň inwariantlary şol bir bahany saklanlarynda, ýagny

$$i_D = \text{idem}; i_H = \text{idem}; i_h = \text{idem} \quad (2.6)$$

bolanda geometriki meňzeşlik berjaý ediler.

Geometriki meňzeşligiň inwariantlary san taýdan özara deň bolman hem bilerler. Inwariantlaryň ölçegsizligi geometriki meňzeşligiň şertlerini islendik ölçegleri bolan aparatlara geçirmäge mümkinçilik berýär. Diňe berlen ölçegiň kesgitleýji ölçege bolan gatnaşygy (2.5) deňlige laýyk gelmegi wajyp bolup durýar. Akymlar turbalarda, kanallarda, senagat aparatlarynda hereket edenlerinde kesgitleýji ölçeg hökmünde togalak turbalar üçin turbanyň diametri bilen gabat gelýän ekwiwalent d_e diametr kabul edilýär.

Fiziki meňzeşlik. Geometriki meňzeşlik bilen analogiki ýagdaýda fiziki meňzeşlik deňeşdirilýän ulgamlarda onuň inwariantlary şol bir baha eýe bolanda berjaý edilýär. Fiziki meňzeşligiň inwariantlary, geometriki meňzeşligiňkiler ýaly, ölçegsiz ululyklar bolmalydyrlar. Ýöne, fiziki hadysanyň fiziki ululyklaryň tutuş bir hatary (tizlik, dykzlyk, süýgeşiklik we ş.m.) bilen hasiýetlendirilýändigini sebäpli, şol ululyklardan ölçegsiz gatnaşyklary düzmeklik meňzeşlik usulynyň esasy meselesi bolup durýar.

Bu meseläniň çözülişi iki ýol: 1) differensial deňlemeleri ölçegsiz görnüşe özgertmek arkaly; 2) ölçeglilikleriň analiziniň kömegi bilen amala aşyrylýar.

Differensial deňlemeleriň ölçegsiz görnüşe özgerdilişi. Bu özgerdilişi süýgeşik suwuklugyň hereketiniň deňlemesiniň mysalynda görkezse bolar Munuň üçin z ok boýunça bir ölçegli durnukly ýagdaýa gelen hereketiň deňlemesini ýazalyň:

$$-\gamma - \frac{dP_z}{dz} + \mu \cdot \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} = \rho \cdot \frac{dw_z}{d\tau}. \quad (2.7)$$

(2.7) deňlemäniň ähli agzalaryny dz -e köpeldip, bu bolsa ähli parametrleriň dz uzynlyk boýunça üýtgemegi bilen deň güýçlüdir, alarys

$$-\gamma \cdot dz - \frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot dz + \mu \cdot \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \cdot dz = \rho \cdot \frac{dw_z}{d\tau} \cdot dz = \rho \cdot w_z \cdot dw_z. \quad (2.8)$$

(2.8) deňleme $\rho \cdot w_z \cdot dw_z$ inersiýa eýe bolan we $\gamma \cdot dz$ agyrlyk güýjüniň, $\frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot dz$ basyşyň hem-de $\mu \cdot \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \cdot dz$ sürtelmäniň täsiri astynda süýşüp, ýerini üýtgedýän, hereketdäki süýgeşik suwuklygyň modelidir. (2.8) deňlemede güýçler göwrüm elementine gatnaşdyrylandyr we uzynlygy dz bolan kesimiň uzaboýuna täsir edýärler.

Geometriki meňzeşligiň inwariantlary baradaky düşüňjä esaslanyp, ähli täsir edýän güýçleri inersiýa güýji bilen deňeşdirmeler geçireliň. Bu güýçleriň inersiýa güýjüne bolan (ýa-da tersine) gatnaşygy ölçegsiz ululyklaryň alynmagyna eltýär. Differensial deňlemeleri ahyrky aňlatmalar bilen çalşalyň:

inersiýa güýji üçin

$$\rho \cdot w_z \cdot dw_z \approx \rho \cdot w_z^2; \quad (2.9)$$

agyrlyk güýji üçin

$$\gamma \cdot dz \approx \gamma \cdot l; \quad (2.10)$$

basyň güýji üçin

$$\frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot dz \sim \frac{\Delta P}{l}; \quad (2.11)$$

sürtülme güýji üçin

$$\mu \cdot \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \cdot dz \sim \mu \cdot \frac{w}{l^2} \cdot l \sim \mu \cdot \frac{w}{l}. \quad (2.12)$$

Inersiýa güýjüni agyrlyk güýjüne gatnaşdyryp, alarys:

$$\frac{\text{Inersiýa güýji}}{\text{Agyrlyk güýji}} = \frac{\rho \cdot w^2}{\gamma \cdot l} = \frac{w^2}{g \cdot l}. \quad (2.13)$$

Eger-de hereket edýän suwuklyklaryň deňeşdirilýän ulgamlarynda ölçegsiz (2.13) kompleks şol bir bahasyny saklaýan bolsa, ýagny

$$\frac{w_1^2}{g \cdot l_1} = \frac{w_2^2}{g \cdot l_2} = \frac{w_3^2}{g \cdot l_3} = \dots = \frac{w^2}{g \cdot l} = \text{idem} \quad (2.14)$$

bolsa, onda bu kompleks agyrlyk güýçleriniň täsiri boýunça fiziki meňzeşligiň inwarianty bolup hyzmat edýär; oňa $F r u d y \tilde{n} s a n y$ diýilýär:

$$\frac{w^2}{g \cdot l} = Fr = N_{Fr}. \quad (2.15)$$

Basyş güýjüni inersiýa güýjüne gatnaşdyryp, alarys:

$$\frac{\text{Basyş güýji}}{\text{Inersiýa güýji}} = \frac{\Delta P}{\rho \cdot w^2}. \quad (2.16)$$

Eger-de hereket edýän suwuklyklaryň deňşdirilýän ulgamlarynda ölçegsiz (2.16) kompleks şol bir bahasyny saklaýan bolsa, ýagny

$$\frac{\Delta P_1}{\rho \cdot w_1^2} = \frac{\Delta P_2}{\rho \cdot w_2^2} = \frac{\Delta P_3}{\rho \cdot w_3^2} = \dots = \frac{\Delta P}{\rho \cdot w^2} = \text{idem} \quad (2.17)$$

bolsa, onda bu kompleks basyş güýçleriniň täsiri boýunça fiziki meňzeşligiň inwarianty bolup hyzmat edýär; oňa *E ý l e r i ñ s a n y* diýilýär:

$$\frac{\Delta P}{\rho \cdot w^2} = Eu = N_{Eu}. \quad (2.18)$$

Ahyrynda bolsa, inersiýa güýjüni sürtülme güýjüne gatnaşdyryp, alarys:

$$\frac{\text{Inersiýa güýji}}{\text{Sürtülme güýji}} = \frac{\rho \cdot w^2}{\mu \cdot \frac{w}{l}} = \frac{\rho \cdot w \cdot l}{\mu}. \quad (2.19)$$

Eger-de hereket edýän suwuklyklaryň deňşdirilýän ulgamlarynda ölçegsiz (2.19) kompleks şol bir bahasyny saklaýan bolsa, ýagny

$$\frac{\rho_1 \cdot w_1 \cdot l_1}{\mu_1} = \frac{\rho_2 \cdot w_2 \cdot l_2}{\mu_2} = \frac{\rho_3 \cdot w_3 \cdot l_3}{\mu_3} = \dots = \frac{\rho \cdot w \cdot l}{\mu} = \text{idem} \quad (2.20)$$

bolsa, onda bu kompleks içki sürtülme ýa-da molekulýar süýgeşikligiň güýçleriniň täsiri boýunça fiziki meňzeşligiň inwarianty bolup hyzmat edýär; oňa *R e ý n o l d s y ñ s a n y* diýilýär:

$$\frac{\rho \cdot w \cdot l}{\mu} = Re = N_{Re}. \quad (2.21)$$

Suwuklugyň süýgeşikliginiň onuň dykzlygyna bolan gatnaşygy kinematiki süýgeşiklik $\mu/\rho = \nu$ bolansoň, Reýnoldsyň sanyny aşakdaky görnüşe getirse bolar:

$$N_{Re} = Re = \frac{w \cdot l}{\nu}. \quad (2.22)$$

Şeýlelikde, ýerine ýetirilen özgertermeler hereketiň differensial deňlemesini ölçegsiz sanlarda aňladylan

$$f(Fr, Eu, Re) = f(N_{Fr}, N_{Eu}, N_{Re}) \quad (2.23)$$

funksiýa görnüşindäki deňlemä çalyşmaga mümkinçilik berýär.

Funksional (2.23) baglanyşygyň görnüşini diňe tejribe geçirmek arkaly anyklanylýp bilner. (2.23) görnüşli deňlemelere kriterial deňlemeler hem diýilýär, ölçegsiz kompleksler bolsa, — meňzeşlik kriteriýalary diýlip atlandyrylýar.

Fiziki modelleşdirmekde esasy maksat — öwrenilýän obýektde hem-de modelde meňzeşlik kriteriýalarynyň hemişelik deň bahalaryny almakdyr.

Himiki tehnologiýada, esasan, aşakdaky meňzeşlik kriteriýalary ulanylýar:

$$\text{Frudyň kriteriýasy } Fr = \frac{w^2}{d \cdot l}, \quad (2.24)$$

$$\text{Eýleriň kriteriýasy } Eu = \frac{\Delta P}{\rho \cdot w^2}, \quad (2.25)$$

$$\text{Reýnoldsyň kriteriýasy } Re = \frac{\rho \cdot w \cdot l}{\mu} \quad (2.26)$$

$$\text{Gomohronlyk kriteriýasy } Ho = \frac{w \cdot \tau}{l} \quad (2.27)$$

we ş.m.-ler.

Fiziki modelleşdirmekte obýekt we model üçin aşakdaky deňlikler ýerine ýetirilmelidirler:

$$Re' = Re''; Fr' = Fr''; Eu' = Eu''; Ho' = Ho'', \quad (2.28)$$

bu ýerde Re' , Fr' , Eu' , Ho' — meňzeşlik kriteriýalarynyň obýektde alýan bahalary; Re'' , Fr'' , Eu'' — meňzeşlik kriteriýalarynyň modelde alýan bahalary.

(2.23) görnüşli deňlemeler meňzeşlik kriteriýalarynyň arasyndaky baglanyşygy aňladar ýaly öwrenilýän prosesiniň parametrleriniň arasynda takyk analitiki baglylyk bolmaly, ýagny deňlemäni ýöne ölçegsiz görnüşe getirmek ýeterlik däl. Şonuň üçin hem (2.23) deňlemäniň düzümindäki ölçegsiz kompleksleri meňzeşlik kriteriýalary däl-de, eýsem degişli ölçegsiz sanlar diýlip atlandyrylsa dogrurak bolardy.

Parametrleriň arasyndaky baglanyşyklaryň deňlemelerini ölçegsiz görnüşde berilmegi olary fiziki hadysalaryň giň klasy üçin ulanmaga mümkinçiliklerini giňeldýär, ýagnymatematikanyň esasy prinsipi bolan izomorflyk prinsipinden peýdalanmaga ýardam berýär. Bu prinsipe laýyklykda funksional baglanyşyklary ölçegsiz kompleksleriň inwariantlygy saklanylyp galanda, dürli fiziki parametrleri bolan ölçegleri boýunça tapawutlanýan apparatlarda amala aşyrylýan prosesleriň matematiki teswirlemesiniň meseleleriniň giň klasyna ýaýradyp ulansa bolýar. Şonuň üçin hem (2.23) görnüşli deňlemeler seredilip geçilýän hadysalary we prosesleri masştablaýyn geçirmäge, fiziki meňzeşligi ýa-da fiziki modelleşdirmegi amala aşyrmaga mümkinçilik berýär.

Berlen hadysany häsiýetlendirýän fiziki ululyklaryň *ölçeglilikleriniň analizi* ölçegsiz kompleksleri düzmäge we görnüşini boýunça (2.23) deňlemä analogiki bolan deňlemäni almaga mümkinçilik berýär. Şeýle usula hadysa juda az öwrenilende, ony differensial deňlemeler arkaly teswirlemäge mümkinçiligiň ýok halatlarynda ýüzlenilýär.

Ölçeglilikleriň analizi funksional baglylygy iň umumy görnüşden häsiýetlendirýän fiziki ululyklaryň ölçegsiz kompleksleriniň takyk kesgitlenen sanyna, meňzeşlikler bolanda bolsa, meňzeşlik inwariantlarynyň takyk kesgitlenen sanyna eltmäge mümkinçilik berýär. Bu usul fiziki ululyklaryň ölçeglilikine esaslanýar. Fiziki ululyklaryň ölçegliliği diýlip, ony ölçemegiň esasy birliklerine baglylykda görkezilmegine düşünilýär.

Fiziki modelleşdirmekte berlen hadysany onuň özünde, ony dürli masştablarda ýasap we fiziki aýratynlyklarynyň hem-de liniýalaýyn (göni çyzyk boýunça) ölçegleriň täsirleri analizlenip öwrenilýär. Eksperiment gönüden-

göni öwrenilýän fiziki prosesde geçirilýär. Tejribe maglumatlar dürli fiziki ululyklaryň hem-de liniýalaýyn (göni çyzyk boýunça) ölçegleriň kombinasiýasynyň esasynda düzülen ölçegsiz kompleksleriň baglylygy görnüşinde görkezip işlenilýär. Bu ölçegsiz görnüşe getirilen maglumatlar tapylan baglanyşyklary ölçegsiz kesgitleýji kompleksleriň ýa-da meňzeşlik kriteriýalaryň hemişelikligi bilen häsiýetlendirilýän özara meňzeş hadysalaryň toparyna ýaýratmaga (degişli etmäge) mümkinçilik berýär. Ölçegsiz kompleksleri differensial deňlemeleriň esasynda ýa-da ölçeglilik teoriýasynyň (nazaryýetiniň) usullary arkaly alýarlar.

Fiziki modelleşdirme modeldäki hem-de obýektdäki meňzeşligiň kesgitleýji kriteriýalarynyň hemişelikligini (üýtgeşsizligini) döretmekden ybaratdyr. Munuň özi iş ýüzünde öwrenilýän fiziki prosesi birnäçe tapgyrda döredilmegini, ýagny onuň amala aşyrylmagynyň kiçi masştablaryndan uly masştablara liniýalaýyn (göni çyzyk boýunça) kesgitleýji ölçegleri kanunalaýyk warirläp (dürli wariantlaryny barlap), geçilmegini aňladýar (meňzeşlik kriteriýasy).

Şeýlelikde, fiziki modeliň deformasiýasy gönüden-göni obýektiň özünde, ýagny fiziki prosesiň geçýän ýerinde, amala aýyrylýar. Şeýle çemeleşmede prosesi gitdigiče uly (zawod masştablaryna çenli) masştablarda gaýtadan döredilmegi we himiki tehnologiýada iş salşylýan örän çylşyrymly ulgamlar bilen operirlemegi (amal edilmegi) talap edilýär. Meňzeşlik prinsipi we fiziki modelleşdirme deňşdirilende ýönekeý ulgamlarda (meselem, bir fazalaýyn akymly gidrawliki ýa-da ýylylyk ulgamlarynda) ulanylanda özlerini ödeýärler, çünki olarda kriteriýalaryň çäklendirilen sany bilen iş salyşmaly bolýar. Emma çylşyrymly deňlemeler arkaly teswirlenýän çylşyrymly prosesler we ulgamlar alnan ýagdaýynda, şeýle çemeleşme meňzeşlik kriteriýalarynyň juda uly, şol bir wagtda ylaşyksyz, diýmek, amala aşyryp bolmaýan toplumynyň alynmaguýyna getirýär. Meňzeşlik prinsipi özüni dol derejede klassiki mehanikanyň kanunlary arkaly teswirlenýän we fiksirlenen (adatça gaty diwarjagazly) çäkleri bolan bir fazaly ulgamlarda bolup geçýän, determinirlenen prosesler analizlenende ödeýär. Hadysalaryň arasynda köp manyly stohastiki görnüşli baglanyşygy bolan determinirlenmedik prosesleri, hususanda, iki fazaly erkin üstli ulgamlary hem-de himiki reaksiýalaryň geçmegi bilen çylşyrymlaşdyrylan prosesleri analizlemek üçin fiziki meňzeşligi ulanmak juda çetin bolýar. Şonuň üçin hem himiki tehnologiýanyň çylşyrymly proseslerini hasaplamagyň esasy usuly bolup, matematiki modelleşdirmek usuly hyzmat edýär. Ondaky hasaplamalar elektron-hasaplaýjy maşynlarda (EHM-larda) amala aşyrylmagy netijesinde bu matematiki modelirleme usuly prosesleri geçirmegiň optimal režimlerini hem-de olary dolandyrmagyň şertlerini tapmaga mümkinçilik berýär.

Häzirki wagtda fiziki modelleşdirmegiň usullary täze häsiýetlere eýe bolýarlar: olary matematiki modeliň deňlemelerine girýän koeffisiýentleriň deformasiýa araçäklerini (serhetlerini) tapmak üçin, şunlukda — matematiki taýdan teswirlenen prosesiň masştablamak hem-de modeliň öwrenilýän obýekte adekwatlygyny anyklamak meselelerini çözmekde ulanmak bolýar.

§2.2.2. Matematiki modelleşdirmek

Matematiki modelleşdirmek — munuň özi prosesleri hil hemde mukdar-san taýdan matematiki modelleriň kömegi arkaly teswirlemek usulydyr.

Matematiki model düzülende real proses sada görnüşe getirilýär, shema düzülýär we alnan ulgam öwrenilýän hadysanyň (prosesiň) çykşyrymlylygyna baglylykda ol ýa-da beýleki matematiki deňlemeler arkaly teswirlenýär.

Geçirilýän barlaglaryň şowlulygy hem-de alynýan netijeleriň gymmaty amatly saýlanyp-seçilip alnyşyna we düzülen modeliň öwrenilýän prosesiniň (hadysanyň) häsiýetlerini dogry hem-de takyk teswirleýändigine baglydyr.

Esasy prosese täsir edýän faktorlaryň ählisi hasaba alynmalydyr. Şol bir wagtyň özünde prosese gowşak täsir edýän faktorlar modelde hasaba alynmaýar, çünki olaryň hasaba alynmagy matematiki analizi çylşyrymlaşdyrýar we barlagy amala aşyrmagy kynlaýdyrýar.

Modeliň strukturasyny düzýän matematiki teswirnama prosesiniň tebigatyna baglylykda dürli parametrleriň özara täsirini hasaba alýan tükenikli ýa-da differensial deňlemeleriň sistemasy görnüşinde teswirlenýär.

Fiziki-himiki prosesi teswirleýän matematiki model kesgitli matematiki teswirnama görnüşinde ýazylýar. Ol tejribe arkaly alnan maglumatlary birleşdirýär we parametrleriň arasyndaky baglanyşyklary kesgitleýär. Modeli döretmekde teoretiki (nazary) usullar we zerur eksperimental maglumatlar ulanylýar.

Matematiki modelleriň işlenilip düzülmeginiň ahyrky maksady — prosesi geçmeginiň netijelerini önünden prognozirmekden (çaklamakdan) we onuň geçişine edilip bilinäýjek täsirleri işläp düzmekden ybaratdyr. Öwrenilýän hadysalar (prosesler) barada ýeterlik maglumatyň bolmadyk halatlarynda olary öwrenmeklik öwrenilýän prosesiniň esasy (hil taýdan) aýratynlygyny (spesifikasyny) ýoýmaýan ýönekeý modelleri gurmakdan başlanýlar.

Fiziki modelleşdirmekden tapawutlylykda, matematiki modelleşdirmekde modeliň üýtgeýşini fiziki modelde däl-de, eýsem EHM-nyň kömegi bilen matematiki modelde öwrenilýär.

Matematiki modelleşdirmek häzirki zaman EHM-lary (kompýuterler) arkaly, gysga wagtyň dowamynda az çykdajylar bilen şol bir prosesi dürli apparatlarda geçirmegiň wariantlainy barlamaga, onuň aýratynlyklaryny hem-de amatly-optimal (oňaly) şertlerini tapmaga mümkinçilik berýär.

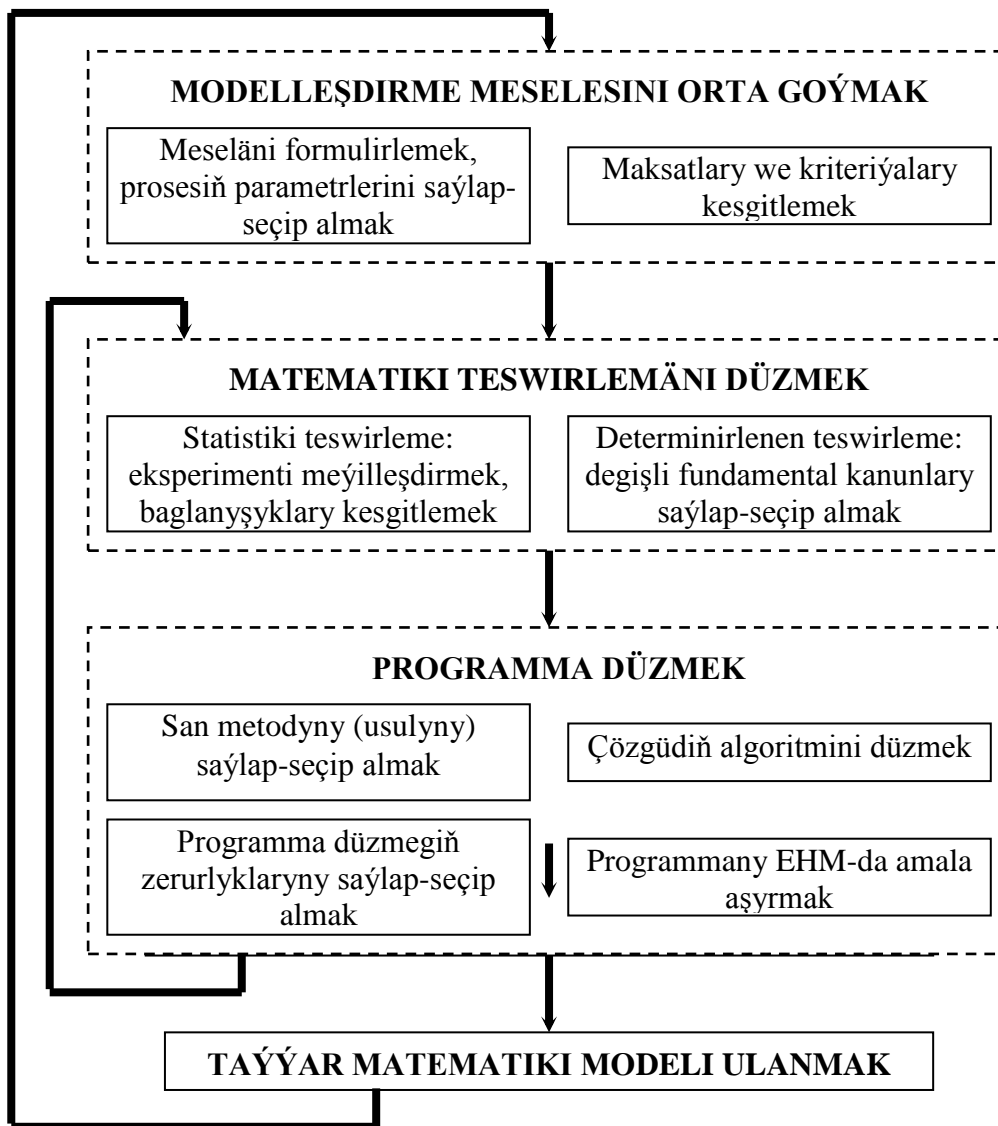
Matematiki modelleşdirmek usuly elmydama fiziki modelleşdirmek usulyna garadýnda arzan düşýär we az harajatlary talap edýär. Elbetde, fiziki modelleşdirmegi inkär etmek bolmaz, çünki matematiki hem-de fiziki modelleşdirmek usullary biri-birleriniň üstüni ýetirýärler.

Matematiki modelleşdirme diýlip obýektiň häsiýetlerini matematiki modelde öwrenmeklige düşünilýär.

Matematiki modelleşdirme usulynyň esasyny matematiki model düşünjesi tutýar. Haýsy bolsa bir hadysanyň ýa-da prosesiniň matematiki simwollar (belgiler) arkaly teswirlenen ýazgysyna **matematiki model** diýilýär.

Matematiki modelleşdirmek özara baglanyşykly üç tapgyrdan (etapdan) ybarat bolup durýar:

- 1) Öwrenilýän obýektiň matematiki teswirlemesini düzmek;
 - 2) Matematiki teswirlemegiň deňlemelerini çözmek üçin usul saýlap-seçip almak we ony modelleşdiriji algoritm görnüşinde ýerine ýetirmek;
 - 3) Modeliň obýekte adekwatdygyny (laýyk gabat gelýändigini) barlamak.
- Matematiki modelleri işläp düzmegiň yzygiderlilik 6-njy suratda getirildi.



6-njy surat. Matematiki modeli işläp düzmegiň tapgyrlary

Matematiki teswirleme düzülende obýektde bolup geýän hadysalary (prosesleri), olary düzýän elementlere bölünýär. Soňra bolsa şol elementleriň arasyndaky baglanyşyklar jikme-jik öwreilýär. Aýratyn alnan her bir elementiň (prosesiň) deňlemesi (ýa-da deňlemeler sistemasy) ýazylyar. Mundan başga-da şol prosesleriň arasyndaky baglanyşygy teswirleýän deňlemeler matematiki teswirlemä goşulýar.

Prosesiň görnüşine baglylykda matematiki teswirleme algebraik, differensial, integral we integro-differensial deňlemeleriň sistemasy görnüşinde ýazylyp bilner. Deňlemeler sistemasyny çözmegiň usulynysaýlap-seçip almak

hem-de modelleşdiriji programmany işläp düzmek basgançak bölçmi bar bolan usullaryň arasyndan has amatlysyny, peýdalysyny saýlap-seçip almagy we programmany düzmegi öz içine alýar.

Fiziki pikir ýöretmeleriň esasynda düzülen matematiki model öwrenilýän obýektiň häsiýetlerini hil we mukdar taýdan teswirlemeli, ýagny öwrenilýän prosese adekwat bolmaly. Matematiki modeli real obýekte adekwatlygyny barlamak üçin obýektden alnan netijeler bilen modelde geçirilip alnan netijeleri bir meňzeş şertlerde deňeşdirmeli.

Matematiki modeliň adekwatlygyny kesgitlemek modeli işläp düzmegiň tapgyrlarynyň (etaplarynyň) ahyrkysy — iň soňkusy bolup durýar.

§2.2.3. Imitasiýalaýyn modelleşdirmek

Çylşyrymly ulgamlaryň özlerini alyp baryşlaryny fiziki modelleşdirmek usuly arkaly öwrenmek mümkin däl diýen ýalydyr. Şeýle ulgamlaryň matematiki modellerini işlemegiň juda çylşyrymly we kyndygy sebäpli olaryň özlerini alyp baryşlaryny öwrenmek üçin imitasiýalaýyn modelleşdirme usuly ulanylýar.

Hereket edýän we taslamasy düzülýän, tebigaty hem-de çylşyrymlylygy dürli hili obýektleri barlamagyň iň bir netijeli usullarynyň biri imitasiýalaýyn* modelleşdirmekdir. Bu usul barlanyp öwrenilýän imitasiýalaýyn modeli gurmakdan hem-de ýüze çykýan ol ýa-da beýleki soraglara jogap tapmak maksadyna gönükdirilen tejribe eksperimentini modele geçirmekden ybaratdyr. Imitasiýalaýyn modelleşdirme usulyna barlag geçirmegiň özboluşly usuly hökmünde seretmek hem mümkindir.

Adaty eksperimental tejribäni amala aşyrmagyň usullaryndan tapawutlylykda, alnyp barylýan eksperiment real obýektde geçirilmän, eýsem EHM-da ýerine ýetirilýän obýektiň imitasiýalaýyn modelinde amala aşyrylýar. Imitasiýalaýyn modelleşdirme usuly meseläniň analitiki çözüdini tapmaga mümkinçilik bermeýär.

Häzirki wagtda imitasiýalaýyn modelleşdirme usuly köpçülikleýin hyzmat etme teoriýasynyň (nazaryýetiniň), himiýanyň, biologiýanyň, saglygy goraýyşyň (medisinanyň) we ş.m.-leriň meselelerini çözmekde hem ulanylýar.

Imitasiýalaýyn modelleşdirme meselesine aşakdaky mysalda garap geçeliň: Birinji tertipli reaksiýa (meselem, dargama ýa-da izomeriýasiýa reaksiýasy) üçin t wagt birliginde reaksiýa gatnaşýan bölejikleriň sany galan beýleki — reaksiýa gatnaşmadyk bölejikleriň sanyna proporsionaldyr. Bu kesgitleme aşakdaky kinetiki deňlemäni berýär:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-k \cdot t}, \quad (2.6)$$

bu ýerde N_t – bölejikleriň t wagtdaky sany;
 N_0 – reagentleriň 0 wadaky sany;
 k – dargama tizliginiň hemişeligi (konstantasy).

* I m i t a s i ý a — öykünmegi, meňzemegi aňladýar, meselem, guşlaryň sesini imitirmek, düri imitirmek (düre meňzedip ýasamak).

Prosesleri imitasiýalaýyn modelleşdirme usulyny şeýle düşündirse bolar: Goý, her birinde bölejik ýerleşen N sany gutujyk bar diýeliň. Gutujykdaky bölejigiň reaksiýa gatnaşmagy mümkin. Tötänleýin haýsy hem bolsa bir gutujygy alalyň. Eger-de onda reaksiýa gatnaşmadyk bölejik bar bolsa, onda ol reaksiýa gatnaşar. Şeýlelikde, reaksiýanyň amala aşmagy reaksiýa gatnaşmadyk bölejikleriň sanyna proporsionaldyr.

III. MATEMATIKI TESWIRNAMA. MATEMATIKI MODELLERİN ESASY GÖRNÜŞLERİ

§3.1. Matematiki teswirnamanyň düzüliş usullary

Matematiki teswirnamany düzmegiň umumy usuly ***blok prinsipidir***. Bu prinspe laýyklykda obýektiň matematiki teswirnamasy düzülmänkä, obýektde bolup geçýän prosesleriň analizi amala aşyrylýar. Her bir elementar (iň ýönekeý) prosesi öwrenmek üçin her bir eksperiment real şertlere maksimal ýakynlaşdyrylyp geçirilýär.

Ilki bilen matematiki teswirnamanyň strukturasyň esasy hökmünde gidrodinamikanyň modeli öwrenilýär. Soňra gidrodinamikanyň kanunlaryny hasaba alyp, himiki reaksiýalar, ýylylyk hem-de massa geçiriş proseslerini öwrenmek bilen bilelikde bu prosesleriň her biriniň modeli düzülýär. Şeýlelikde, jemleýji hökmünde barlagy geçirilen ähli elementar prosesleriň (bloklaryň) obýektiň matematiki teswirnamasyny bitewi matematiki teswirnama birleşdirmeklik hyzmat edýär.

Matematiki teswirnamany aşakdaky usullar arkaly düzmek bolar:

1. Analiki usul;
2. Eksperimental (tejribe) usuly;
3. Eksperimental-analitiki usul.

Obýektde bolup geçýän fiziki we himiki prosesleri teoriýa (nazary) taýdan analiziň esasynda hem-de işlenilýän çig malyň häsiýeti we enjamlaryň konstruksiýa (düzüt) häsiýetlerini statikanyň we dinamikanyň deňlemeleri arkaly matematiki teswirnamany ýazmagyň usulyna ***analitiki usul*** diýilýär. Bu deňlemeler çykarylanda energiýanyň, massanyň saklanmak kanunlary, hem-de ýylylyk we massa geçiriş, himiki öwrülişikleriň kinetikasy ulanylýar.

Analitiki usul arkaly matematiki teswirnamany düzmek üçin obýektde eksperiment geçirmegiň zerurlygy aradan aýrylýar, şol sebäpli hem bu usul fiziki-himiki prosesleri ýeterlik derejede öwrenilen täze taslanýan obýektleriň statiki we dinamiki häsiýetnamalaryny öwrenmek üçin ulanylýar.

Düzülen deňlemeleriň parametrleri (koeffisiýentleri) himiki-tehnologiki apparatlaryň kesgitli ölçeglerine (diametrine, inine, uzynlygyna, beýikligine we ş.m.-lerine)funksioal baglydyr. Mundan başga-da, bu parametrlar işleniän maddalaryň häsiýetlerine, fiziki-himiki prosesleriň geçýändigini häsiýetlendirýän ululyklara (himiki reaksiýalaryň tizliginiň konstantasyna (hemişeligine), diffuziýanyň koeffisiýentlerine we ş.m.-lere) baglydyr.

Deňlemeleriň käbir parametrleri hasaplama arkaly, galanlary bolsa, öň (deslapky) geçirilen ylmy barlaglaryň netijelerine meňzeşlik prinsipini ulanmak arkaly tapylýar.

Matematiki teswirnamany düzmegiň analitiki usulyň esasy kemçiligi — obýektiň doly teswirlemesi döredilende alynýan deňlemeler sistemasyny çözmegiň kynlygydyr.

Matematiki teswirnamany düzmegiň ***eksperimental usuly*** obýekti üýtgeýän giriş we çykyş ululyklarynyň giň bolmadyk işçi aralyklarda dolandyrmak we

öwrenmek üçin ulanylýar. Bu usul obýektiň parametrleriniň liniýalaýynlygyna (göni çyzyklaýynlygyna) hem-de jemlenendigine esaslanýar. Bu usul çaklamalar kabul edilende, öwrenilýän prosesler hemişelik koeffisiýentli algebraik we liniýalaýyn deňlemeler arkaly has ýeňil teswirlemäge mümkinçilik döredýär. Eksperimental usullaryň artykmaçlygy — obýektiň parametrleriniň giň bolmadyk aralykda üýtgedilende, onuň häsiýetleriniň doly derejede teswirlenende alynýan matematiki teswirnamanyň ýönekeýligidir.

Eksperimental usullar arkaly matematiki teswirnamalar döredilende öwrenilýän obýektde eksperiment geçirmek zerurlygy hökmany suratda ýüze çykýar.

Deňlemelere girýän san parametrleri arkaly obýektiň konstruktiv häsiýetnamalarynyň, onda bolup geçýän prosesleriň režim parametrleriniň hem-de maddalaryň fiziki-himiki häsiýetleriniň arasyndaky funksional baglanyşygyň bolmagy eksperimental usullaryň esasy ýetmezçiligi bolup durýar. Mundan başganda, eksperimental usullaryň kömegi bilen alnan matematiki teswirnamalary birmeňzeş obýektlerde ulanyp bolmaýar.

Eksperimental hem-de analitiki usullaryň gowy we gowşak taraplarynyň bolmagy matematiki teswirnamany düzmegiň *eksperimental-analitiki* utgaşdyrylan (kombinirlenen) *usullaryny* işläp düzmegiň zerurlygyna getirdi. Kombinirlenen usulyň mazmuny aşakdakylardan ybaratdyr: analitiki usul arkaly ilki matematiki teswirnama döredilýär, soňra eksperiment geçirilip, onuň netijesinde deňlemeleriň parametrleri tapylýar. Matematiki teswirnamany almak üçin şeýle çemeleşmekde hem eksperimental hem-de analitiki usullaryň köp gowy taraplary, onuň gowy häsiýetleri saklanyp galýar.

§3.2. Matematiki teswirnamanyň mazmuny we düzümi

Hakykatda matematiki teswirnama formal ýagdaýda prosesiä üýtgeýän dürli ululyklaryny bitewi deňlemeler sistemasyna baglanyşdyrýan baglanyşyklaryň toplumyndan ybarat bolup durýar. Bu baglanyşyklaryň arasynda umumy fiziki kanunlar (meselem, energiýanyň we maddanyň saklanmak kanunlary), elementar prosesleri (meselem, himiki öwrülişikleri) hem-de prosesiň üýtgeýän ululyklaryna bolan çäkledirmeleri teswirleýän deňlemeleriň bolmagy mümkin. Mundan başganda, matematiki teswirnamalaryň düzümine teoretiki (nazary) formalary belli bolmadyk ýa-da teoretiki formasy juda çylşyrymly parametrleri baglanyşdyrýan empiriki we ýarym empiriki baglanyşyklaryň hem girmegi mümkin.

Hususy ýagdaýda modelleşdirilýän obýekt barada teoretiki maglumat bolmasa ýa-da obýektiň esasy häsiýetlerini teswirleýän baglanyşyklaryň görnüşleri näbelli bolan halatlarynda matematiki teswirnamanyň deňlemesi obýektde geçirilen statistiki işler netijesinde alynýan giriş we çykyş parametrleri birleşdirýän empiriki baglanyşyklaryň sistemasyndan ybarat bolup durýar (matematiki teswirnamany düzmegiň eksperimental usuly).

Şeýle modelleer obýektiň giriş we çykyş ululyklaryny baglanyşdyrýan regressiýa gatnaşyklaryndan ybarat bolup, modelleşdirilýän obýektiň fiziki

manysyny aňlatmaýar. Bu bolsa, öz gezeginde, olary ulanmak arkaly alynýan netijeleri umumylaşdyrmagy kynlaşdyrýar.

Regressiýa gatnaşyklaryna esaslanan matematiki modellerden tapawutlylykda, analitiki usulyň kömegi bilen gurlan model prosesiniň esasy geçiş kanunlaryny doly derejede teswirleýär. Hatda modeliň parametrleri ýeterlik takyklykda bolanda hem obýekti doly häsiýetlendirýär. Şonuň üçin hem analitiki usul arkaly alynýan modelleriň kömegi bilen belli bir klasa degişli bolan modelleşdirilýän obýektleriň umumy häsiýetlerini öwrenmek mümkinçiligi döreýär.

§3.3. Deňlemeler sistemalarynyň klaslara bölünişi

Modelleşdirilýän obýektiň fiziki tebigaty esasynda işlenilip düzülýän matematiki teswirnamanyň düzüminde deňlemeleriň aşakdaky klaslaryny saýlap görkezmek bolar:

1. Akymlaryň hereketiniň gidrodinamiki strukturasyň hasaba alýan energiýanyň we maddanyň saklanylmagyny tewirleýän deňlemeler. Bu klasdaky deňlemeler akymlarda temperaturanyň, konsentrasiýanyň paýlanyşyny we olar bilen baglanyşykly häsiýetleri teswirleýär.

Maddy balansyň umumylaşdyrylan deňlemesi aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

$$\boxed{\text{Maddanyň gelmeği}} - \boxed{\text{Maddanyň sarp edilmegi}} = \boxed{\text{Maddanyň ýygnanylmagy}} \quad (3.1)$$

Maddanyň gelmeği bilen onuň sarp edilmeginiň arasyndaky tapawut seredilip geçilýän obýektdäki maddanyň mukdarynyň hil taýdan üýtgemegine deňdir. Bu ýagdaýda (3.1) deňleme maddy balansyň deňlemesine öwrülýär:

$$\boxed{\text{Maddanyň gelmeği}} = \boxed{\text{Maddanyň sarp edilmegi}} \quad (3.2)$$

Prosesde gatnaşýan maddalaryň her biri üçin aýratynlykda ýylylyk balansy:

$$\boxed{\text{Gelýän ýylylyk}} - \boxed{\text{Sarp edilýän ýylylyk}} = \boxed{\text{Ýylylygyň toplanylmagy}} \quad (3.3)$$

ýa-da stasionar şertlerde

$$\boxed{\text{Gelýän ýylylyk}} = \boxed{\text{Sarp edilýän ýylylyk}} \quad (3.4)$$

2. Akymyň lokal elementleri üçin elementar prosesleriň deňlemesi. Bu klasa massa we ýylylyk çalşygy, himiki reaksiýalar we ş.m. prosesleriň teswirnamalary degişlidir.

3. Prosesiň dürli parametrleriniň arasyndaky teoretiki, ýarym empiriki we empiriki baglanyşyklar, meselem, massa geçiriş koeffisiýentiniň akymyň tizligine, ýylylyk sygymynyň garyndynyň düzümine baglylygy we ş.m.

4. Prosesiň parametrlerine bolan çäklendirmeler. Meselem, köp komponentli garyndylaryň rektifikasiýa prosesi modelleşdirilende islendik bölünüş derejesinde aşakdaky şert ýerine ýetirilmeli:

$$\sum X_i = 1, \quad (3.5)$$

ýagny ähli komponentleriň konsentrasiýalarynyň jemi bire deň bolmaly. Ähli modeller üçin şeýle umumy şert bar, ol hem matematiki teswirnamanyň deňlemeleriniň sany modelleşdirme netijesinde tapylan näbellileriň sanyna deň bolmalydygydyr.

§3.3.1. Deňlemeleriň klaslary

Himiki-tehnologiki obýektleri modelleşdirmekde duş gelýän deňlemeleriň esasy kalslaryna gysgaça garap geçeliň. Modelleşdirilýän dürli obýektleriň häsiýetlerini teswirlemek üçin adaty algebraik we transendent deňlemeler, adaty differensial deňlemeler, hususy önümlü (proizwodnyly) differensial deňlemeler we integro-differensial deňlemeler ulanylýar.

Algebraik deňlemeler, esasan, jemlenen parametrli obýektleriň stasionar režimleriniň matematiki teswirnamalarynda (meselem, doly garyşdyrma reaktory teswirlenende) ulanylýar.

Algebraik deňlemeler arkaly teswirlenen matematiki namalar has ýönekeýdir, ýöne olaryň çylşyrymlylygy sistemadaky deňlemeleriň sanyna we düzümlerine girýän funksiýalaryň görnüşine baglydyr. Şonuň üçin hem deňlemeleriň bu görnüşinden has çylşyrymly obýektleri teswirlenende dürli parametrleriň arasyndaky stasionar baglanyşygy aňlatmak üçin hem giňden peýdalanylýar.

Adaty differensial deňlemeler arametrleri jemlenen obýektleriň stasionar däl režimlerini (dinamikasyny) matematiki namasyny teswirlemekde (meselem, doly garyşdyrma reaktorynyň dinamikasyny teswirlemek üçin), şeýle hem parametrleri paýlanan, parametrleriniň bahalary diňe bir giňişlik koordinatasyna bagly bolan obýektleriň stasionar režimlerini matematiki teswirlemekde ulanylýar. Şunlukda, differensial deňlemelerde, birinji ýagdaýda garaşsyz üýtgeýän ululyk hökmünde wagt, ikinji-de bolsa — giňişlik koordinatasy üýtgeýär. Düzümine adaty differensial deňlemeler girýän matematiki teswirnamalaryň in wajyp aýratynlyny — başky şertleriň berilmeginiň zerurlygydyr.

Hususy önümlü (proizwodnyly) differensial deňlemeler parametrleri paýlanan obýektleriň dinamikasyny hem-de parametrleri birnäçe giňişlik koordinatalary boýunça paýlanan obýektleriň stasionar režimlerini matematiki teswirlemek ulanylýar. Hususy önümlü differensial deňlemeler arkaly obýektiň dinamikasy teswirlenende — başky şertler bilen bir hatarda, hökmany

suratda, çetki gyra şertleri (olar umumy ýagdaýda wagtyň funksiýasy bolup durýarlar) hem bermeklik zerurdyr. Hususy önümlü differensial deňlemeler arkaly häsiýetlendirilýän obýektleriň stasionar režimleri üçin diňe (koordinatalara bagly bolan) çetki gyra şertler berilýär.

Käbir halatlarda himiki tehnologiýanyň çylşyrymly obýektleri modelleşdirilende hem determinirleşdirilen, hem-de stohastiki tebigaty bolan prosesleri hasaba almaly bolýar. Şunlukda, obýektiň netije jemleýji matematiki teswirnamasy adatça integro-differensial deňlemeler görnüşinde berilýär. Obýektiň integro-differensial görnüşdäki funksional operatoryna mahsus mysal hökmünde akymyň elementleriniň apparatda saklanýan wagty boýunça paýlanyş funksiýasynyň kömegi bilen wagt koordinatasynda ýyganan diffuziýa ýa-da ýylylyk geçiriş prosesini teswirleýän differensial deňlemäni alsa bolar.

Differensial, integral we integro-differensial deňlemeler arkaly teswirlenýän obýektleri matematiki modelleşdirmek usuly arkaly barlamak örän çylşyrymly hasaplaýyş meseleleriniň biri bolup durýar. Şonuň üçin hem obýektleri differensial ýa-da integral deňlemeler arkaly teswirlemegiä ýerine ahyrky deňlemeleriň ulgamy (sistemasy) ulanylýar. Munuň üçin paýlanan parametrli üznüksiz obýektiden jemlenen parametrli diskret, ýöne öýjüklü struktura diýlip atlandyrylýan guruluş bolan obýekte geçilýär. Formal ýagdaýda üznüksiz obýekti diskret obýekt bilen çalşylmagy, differensial deňlemeleri tapawutlaýyn gatnaşyklar bilen, integral deňlemeleri bolsa, — algebraik deňlemeler bilen çalşmaklyga ekwiwalentdir. Şunlukda adaty differensial deňlemeler arkaly teswirlenýän obýektleriň matematiki teswirnamasy gutarnykly-tapawutly deňlemeler ulgamy (sistemasy) görnüşinde berilýär. Hususy önümlerdäki (proizwodnylardaky) differensial deňlemeler arkaly häsiýetlendirilýän prosesler üçin ahyrky netijesi bolup, differensial-tapawutly deňlemeler hyzmat edýär.

eýsem olaryň tükenikli tapawutlarda teswirlenen matematiki namalary ulanylýar.

Şol birwagtda, öz tebigaty boýunça öýjüklü struktura eýe bolan obýektler hem bar. Şeýle prosesli obýektlere mysal hökmünde tabakly rektifikasiýa sütünlü apparatlary, beýikligi boýunça toparlara bölünen reaktorlary we ş.m.-leri getirse bolar.

§3.4. Matematiki modelleriň görnüşleri

Himiki tehnologiýanyň dürli prosesleriniň we olaryň apparaturalarynyň kesgitli (konkret) görnüşlerini wagt hem-de giňişlik koordinatalar alamatlary boýunça 4 (dört) topara bölmek bolar:

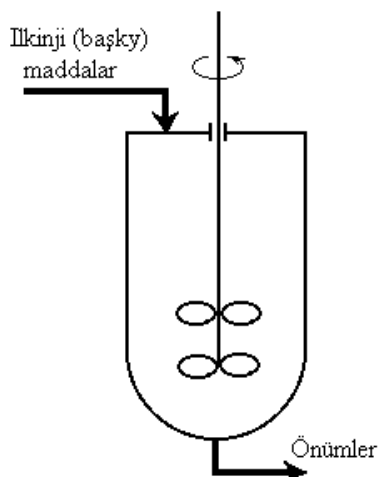
- 1) Wagt boýunça üýtgeýän (stasionar däl) prosesler;
- 2) Wagt boýunça üýtgemeyän (stasionar) prosesler;
- 3) Parametrleri giňişlikde üýtgeýän prosesler;
- 4) Giňişlikde koordinatalar boýunça üýtgemeyän prosesler.

Matematiki modelleriň degişli obýektleriň teswirlemesi bolýandygy sebäpli olara hem aşakdaky klaslar degişlidirler:

- 1) Wagt boýunça üýtgemeyän (stasionar) modeller — statiki modeller;
- 2) Wagt boýunça üýtgeýän (stasionar däl) modeller — dinamiki modeller;
- 3) Giňişlik boýunça üýtgemeyän modeller — jemlenen parametrli modeller;
- 4) Giňişlikde üýtgeýän modeller — ýaýradylan parametrli modeller.

Ýokarda sanalyp geçilen modellere aýratynlykda garap geçeliň:

Parametrleri jemlenen modeller. Bu klasdaky modellerde üýtgeýän ululyklar giňişlik boýunça hemişelik bolup, olaryň matematiki namasy algebraik

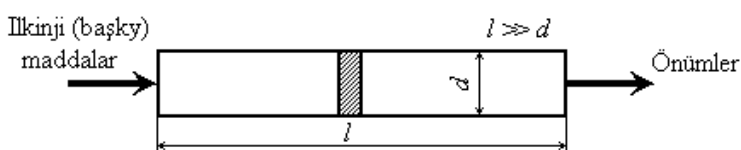


7-nji surat. Ideal garyşdyrma modeli arkaly teswirlenen apparatyň shemasy

deňlemelerden ýa-da stasionar prosesler üçin birinji tertipli differensial deňlemelerden ybarat bolup durýar. Bu klasa degişli matematiki model arkaly teswirlenen obýekte mysal hökmünde akymy garyşdyryjy ideal apparaty getirse bolar (7-nji surat).

Ýaýradylan parametrli modeller. Eger-de prosesini esasy üýtgeýän ululyklary wagt we giňişlik boýunça üýtgeýän bolsa ýa-da bu üýtgemeler diňe giňişlikde bolup geçýän bolsa, onda şeýle prosesleri teswirleýän modellere **paýlanan parametrli modeller** diýilýär. Olaryň matematiki namasy köplenç hususy önümlü (proizvodnyly) differensial deňlemelerden, ýa-da bir giňişlikde üýtgeýänstasionar prosesler üçin bolsa, adaty differensial deňlemelerden ybarat bolup durýar. Şeýle matematiki modeller arkaly teswirlenen proseslere mysal hökmünde l uzynlygy d

diametrinden has uzyn ($l \gg d$), reagentleri uly tizlikdäki hereketde bolan turba görnüşli ideal gysyp çykarma apparatyny (8-nji surat) getirmek bolar.



8-nji surat. Ideal gysyp çykarma modeli arkaly teswirlenen apparatyň shemasy

Statiki modeller. Obýektiň stasionar şertlerdäki, ýagny prosesini parametrleri wagt boýunça üýtgändäki işini **statiki modeller** häsiýetlendirýär. Statiki modelleriň matematiki namasy wagty üýtgeýän ululyk hökmünde öz içine almaýar, şonuň üçin hem ol köplenç algebraik deňlemeler arkaly teswirlenýär.

Dinamiki modeller. Obýektiň wagt boýunça üýtgemegini dinamiki modeller teswirleýärler. Şeýle modelleriň matematiki namasy hökmüny suratda wagt boýunça hususy önümi (proizvodny) öz içine alýar.

IV. MODELLEŞDIRIJI ALGORITMIŇ IŞLENIP DÜZÜLIŞI WE MODELIŇ PARAMETRLERINIŇ TAPYLYŞY

§4.1. Çözülüş usulynyň saýlanylyp-seçilip alnyşy we onuň çözüdiniň algoritmi hem-de modelleşdiriji programma görnüşinde amala aşyrylyşy

Matematiki nama düzülip, degişli başlangyç we gyra çetki şertler goýlandan soňra, çözülüş usuly saýlanyp-seçilip alynýar, algoritmi işlenilip düzülýär hem-de matematiki namanyň deňlemeler sistemasyny çözmegiň programmasy düzülýär.

Ýönekeý ýagdaýlarda, ýagny matematiki namanyň deňlemeler sistemasynyň çözüdini tapyp bolmadyk halatlarynda, ýörite modelleşdiriji algoritmi işläp düzmegiň zerurlygy ýokdur, çünki ähli zerur maglumatlar degişli analitiki çözümlerden alynýar.

Matematiki namanyň deňlemeler sistemasynyň çözülüş usuly saýlanylyp seçilenden soň, adaty maksimal çaltlykda ýerine ýetirilýän hem-de EHM-nyň ýadynda (huşunda) minimal ýeri tutýan usuly saýlap-seçip almak meselesi öňde (orta) goýulýar. Elbetde, bu şertlerden başga-da, berlen takyklygyň ýerine ýetirilmelidigi baradaky şert bar. Hasaplaýyş usuly saýlanylyp alnanda, meseläniň ölçeg möçberi uly ähmiýete eýe bolýar. Käbir usullar kiçeňräk meseleleri çözmekde gowy netijeler gazanylýar, emma uly göwrümlü meseleler çözlende, hasaplamaalaryň göwrümi has-da artýar. Şonuň üçin hem bu usullardan ýüz döndermeli bolýar.

Çözülüş usuly saýlanylyp alnandan soň, çözüwi üpjün edýän hasaplaýyş hem-de logiki hereketleriň zygiderligi (algoritmi*) düzülýär.

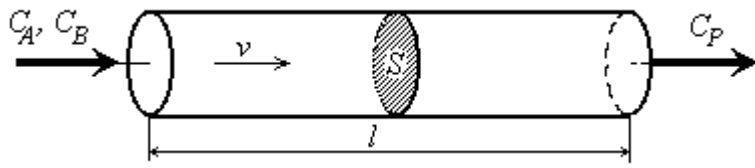
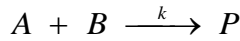
Algoritmiň namasynyň formasyna (durkuna) hem-de mazmunyna bolan esasy talaplar: ol ykjam (kompakt), düşnükli we aýdyň (takyk we kesgitli) bolmalydyr.

Matematiki modelleşdirmekde algoritmi ýazmagyň grafiki (blok-shema) usuly has giňden ýaýrandyr. Bu usul algoritmiň aýratyn elementlerini grafiki simwollar (geometriki şekiller) arkaly, tutuş algoritmi bolsa, blok shema görnüşinde aňlatmaklyga esaslanandyr. Geçirilýän amallar, bolup geçýän hereketler blok-shemalarda, ýagny siwwol görnüşinde grafiki we geometriki şekilleriň (figuralaryň) içinde ýazylýar.

Algoritmi böleklere jikme-jik bölmegiň (detallaşdyrmagyň) derejesi, onuň çylşyrymlylygyna, EHM-nyň matematiki üpjünçiligine hem-de standart programmalaryň ulanylyş derejesine bagly bolup durýar. Meselem, kitaphanadaky maglumat (sorag-jogap) kitabyndan alnan taýyn programma ulanylanda algoritmi detallaşdyrmagyň zerurlygy aradan aýrylýar: onuň häsiýetnamasyny görkezmeke ýeterlikdir.

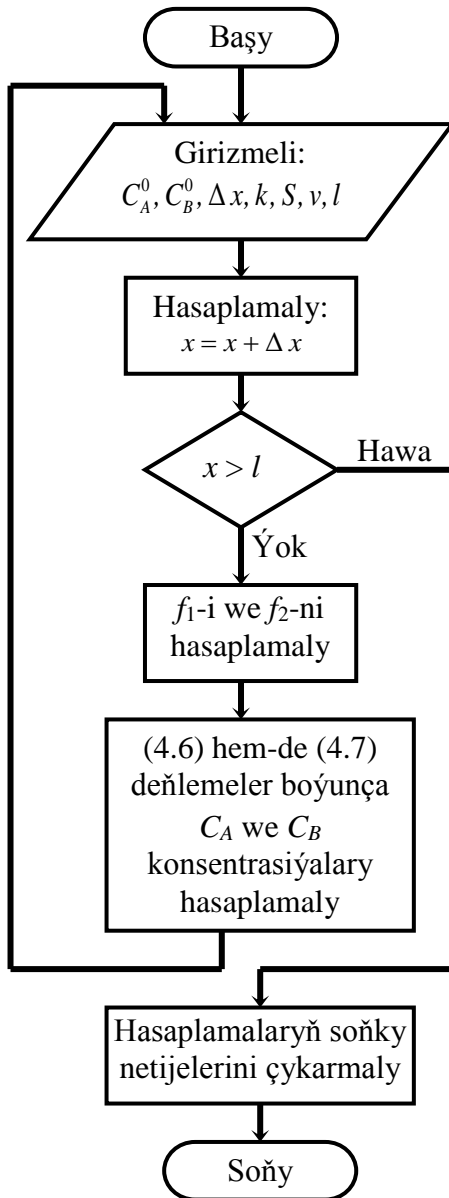
Mysal hökmünde içinde aşakdaky reaksiýa geçýän ideal gysyp çykarma aparatyny (reaktoryny) hasaplamaagyň algoritmine garap geçeliň (9-njy surat):

* Algoritm sözi Beýik Gündogar alymy al-Horezminiň (iňlisçe ýazylanda — *al-Horethm*) adyndan gelip çykýar.



9-njy surat. Ideal gysyp
çykarma reaktory

Apparatyň stasionar şertlerde işleýşiniň matematiki namasy aşakdakylardan ybaratdyr:



10-njy surat. Ideal gysyp
çykarma reaktoryny
hasaplamagyň algoritminiň
blok-shemasy

$$\frac{v}{S} \cdot \frac{dC_A}{dx} = -k \cdot C_A \cdot C_B; \quad (4.1)$$

$$\frac{v}{S} \cdot \frac{dC_B}{dx} = -k \cdot C_A \cdot C_B. \quad (4.2)$$

$$\text{Başlangyç şertler: } C_A = C_A^0; C_B = C_B^0; x = 0. \quad (4.3)$$

Reaksiýa izotermiki şertlerde geçär diýip kabul edeliň. Onda (4.1) we (4.2) adaty deňlemeler sistemasy bolup, olar Eýleriň usuly arkaly çözülip bilner. Munuň üçin deňlemeler sistemasyny aşakdaky görnüşe getireliň:

$$\frac{dC_A}{dx} = -\frac{S}{v} \cdot k \cdot C_A \cdot C_B = f_1(C_A, C_B); \quad (4.4)$$

$$\frac{dC_B}{dx} = -\frac{S}{v} \cdot k \cdot C_A \cdot C_B = f_2(C_A, C_B). \quad (4.5)$$

Eýleriň usulyna görä gözlenilýän C_A we C_B konsentrasiýalar aşakdaky ýaly kesgitlenilýär:

$$C_A = C_A^0 + \Delta x \cdot f_1(C_A, C_B); \quad (4.6)$$

$$C_B = C_B^0 + \Delta x \cdot f_2(C_A, C_B). \quad (4.7)$$

10-njy suratda (4.4) we (4.5) deňlemeler sistemasynyň çözülişiniň grafiki algoritmi (blok-shemasy) getirildi.

Algoritm ädimme-ädim ýerine ýetirilişi boýunça ýazylanda ol aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

1. $C_A^0, C_B^0, \Delta x, k, S, v, l$ bahalary girizmeli;

2. $x = x + \Delta x$ hasaplamaly;

3. Integrirlemegiň tamamlanma şerti $x > \Delta x$ barlanylýar. Eger-de bu şert ýerine ýetirilýän bolsa, onda hasaplamalaryň ahyrky netijeleri çykarylýar we 7-nji bende geçilýär.

4. Deňlemeleriň sag taraplary — $f_1(C_A, C_B)$ we $f_2(C_A, C_B)$ hasaplanylýar.

5. C_A we C_B konsentrasiýalaryň täze bahalary tapylýar.

6. 2-nji bende geçilýär.
7. Hasaplama bes edilýär.

Soňra bu algoritmiň esasynda ýokary dilleriň haýsy hem bolsa birinde programma ýazylyar.

Programma düzmeklik tapgyry programmanyň namasyny ýazmak, ýagny ähli giriş we çykyş parametrleriň hersiniň mämäni aňladýandyklaryny, maglumatlary girizmegiň hem-de çykarmagyň tertibini ýazmak bilen tamamlanýar.

§4.2. Modeliň parametrlerine baha berlişi

Eksperimental ýa-da eksperimental-analitiki usul arkaly düzülen matematiki modeller näbelli hemişelikleri (konstantalary, parametrleri) özünde saklaýarlar. Häzirki döwürde parametrleri boýunça liniýalaýyn (göni çyzyklaýyn) modellere baha bermegiň teoriýasy (nazaryýeti) has gowy işlenilip düzülipdir. Ýöne himiki-tehnologiki prosesleriň modelleriniň aglabasy parametre görä liniýalaýyn däl, öonuň üçin hem parametrlere baha bermek meselesinde ýeterlik derejede kynçylyk döreýär. Şonuň üçin hemliniýalaýyn däl modelleriň parametrlere baha bermek ýakynlaşan bahalarda ýa-da berlen modeli liniýalaýyn ýagdaýa geçirmek arkaly amala aşyrylýar. Näbelli parametrlere baha bermek üçin iň kiçi kwadratlar, maksimal meňzeşlik usullary, Baýes metody we ş.m. usullal ulanylýar.

Eýler kriteriýasy — E_i -ululyklar üçin aşakdaky şertler ýerine ýetýär:

$$M(E_i) = 0; M(E_{i'}, E_{i''}) = \{0, 1 \leq i' \leq i'' \leq n\}; i' = i'' \quad (4.8)$$

Ýagny gözegçiligiň ýalňyşlygy birmeňzeş dispersiýa eýe bolup, onuň matematiki garaşmasy nola deň.

§4.2.1. Iň kiçi kwadratlar we maksimal meňzeşlik usullary barada düşünje

Iň kiçi kwadratlar usuly ulanylanda aşakdaky jemiň iň kiçi baha almagynyň gazanylmagy zerurdyr:

$$Q = \sum_{i=1}^n \left(Y_i - \sum_{j=1}^p \partial_{ij} \cdot \theta_j \right)^2 \quad (4.9)$$

Q ululygynyň minimum (iň kiçi) baha almagynyň zerurlyk şerti aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

$$\frac{\gamma \cdot Q}{\gamma \cdot Q_j} = 0 \quad (j = 1, \bar{p}) \quad (4.10)$$

ýa-da

$$\frac{\gamma \cdot Q}{\gamma \cdot Q_j} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_{j=1}^p \partial_{ij} \cdot \theta_j \right) \cdot \partial_{ij} = 0 \quad (4.11)$$

Soňky şerti θ_j –e görä deňlemeler sistemasy görnüşinde aşakdaky ýaly ýazsa bolar:

$$\sum_{k=1}^p l_{jk} \cdot \theta_k = \sum_{i=1}^n y_i \cdot \partial_{ij}, \quad (j = 1, \bar{p}) \quad (4.12)$$

bu ýerde
$$l_{ik} = \sum_{i=1}^n \partial_{ij} \cdot \partial_{ik} \quad (j, k = 1, \bar{p}) \quad (4.13)$$

Bu deňlemeler sistemasy baglanyşyksyz diýlip kabul edilýär, ýagny

$$\Delta = \begin{vmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1n} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{n1} & l_{n2} & \dots & l_{nn} \end{vmatrix} \quad (4.14)$$

şert şerine ýetýär diýlip, ýeke-täk $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_p$ çözügüt tapylýar. Bu ululyklara *in kiçi kwadratlar usuly boýunça tapylan bahalar* diýilýär.

Matematiki modelleriň näbelli koeffisiýentlerine baha bermek üçin köplenç Fişer tarapyndan hödürlenlen **maksimal meňzeşlik usulyndan** peýdalanylýar.

Goý, paýlanyş kanunyna laýyklykda $f(x, \theta)$ ähtimallyk dykzlygy arkaly berlen tötänleýin ululyk bar diýeliň. Meňzeşlik funksiýasy düzülse, onda ol aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$F_n(x_1, x_2, \dots, x_n, \theta) = f(x_1, \theta), f(x_2, \theta), \dots, f(x_n, \theta), \quad (4.15)$$

bu ýerde x_1, x_2, \dots, x_n – tötänleýin x ululygyň fiksirlenen bahasy; θ – parametrleriň wektory.

Maksimal meňzeşlik usulynyň manysy aşakdakylardan ybaratdyr: $\theta_n = \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$ bahalary hökmünde $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$ ululyklar in maksimal F baha eýe bolar ýaly parametrleriň bahalary alynýar. Parametrleriň şol bir bahalarynda $\ln F_n$ funksiýa edil F_n funksiýa ýaly maksimal baha eýe bolsa amatly bolýar. Bu funksiýa *logarifmiki maksimal meňzeşlik funksiýasy* diýlip at berilýär. Parametrleriň $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_p$ bahalary saýlanylýp seçilip alnan x_1, x_2, \dots, x_n ululyklaryň funksiýalarydyrlarwe maksimal meňzeşligiň bahalarydyrlar.

Maksimal meňzeşligiň bahalaryny tapmak üçin bahalara görä meňzeşlik deňlemeler sistemasyny çözmeli:

$$\frac{\gamma \cdot l}{\gamma \cdot \theta_1} = 0, \frac{\gamma \cdot l}{\gamma \cdot \theta_2}, \dots, \frac{\gamma \cdot l}{\gamma \cdot \theta_p} = 0 \quad (4.16)$$

Maksimal meňzeşlik usulynyň konkret mysalda garap geçeliň.

Maksimal meňzeşlik usuly arkaly saýlanyp-seçilip alnan x_1, x_2, \dots, x_n bahalaryň esasynda

$$F(x) = \partial \cdot e^{-\partial \cdot x} \quad (0 \leq x \leq +\infty) \quad (4.17)$$

dykzlykly görkezijili paýlaýyşyň ∂ parametrine baha bermeli.

Bu paýlaýyş üçin meňzeşlik funksiýasy aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$L = \sum_{i=1}^n \ln(\partial \cdot e^{-\partial \cdot x_i}) = n \cdot \ln \partial - \sum_{i=1}^n x_i \partial \quad (4.18)$$

Soňky deňligi ∂ boýunça differensirläp, hem-de alnan önümleri (proizwodnylary) nola deňläp, aşakdaky deňleme alnar:

$$\frac{n}{\hat{\theta}} - \sum_{i=1}^n \chi_i = 0.$$

Bu ýerden θ parametriň $\hat{\theta}$ bahasy tapylar:

$$\hat{\theta} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \chi_i} \quad (4.19)$$

ýa-da

$$\hat{\theta} = \frac{1}{\bar{\chi}},$$

bu ýerde $\bar{\chi}$ – saýlap-seçip alynmagyň ortaça bahasy.

V. MATEMATIKI MODELLERİŇ REAL OBÝEKTLERE ADEKWATDYGYNYŇ KESGITLENİLİŞI

§5.1. Matematiki modelleriň adekwatdygynyň kriteriýalary

Kabul edilen çaklamalaryň çäginde obýektiň matematiki modeli şol obýektiň analogy bolýar. Şonuň üçin hem obýektde we modelde alynýan maglumatlar belli bir derejede biri-birinden tapawutlanýarlar. Bu ýerden modeliň obýekte ýakynlygyny, modeliň obýekte adekwatdygyny kesgitlemek meselesi ýüze çykýar. Modeliň adekwatdygyny barlamazdan öňürti modeliň obýekte laýyk gabat gelýändigini barada netije çykarar ýaly kriteriýalary işläp düzmeli. Olar, esasan, dispersiýalaýyn analize sezewar etmeklige we galyndylary analizlemeklige esaslanýar.

Modelleri dispersiýalaýyn analize sezewar etmek ölçeme ýalçyşlyklary aňladýan logarifmiki (\ln) ululyklar bilen galyndylaryň $E \cdot u^{(j)}(\vec{\theta}_j) = y \cdot u^{(j)} - F^{(j)}(\vec{\chi} \cdot u, \vec{\theta}_j)$ ululyklaryny deňeşdirmek üçin ulanylýar.

Şeýle deňeşdirme arkaly barlagçy modeliň umumy adekwatlygyny barlap, hem-de pes derejede az täsir edýän faktorlary modellerden aýyrmak arkaly ony sadalaşdyryp bilýär. Şonuň üçin hem kwadratlaryň aşakdaky jemleri hasaplanylýar:

$$SS(1) = \sum_{u=1}^N y \cdot u^2 \quad \text{we} \quad SS(2) = \sum_{u=1}^N \eta \cdot u^{(j)^2} = \sum_{u=1}^N F \cdot u^{(j)^2}. \quad (5.1)$$

Bu ululyklar degişlilikde eksperiment arkaly hem-de model boýunça alnan maglumatlaryň dagynyklygyny görkezýär. *Garyndylar* diýlip atlandyrylýan $E \cdot u^{(j)} = Y \cdot u - F^{(j)} \cdot u^{(j)}$ tapawutlar modeliň eksperimenti teswirläp bilmeýändiginiň ölçegidir. Egar-de barlanylýan (üstünden synag geçirilýän) model hakyky bolsa, onda galyndy eksperimental ölçegiň ýalňyşlygyna baha berýär. Şonuň üçin hem modeliň eksperimente laýyk gabat gelmeginiň umumy ölçegi bolan $SS(3)$ aşakdaky görnüşde ýazylyar:

$$SS(3) = \sum_{u=1}^N (y \cdot u - F \cdot u^{(j)})^2. \quad (5.2)$$

Statistika ylmynda $SS(1)$ ululyga *kwadratlaryň umumy jemi*; $SS(3)$ -e bolsa, *kwadratlaryň galyndylar jemi* diýilýär.

Agzalan jemler üçin aşakdaky deňlik adalatlydyr:

$$SS(1) = SS(2) + SS(3). \quad (5.3)$$

Eksperimentiň birmeňzeş şertlerinde ölçegleri gaýtadan geçirilende kwadratlaryň jemi — $SS(4) = \sum_{u=1}^N (y \cdot u - \bar{y})^2$ ölçegde goýberilýän ýalňyşlyklar barada

ähli zerur maglumatlary özünde saklaýar. Bu ýerde $\bar{y} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N y \cdot u$, onda $SS(3)$ we

$SS(4)$ ululyklaryň tapawudyna deň bolan $SS(5)$ ululyk modeliň eksperimental maglumatlary teswirläp biljekdiginiň ölçegidir:

$$SS(5) = \sum_{u=1}^N (y \cdot u - F \cdot u^{(j)})^2 - \sum_{u=1}^N (y \cdot u - \bar{y})^2, \quad (5.4)$$

ýagny $SS(5)$ ululyk modeliň adekwatlygyny görkezýär.

Modeliň adekwatdygy adekwatlyk dispersiýasynyň gaýtadan dikeldiş dispersiýasyna bolan gatnaşygynyň (F -statistikanyň) kömegi bilen tapylyp bilner. Eger-de bu gatnaşyk 1-den uly bolsa, onda modeliň eksperimentiň netijesine adekwat dälidiğini görkezýär.

Modeliň adekwatdygyny anyklamak Fişeriň, χ^2 , ortaça ω^2 , Bartletiň, Kosmogorowyň hem-de Smirnowyň we beýlekileriň kriteriýalarynyň kömegi arkaly amala aşyrylyp bilner.

§5.2. Bir jogap-seslenilmeli adewatdygyna Fişeriň kriteriýasy arkaly baha berlişi

Modelleriň bu görnüşiniň degişli obýetlere adekwatdygy Fişeriň kriteriýasy (F -kriteriýa) arkaly barlanylyp bilner. Munuň üçin aşakdaky gatnaşyk ýapylýar:

$$F = \frac{s_{ad}^2}{s_{g.dik}^2}, \quad (5.5)$$

bu ýerde $s_{g.dik}^2$ – gaýtadan dikeldiş dispersiýasy; s_{ad}^2 – adekwatlyk dispersiýasy

$$s_{ad}^2 = \frac{m \cdot \sum_{i=1} (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{N - l}. \quad (5.6)$$

Eger-de (5.6) gatnaşyk $F_p(f_1, f_2)$ tablisa bahasyndan kiçi bolsa, deňleme adekwat bolýar.

$s_{g.dik}^2$ we s_{ad}^2 şeýle kesgitlenilýärler:

$$s_{ad}^2 = \frac{SS(5)}{F_{ad}} = \frac{SS(3) - SS(4)}{F_{ad}}, \quad (5.7)$$

$$s_{g.dik}^2 = \frac{SS(4)}{F_{g.dik}}. \quad (5.8)$$

Adekwatlyk dispersiýasynyň erkinlik derejesiniň sany N aşakdaky formula boýunça hasaplanylýar:

$$F_{ad} = N - p_j, \quad (5.9)$$

bu ýerde p_j – baha berilýän parametrleriň sany.

Dikeldiş dispersiýasynyň erkinlik derejesi N sany parallel eksperiment geçirilende aşakdaky formulanyň üsti bilen hasaplanylýar:

$$F_{g.dik} = N - 1. \quad (5.10)$$

Eger-de $F = \frac{s_{ad}^2}{s_{g.dik}^2}$ ululyk p manylylyk derejesinde Fişeriň kriteriýasynyň tablisa boýunça berlen bahasy $F_p(f_1, f_2)$ -den kiçi bolsa, onda s_{ad}^2 we $s_{g.dik}^2$ dispersiýalar biri-birlerinden juda az tapawutlanýarlar we model obýekte adekwat bolýar. Bu ýerde $f_1 = F_{ad}$; $f_2 = F_{g.dik}$ – erkinlik derejeleri.

Eger-de saýlanyp-seçilip alnan manylylyk p we erkinlik f derejeleriniň sanlary üçin t_j tablisa boýunça alnan $t_p(f)$ ululykdan uly bolsa, onda b_j koeffisiýent noldan manylylykly tapawutlanýar; (6.13) deňleme üçin s_{b_j} -ini ýalňyşlyklaryň toplanma kanuny boýunça kesgitlese bolýar:

$$s_{b_j} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial b_j}{\partial y_i} \right)^2 \cdot s_i^2}. \quad (5.11)$$

Eger-de $s_1^2 = s_2^2 = \dots = s_N^2 = s_{g.dik}^2$ bolsa, onda alarys:

$$s_{b_0} = \sqrt{\frac{s_{g.dik}^2 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}} \quad (5.12)$$

$$s_{b_0} = \sqrt{\frac{s_{g.dik}^2 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}} \quad (5.13)$$

Manylylygy bolmadyk koeffisiýentler regressiýa deňlemesinden aýrylýarlar. Galan galyndy koeffisiýentler täzeden hasaplanylýar, sebäbi koeffisiýentler özara korrelirolenen bolýarlar. Deňlemäniň adekwatlygy Fişeriň kriteriýasy (5.5) boýunça barlanylýar:

$$F = \frac{s_{galyndy}^2}{s_{g.dik}^2}. \quad (5.14)$$

bu ýerde $s_{g.dik}^2$ – gaýtadan dikeldiş dispersiýasy; $s_{galyndy}^2$ – galyndy dispersiýa

$$s_{galyndy}^2 = \frac{m \cdot \sum_{i=1} (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{N - l} \quad (5.15)$$

we l – regressiýa deňlemesindeki koeffisiýentleriň sany.

Eger-de (5.12) gatnaşyk $F_p(f_1, f_2)$ tablisa bahasyndan kiçi bolsa, deňleme adekwat bolýar.

§5.3. Modeliň adekwatdygyna ortaça baha görä baha berlişi

Parallel tejribeleriň hem-de dispersiýanyň ýok halatynda approksimasiýanyň (modeliň) hiline s_{galyndy}^2 -ny we dispersiýany ortaça s_y^2 görä deňşdirip, kabul edilen deňlemeler boýunça baha berip bolýar:

$$s_y^2 = s_{\text{ortaça}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N-1} \quad \text{we} \quad s_{\text{galyndy}}^2 = s_{\text{ad}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N-l}, \quad (5.16)$$

bu ýerde $\bar{y} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n y_i$. Munuň üçin Fişeriň kriteriýasy ulanylýar hem-de aşakdaky gatnaşyk düzülýär:

$$F = \frac{s_y^2}{s_{\text{galyndy}}^2} = \frac{s_{\text{ortaça}}^2(f_1)}{s_{\text{ad}}^2(f_2)}. \quad (5.17)$$

Bu gatnaşyk — Fişeriň kriteriýasy model boýunça alynýan netijä (alnan regressiýa deňlemesine) görä pytraňnylygynyň öwrenilýän y ululygynyň ortaça bahasyna görä pytraňnylygynda näçe esse azalýandygyny görkezýär. Saýlanyp alnan p manylylyk derejesi we erkinlik $f_1 = N - 1$ we $f_2 = N - l$ derejeleriniň sany üçin F -iň bahasy tablisa $F_{p \text{ tabl}}(f_1, f_2)$ bahasyndan näçe köp geçýän bolsa, şonça-da regressiýa deňlemesi netijeli bolýar.

Eger-de

$$\frac{s_{\text{ortaça}}^2}{s_{\text{ad}}^2} < F_{p \text{ tabl}}(F_{\text{ortaça}}, F_{\text{ad}}) \quad (5.18)$$

şert ýerine ýetirilýän bolsa, onda dispersiýalar biri-birlerinden ujypsyz tapawutlanýarlar, şonuň üçin hem s_{ad}^2 we $s_{\text{g.dik}}^2$ dispersiýalaryň şol bir general (baş) jeme degişlidigi adalatlydyr. Şeýlelikde, modeli ulanmak maksada laýyk däl, sebäbi onuň ortaça ululyk bilen deň çaklaýjy (prognozirleýji) ukyby bardyr we model hökmünde ortaça ululyk ulanylanda has sada görnüşe eýe bolup, modelden peýdalanmagyň zerurlygy aradan aýrylýar.

Tersine, eger-de

$$\frac{s_{\text{ortaça}}^2}{s_{\text{ad}}^2} > F_{p \text{ tabl}}(F_{\text{ortaça}}, F_{\text{ad}}) \quad (5.19)$$

şert ýerine ýetirilýän bolsa, onda s_{ad}^2 we $s_{\text{g.dik}}^2$ dispersiýalaryň biri-birlerinden tapawudy has köp bolýar. Model hökmünde ortaäa bahany ulanmaklyk asla mümkin däl we barlanylýan modeli ulanmaklyk maksada laýyk gelýär.

Seredilip geçilen barlaga, köplenç, *modeli ulanmagyň maksada laýykdygyny barlamak* diýilýär.

§5.4. Liniýalaýyn däl baglanyşygyň daryşganlygyny baha berlişi

Eger-de regressiýa deňlemesi ýeterlik takyklyk bilen tapyldy diýlip hasap edilse, onda galyndy dispersiýa diňe gaýtadan dikeldiliş dispersiýasynyň barlygy bilen şertlendirilýär, ýagny

$$s_{\text{galyndy}}^2 \approx s_{\text{g.dik}}^2.$$

Umumy s_y^2 dispersiýada $s_{\text{galyndy}}^2 \approx s_{\text{g.dik}}^2$ -ň paýy näçe az boldugyça, x -ň we y -ň arasyndaky baglanyşyk güýçli bolýar, çünki bu baglanyşygyň tötänlilik paýy şonça az bolýar. Şonuň üçin hem baglanyşygyň güýjüni aşakdaky ululyk arkaly häsiýetlendirilse bolar:

$$\xi = \frac{(N-1) \cdot s_{\text{galyndy}}^2}{(N-1) \cdot s_y^2}. \quad (5.20)$$

Baglanyşyk ξ ululyk näçe kiçi boldugyça, şonça-da güýçli bolýar.

$$\sqrt{1-\xi} = \theta \quad (5.21)$$

ululyk θ korrelýasiýa gatnaşygy diýilýär. θ ululyk näçe uly bolsa,

$$0 \leq \theta \leq 1 \quad (5.22)$$

baglanyşyk şonçada güýçli bolýar.

Eger-de $\theta = 1$ bolsa, onda parametrleriň arasynda funksiýalaýyn baglanyşyk bolýar. Ýöne $\theta = 0$ bolanda y we x ululyklary garaşsyz diýip hasap etmek bolmaýar, çünki olaryň arasyndaky baglanyşyk dispersiýalara täsir etmezden, has ýokary tertiplerdäki momentlerde özlerini görkezip bilerler. Diňe normal paýlanyşda korrelýasiýa gatnaşygynyň nola deň bolmagy tötänleýin ululyklaryň arasynda baglanyşygyň ýokdugyna açyk şaýatlyk edýär. Korrelýasiýa gatnaşygy, liniýalaýyn regressiýadaky korrelýasiýa koeffisiýenti ýaly tötänleýin ululyklaryň arasyndaky baglanyşygyň daryşganlygyny häsiýetlendirýär. Aslynda aýdylanda, baglanyşygyň θ boýunça güýjüniň analizine korrelýasiýa analizi diýilýär.

Liniýalaýyn regressiýa üçin korrelýasiýalaýyn gatnaşyk korrelýasiýa koeffisiýentine deňdir:

$$\theta = \sqrt{1 - \frac{N-2}{N-1} \cdot \frac{s_{\text{galyndy}}^2}{s_y^2}} = r^*.$$

§5.5. Modeliň adekwatdygynyň Pirsonyň (x^2) kriteriýasy boýunça kesgitlenilişi

Modeliň adekwatdygyny we statistiki gipotezalary (çaklamalary) barlamak üçin Pirsonyň x^2 kriteriýasyndan peýdalanylýar (x^2 kriteriýa ulanylýar).

x^2 kriteriýany ulanmak üçin tötänleýin ululygyň üýtgeýän diapazony k sany interwala bölünýär. Interwalyň sanyny saýlap-seçip almagyň göwrümi n -e baglylykda 8-den 20-ä çenli we her bir interwala 5 ÷ 8 nokat düşer ýaly edip

alynýar. Saýlap-seçip almagyň i -nji interwala düşen elementleriniň sany n_i bilen belgilenýär. Tötänligiň x ululygynyň i -nji interwala dişmeginiň teoretiki (nazary) ähtimallygy p_i -e deňdir. Onda saýlap-seçip alma paýlaýyşynyň teoretiki (nazary) paýlaýyşdan gyşarmasyny häsiýetlendirýän ululyk aşakdaky ýaly tapylýar:

$$x^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}. \quad (5.20)$$

Kabul edilen paýlaýyş kanuny baradaky gipoteza (çaklama), berlen P manylylyk derejesinde kabul edilýär. Eger-de

$$x^2 < x_{1-p}^2(F) \quad (5.21)$$

şert ýerine ýetýän bolsa, onda matematiki model öwrenilýän obýekte adekwatdyr.

§5.6. Matematiki modelleriň korreksiýasy*

Matematiki model işlenilip düzülende, käbir parametrleriň alyp (eýeläp) biljek bahalarynyň ýakynlaşan bahalarynyň alynýandygy sebäpli, ony korreksiýa etmek meselesi ýüze çykýar. Elbetde, bu meseläni çözmek diňe bar bolan proses modelleşdirilende mümkin bolýar. Matematiki modeli korreksiýa etmek üçin modelleşdirilýän obýektiň tabyn bolýan esasy fiziki-himiki kanunalaýyklyklaryny uly bolmadyk masştabda dikeldýän fiziki modeller hem ulanylyp bilner. Eger-de şeýle ýagdaýda matematiki model masştablary boýunça tapawutlanýan fiziki modelleriň, meselem, tejribehana (laboratoriýa) hem-de ýarym önümçilik desgalarynyň häsiýetlerini kanagatlandyryň bolsa, onda şeýle strukturaly model önümçilik obýektleriniň hem esasy häsiýetlerini kanagatlandyryp biler. Prosesiň özünde ýa-da fiziki modelde geçirilýän ölçegler netijesinde matematiki modeliň korreksiýasyny geçirmek üçin onuň adekwatdygyna san taýdan baha berilmeli.

Matematiki modeliň adekwatdygynyň san ölçegi bolup, aşakdaky funksiýa hyzmat edýär:

$$\Phi = \sum_{i=1}^m a_i \cdot (y_{i \text{ hasap}} - y_{i \text{ eksp}})^2, \quad (5.22)$$

bu ýerde a_i – agram koeffisiýentleri; $y_{i \text{ hasap}}$ – üýtgeýän ululyklaryň modelde tapylan bahasy; $y_{i \text{ eksp}}$ – üýtgeýän ululyklaryň eksperiment boýunça tapylan bahasy.

Agram koeffisiýentlerini ol ýa-da beýleki üýtgeýän ululyklaryň ähmiýeti boýunça hem alnyp bilner. Φ funksiýany modeliň n sany parametrleriniň funksiýasy hökmünde seretse bolar. Modeli korreksiýa etmek meselesi aşakdaky tertipde goýulýar: faktorlaryň mümkin bolan oblastynda (ýaýlasynda) n sany parametrleriň Φ funksiýanyň iň kiçi baha alar ýaly toplumyny tapmaly. Φ funksiýanyň minimumyny tapmak köp üýtgeýän ululyk funksiýasynyň ekstremumyny tapmak üçin niýetlenilýär. Ony usullaryň haýsy-da bolsa birini

* Korreksiýa sözi «düzediş girizmek» diýen manyny berýär.

ulanyp tapsa bolýar. Φ funksiýanyň tapylan minimum bahasy matematiki modeliň kabul edilen strukturasynyň korrektliginiň (dofrudygynyň) ölçegi bolup durýar.

§5.7. Matematiki modeliň ulanylyşy

Matematiki modeliň adekwatdygy anyklanandan soňra, ol amal programma görnüşinde ulanyşa goýberilýär we iki görnüşde: aýratynlykda hem-de beýleki programmalar bilen bilelikde ulanylmagy mümkin. Matematiki modeliň beýleki programmalar bilen bilelikde ulanylmagy häzirki zaman EHM-laryna mahsusdyr, ýöne nähili ulanylýandygyna garamazdan, amaly programmalar kesgitli talaplara görä ýazylýar, ýagny ony aýratyn ýa-da sistemanyň düzüminde saklanarlykly şertleri kanagatlandyrrar ýaly edip düzülýär.

Matematiki model programma görnüşinde EHM-ynda amala aşyrylandan soňra, modeliň niýetlenip döredilen maksadyna görä ulanylýar, ýagny matematiki model, esasan, üç maksat:

- 1) prosesleri we ulgamlary (sistemalary) taslamak;
- 2) hereket edýän prosesleri barlamak hem-de optimizasiýalaşdyrmak;
- 3) tehnologiki prosesleri dolandyrmak üçin (TPDAU-da — tehnologiki prosesleri awtomatiki dolandyryş ulgamynda) ulanylýar.

VI. PASSIW EKSPERIMENTIŇ ESASYNDA MATEMATIKI MODELLERIŇ DÜZÜLIŞI

§6.1. Eksperimental-statistiki usullar arkaly matematiki modelleriň düzülişi

Öwrenilýän obýekt barada ýeterlik maglumat bolmadyk halatlarynda ýa-da proses juda çylşyrymly bolup, onuň determinirlenen modelini düzüp bolmaýan ýagdaýlarynda eksperimental-statistiki usullary ulanyp, matematiki model düzülýär. Bu usulda prosese «gara gapyrjak» hökmünde garalýar. Modeli düzmek üçin bolsa, passiw hem-de aktiw eksperimentler geçirilýär.

Passiw eksperimentde her bir üýtgeýän ululyk gezeleşdirilip üýtgedilip, köp sanly tejribeler geçirilýär. Önümçilik obýektiniň kadaly işlän döwründe ilkinji statistiki maglumatlary toplamak hem passiw eksperimente degişlidir. Şunlukda, matematiki modeli almak üçin maglumatlary işlemeklik *regressiýa we korrelýasiýa analizleriniň usullary* arkaly amala aşyrylýar.

Aktiw eksperiment öňünden düzülen meýilnama (eksperimenti meýilleşdirmе) boýunça geçirilýär, şunlukda prosese täsir edýän ähli parametrleriň bir wagtda üýtgedilmegi göz önünde tutulýar. Bu bolsa parametrleriň özara täsiriniň güýjüni anyklamaga we şonuň esasynda geçirilmeli tejribeleriň umumy sanyny azaltmaga mümkinçilik berýär.

Tejribe maglumatlaryny işlemekde regressiýa we korrelýasiýa analizleriniň prinsiplerini ulanylmagy üýtgeýän ululyklaryň hem-de optimumyň (iň oňaly we amatly) şertleriniň arasyndaky baglanyşygy tapmaga mümkinçilik berýär. Bu iki ýagdaýda-da eksperimentatoryň tejbelerini geçirende üýtgeýän ululyklary warirlemegi (üýtgedip almagy) arkaly alan netijelerini häsiýetlendirýän optimizasiýanyň parametrlerini baglanyşdyrýan jogap-seslenilme (отклик) funksiýasy matematiki model bolup hyzmat edýär:

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k). \quad (6.1)$$

Garaşsyz üýtgeýän x_1, x_2, \dots, x_k ululyklara — faktorlar; x_1, x_2, \dots, x_k koordinataly koordinata giňişligine — faktor giňişligi; faktor giňişligindäki jogap-seslenilme funksiýasynyň geometriki şekillendirilişine bolsa, jogap-seslenilme üsti diýip atlandyrmak kabul edildi.

Statistiki usullar ulanylanda prosesiň statikasynyň matematiki modeli näbelli (6.1) baglanygyň dargadylmagynyň netijesinde alynýan polinom (Teýloryň hatarynyň kesimi) görnüşinde teswirlenilýär:

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \cdot x_j + \sum_{\substack{u, j=1 \\ u \neq j}}^k \beta_{uj} \cdot x_u \cdot x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} \cdot x_j^2 + \dots \quad (6.2)$$

Bu ýerde

$$\beta_j = \frac{\partial \varphi}{\partial x_j} \Big|_{x=0} \quad \beta_{uk} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_u \cdot \partial x_j} \Big|_{x=0} \quad \beta_{jj} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_j^2} \Big|_{x=0}.$$

Real proseslerde hemişe dolandyryp we gözegçilik edip bolmaýan ululyklaryň bardygy sebäpli, eksperimentiň netijesi tötänleýin ululykdur. Şonuň üçin hem eksperimental maglumatlar gaýtadan işlenende teoretiki $\beta_0, \beta_j, \dots, \beta_{uj}, \beta_{jj}$ koeffisiýentleriň bahalary bolup hyzmat edýän $b_0, b_j, \dots, b_{uj}, b_{jj}$ regressiýanyň saýlap-seçip alynma koeffisiýentleri diýlip atlandyrylýan koeffisiýentler alynýar. Eksperimentiň netijesinde alnan regressiýa deňlemesi aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j \cdot x_j + \sum_{\substack{u, j=1 \\ u \neq j}}^k b_{uj} \cdot x_u \cdot x_j + \sum_{j=1}^k b_{jj} \cdot x_j^2 + \dots, \quad (6.3)$$

Koeffisiýent b_0 — regressiýa deňlemesiniň erkin agzasy; b_j koeffisiýente — liniýalaýyn efektler, b_{uj} koeffisiýente — kwadratlaýyn efektler, b_{jj} koeffisiýente bolsa, — özara täsirleşme efektleri diýilýär.

(6.3) deňlemäniň koeffisiýentleri

$$\Phi = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 = \min \quad (6.4)$$

şertden iň kiçi kwadratlar usuly arkaly kesgitlenilýärler. Bu ýerde N – saýlanylyp-seçilmäniň göwrümi. Saýlanylyp-seçilmäniň N göwrümi bilen şol saýlanylyp-seçilmä goýlan baglanyşyklaryň l sanynyň tapawudyna saýlanylyp-seçilmäniň erkinliginiň derejesiniň f diýilýär. Eger-de regressiýanyň deňlemesinde l sany koeffisiýent bar bolsa, onda

$$f = N - l. \quad (6.4)$$

Regressiýa deňlemesi gözlenende baglanyşyklaryň sany kesgitlenilýän koeffisiýentleriň sanyna deňdir.

1-nji tablisada garaşsyz faktorlaryň (üýtgeýän garaşsyz ululyklaryň) sany 2-den 5-e çenli bolandaky ýagdaý üçin, dürli derejedäki polinomlary almak üçin tapylmaly koeffisiýentleriň sany getirildi.

Tablisadan kesgitlenilmeli koeffisiýentleriň sanynyň hem faktorlaryň sanynyň hem-depolinomyň tertibiniň artmagy bilen çalt ulalýandygy görünýär.

1-nji tablisa

Faktorlaryň sany	Deňlemeleriň derejeleri			
	1-nji derejeli	2-nji derejeli	3-nji derejeli	4-nji derejeli
2	3	6	10	15
3	4	10	20	35
4	5	15	35	70
5	6	21	56	120

Regressiýanyň deňlemesiniň görnüşi eksperimentiň üsti bilen saýlanylyp alynýar.

§6.2. Regressiýa we korrelýasiýa analizleriniň usullary

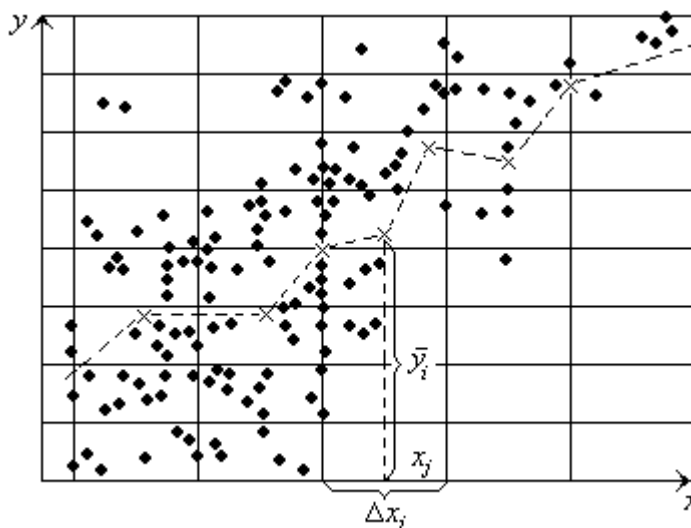
Regressiýa deňlemesiniň görnüşini kesgitlemek üçin y -iň bir faktora baglylygy öwrenilende regressiýanyň empiriki göni çyzygyny (liniýasyny) gurmak peýdalydyr. Munuň üçin x -iň korrelýasiýa meýdanyna Δx (11-nji surat) ähli üýtgeме diapazony özara deň Δx interwallara bölünýär. Berlen interwala düşen ähli nokatlar onuň x_j ortasyna degişli edilýär. Munuň üçin her bir interwal üçin hususy ortaça \bar{y}_j -lar hasaplanylýar:

$$\bar{y}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} y_{ji}}{n_j} \quad (6.5)$$

Bu ýerde n_j – Δx interwaldaky nokatlaryň sany, üstesine-de

$$\sum_{j=1}^k n_j = N, \quad (6.6)$$

bu ýerde k – bölünmede emele gelen interwallaryň sany; N – saýlanylyp-seçilmäniň göwrümi.



11-nji surat. Korrelýasiýa meýdany

Soňra (x_j, \bar{y}_j) nokatlar göni çyzykly kesimler bilen yzygider birikdirilýär. Emele gelen döwür çyzyga y -iň x boýunça regressiýasynyň empiriki liniýasy diýilýär. Regressiýanyň empiriki liniýasy boýunça regressiýanyň $\bar{y}_j = f(x)$ deňlemesini seçip almak bolýar.

Iş ýüzünde regressiýanyň deňlemesiniň parametrlerini kesgitlemek meselesi üýtgeýän ululyklaryň köpüsiniň minimumyny kesgitlemeklige syrykdyrylýar.

Korrelýasiýalaýyn baglanyşyk öwrenilende baglanyşygyň formasyny häsiýetlendirmek (teswirlemek) üçin ýakynlaşýan regressiýanyň deňlemesi ulanylýar. Meselem, göwrümi N -e deň bolan, berlen saýlap-seçilme boýunça regressiýanyň deňlemesini tapmaly we goýberilen ýalňyşa baha bermeli.

Bu mesele regressiýa we korrelýasiýa analizleriniň usullarynyň kömegi bilen çözülýär. Ýakynlaşan regressiýanyň deňlemesi saýlanylyp alnan ýakynlaşma usulyna baglydyr. Şeýle usul hökmünde adaty iň kiçi kwadratlar usuly alynýar.

Goý, saýlap-seçilen birmeňzeş l sany baglanyşyklary goýýan käbir $f(x)$ funksiýalaryň klasy berlen bolsun. Baglanyşyklaryň sany l bu funksiýanyň analitiki aňlatmasyna degişli näbelli koeffisiýentleriň sanyna deňdir. Köplenç dürli derejeli deňlemeler ulanylýar.

Ýakynlaşan regressiýanyň iň gowy deňlemesini seredilýän klasdan aşakdaky kwadratларыnyň jemi iň kiçi baha eýe bolan

$$\Phi = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i)]^2 \quad (6.7)$$

funksiýa berýär.

Iň kiçi kwadratlar usuly boýunça regressiýanyň deňlemesiniň koeffisiýentlerini tapmak meselesi üýtgeýän köp ululykly funksiýanyň minimumyny tapmaklyga getirýär. Eger-de

$$\hat{y} = f(x, b_0, b_1, \dots, b_k) \quad (6.8)$$

funksiýa differensirlenýän bolsa, hem-de

$$\Phi = \sum_{i=1}^N [y_i - f(x_i, b_0, b_1, \dots, b_k)]^2 = \min \quad (6.9)$$

bolar ýaly, näbelli b_0, b_1, \dots, b_k koeffisiýentleriň saýlanyp-seçilip alynmagy talap edilýän bolsa, onda $\Phi(b_0, b_1, \dots, b_k)$ funksiýanyň minimumynyň zerur şerti

$$\frac{\partial \Phi}{\partial b_0} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial b_1} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial b_2} = 0, \quad \dots, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial b_k} = 0 \quad (6.10)$$

deňligiň ýa-da

$$\left. \begin{aligned} 2 \cdot \sum_{i=1}^N [y_i - f(x_i, b_0, b_1, \dots, b_k)] \cdot \frac{\partial \Phi(x_i)}{\partial b_0} &= 0 \\ 2 \cdot \sum_{i=1}^N [y_i - f(x_i, b_0, b_1, \dots, b_k)] \cdot \frac{\partial \Phi(x_i)}{\partial b_1} &= 0 \\ &\dots \\ 2 \cdot \sum_{i=1}^N [y_i - f(x_i, b_0, b_1, \dots, b_k)] \cdot \frac{\partial \Phi(x_i)}{\partial b_k} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6.11)$$

deňlemeler ulgamynyň ýerine ýetirilmegi bolup durýar.

Özgermeler geçirip alarys:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^N y_i \cdot \frac{\partial f(x_i)}{\partial b_0} - \sum_{i=1}^N f(x_i, b_0, b_1, \dots, b_k) \cdot \frac{\partial f(x_i)}{\partial b_0} &= 0 \\ \sum_{i=1}^N y_i \cdot \frac{\partial f(x_i)}{\partial b_1} - \sum_{i=1}^N f(x_i, b_0, b_1, \dots, b_k) \cdot \frac{\partial f(x_i)}{\partial b_1} &= 0 \\ &\dots \\ \sum_{i=1}^N y_i \cdot \frac{\partial f(x_i)}{\partial b_k} - \sum_{i=1}^N f(x_i, b_0, b_1, \dots, b_k) \cdot \frac{\partial f(x_i)}{\partial b_k} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6.12)$$

(6.12) deňlemeler sistemasy näçe näbelli $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ koeffisiýentleriň sanyna deň deňlemeleri özünde saklaýar we matematiki statistikada normal (kadaly) deňlemeleriň ulgamyny (sistemasy) diýilýär.

$\Phi \geq 0$ bolýanlygy sebäpli, näbelli $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ koeffisiýentleriň islendik sanynda Φ ululygynyň iň bolmanda bir minimumy bolmaly. Şonuň üçin hem, eger-de normal deňlemeler ulgamynyň ýyky-täk çözügi bar bolsa, onda şol hem Φ ululyk üçin minimum bolup durýar. (6.12) deňlemeler ulgamyny umumy görnüşde çözmek bolmaýar. Munuň üçin f funksiýanyň anyk kesgitli görnüşi berilmelidir.

§6.3. Bir parametrden liniýalaýyn (çyzykly) regressiýa

Goý, x_i we y_i eksperimental maglumatlar berlip, iň kiçi kwadratlar usulyny ulanyp, liniýalaýyn regressiýanyň

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_i \quad (6.13)$$

deňlemesiniň b_0 we b_1 koeffisiýentlerini N saýlanylyp-seçilmäniň göwrüm boýunça tapylmagy talap edilýän bolsun. Normal deňlemeleriň ulgamy (sistemasy) aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$\sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n (b_0 + b_1 \cdot x_i) = 0; \quad \sum_{i=1}^n y_i \cdot x_i - \sum_{i=1}^n (b_0 + b_1 \cdot x_i) \cdot x_i = 0$$

ýa-da

$$N \cdot b_0 + b_1 \cdot \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N y_i; \quad b_0 \cdot \sum_{i=1}^N x_i + b_1 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 = \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i \quad (6.14)$$

Bu deňlemeler sistemasyny takyklaýjylaryň kömegi bilen b_0 we b_1 koeffisiýentleri aňsat taparys:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}; \quad (6.15)$$

$$b_1 = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N y_i}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}. \quad (6.16)$$

Näbelli b_0 koeffisiýenti deňlemeler sistemasynyň (6.14) deňlemesinden belli b_1 koeffisiýentiň üsti bilen tapmak aňsat bolýar:

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \cdot \bar{x}, \quad (6.17)$$

bu ýerde \bar{x}, \bar{y} – üýtgeýän x we y ululyklaryň ortaça bahalary.

Soňky deňlik b_0 we b_1 koeffisiýentleriň arasynda korrelýasiýalaýyn baglanyşygyň bardygyny görkezýär.

Liniýalaýyn baglanyşygyň güýjüne baha bermek üçin korrelýasiýanyň saýlap-seçme r^* koeffisiýenti hasaplanylýar:

$$r^* = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{(N-1) \cdot s_x \cdot s_y}, \quad (6.18)$$

bu ýerde s_x we s_y – saýlap-seçilme ortaça kwadratiki gyşarmalar.

(6.16) we (6.18) deňlemelerden alarys:

$$r^* = \frac{b_0 \cdot s_x}{s_y} = \frac{\sqrt{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}}{\sqrt{N \cdot \sum_{i=1}^N y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N y_i\right)^2}} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (6.19)$$

§6.4. Parabolik regressiýa

Eger-de eksperimental maglumatlary liniýalaýyn (göni çyzykly) regressiýa adekwat teswirlemeýän bolsa, ýagny regressiýanyň deňlemesi käbir derejedäki polinom bolsa, onda iň kiçi kwadratlar usuly ulanylanda bu polinomyň koeffisiýentleri liniýalaýyn deňlemeleriň ulgamyny çözmek arkaly tapylýar — ol maglumatlary ikinji tertipli polinomyň kömegi bilen teswirlemäge çalşylýar. Meselem, goý, iň kiçi kwadratlar usuly boýunça kwadratlaýyn

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 \quad (6.20)$$

funksiýanyň — ikinji tertipli parabolanyň koeffisiýentlerini tapmak talap edilsin.

Bu ýagdaýda

$$\frac{\partial f(x)}{\partial b_0} = 1, \quad \frac{\partial f(x)}{\partial b_1} = x, \quad \frac{\partial f(x)}{\partial b_2} = x^2$$

we normal deňlemeler aşakdaky görnüşe eýe bolarlar:

$$\begin{cases} b_0 \cdot N + b_1 \cdot \sum_{i=1}^N x_i + b_2 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 = \sum_{i=1}^N y_i \\ b_0 \cdot \sum_{i=1}^N x_i + b_1 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 + b_2 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^3 = \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i \\ b_0 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 + b_1 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^3 + b_2 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^4 = \sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot y_i \end{cases} \quad (6.21)$$

Strukturasy boýunça ýokarky deňlemelere analogiki meňzeş deňlemeler sistemasy bilen k -nji (islendik) tertipli parabolanyň

$$y = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_k \cdot x_k \quad (6.22)$$

koeffisiyentleri tapylyp bilner. Bu ýagdaýda normal deňlemeler aşakdaky görnüşe eýe bolarlar:

$$\begin{cases} b_0 \cdot N + b_1 \cdot \sum_{i=1}^N x_i + \dots + b_k \cdot \sum_{i=1}^N x_i^k = \sum_{i=1}^N y_i \\ b_0 \cdot \sum_{i=1}^N x_i + b_1 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 + \dots + b_k \cdot \sum_{i=1}^N x_i^3 = \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i \\ \dots \\ b_0 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^k + b_1 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^{k+1} + \dots + b_k \cdot \sum_{i=1}^N x_i^{2k} = \sum_{i=1}^N x_i^k \cdot y_i \end{cases} \quad (6.23)$$

Parabolanyň koeffisiyentleri (6.20) ýa-da (6.22) deňlemeler sistemasyny Gaussyň, Gauss-Zeýdeliň, Gauss-Žordananyň, Krameriniň we beýlekileriň usullarynyň kömegi bilen çözülip tapylýar.

§6.5. Transendent regressiýa

Kiçi göwrümlü saýlap-seçip alynmalarda polinomyň derejesiniň ýokarlanmagy galyndy dispersiýanyň ulalmagyna getirmegi mümkin. Kesgitlenilmedik koeffisiyentleriň sanyny azaltmak üçin *t r a n s e n d e n t r e g r e s s i ý a* ulanylýar. Liniýalaýyn däl deňlemeler sistemasyny çözmegiň zerurdygy sebäpli, transendent regressiýanyň koeffisiyentlerini tapmak juda çylşyrymly we kân hasaplamalary talap etmegi mümkin. Eger-de üýtgeýän ululyklar beýleki, meselem, görkezijili we drob-derejeli

$$\hat{y} = b_0 \cdot b_1^x ; \quad (6.24)$$

$$\hat{y} = b_0 \cdot x^{b_1} \quad (6.25)$$

baglanyşyklara çalşylsa, onda hasaplamalar ýeňilleşýär.

Logarifmirlemek arkaly ýokarky baglanyşyklar liniýalaýyn görnüşe getirilýär (linearlenýär):

$$\lg \hat{y} = \lg b_0 + x \cdot \lg b_1 ; \quad (6.26)$$

$$\lg \hat{y} = \lg b_0 + b_1 \cdot \lg x \quad (6.27)$$

$z = \lg \hat{y}$, $a_0 = \lg b_0$ we $a_1 = \lg b_1$, $t = \lg x$ diýlip berilýän täze ululyklara görä liniýalaýyn regressiýalary alarys:

$$\hat{z} = a_0 + a_1 \cdot x, \quad \hat{z} = a_0 + a_1 \cdot t.$$

Liniýalaýyn regressiýanyň a_0 , b_1 we a_1 koeffisiyentleri iň kiçi kwadratlar usuly arkaly (6.13) we (6.14) formulalaryň üsti bilen tapylýar. Soňra tapylan a_0 we a_1 koeffisiyentler boýunça b_0 we b_1 koeffisiyentler tapylýar.

Konkret mysala seredip geçeliň. Himiki reaksiýanyň tizliginiň konstantasynyň temperatura baglylygy Arreniusyň kanunyna tabyn bolýar:

$$k = k_0 \cdot e^{\frac{E}{R \cdot T}}. \quad (6.28)$$

Himiki reaksiýanyň k tizliginiň T temperatura baglylygy tejribe üsti bilen tapylan. Eksperimental maaglumatlar boýunça (6.26) deňlikdäki k_0 we $-\frac{E}{R}$ ululyklary tapmaklyk kabul edilýär.

Bu deňligi logarifmirläp alarys:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E}{R \cdot T}. \quad (6.29)$$

Täze üýtgeýän ululyklary girizýäris:

$$b_1 = \ln k_0; \quad b_1 = -\frac{E}{R}; \quad x = \frac{1}{T}; \quad \hat{y} = \ln k.$$

Netijede liniýalaýyn regressiýanyň deňlemesini alarys:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x. \quad (6.30)$$

§6.6. Kohreniň, Stýudentiň we Fişeriň kriteriýalary

Regressiýanyň deňlemesi tapylandan soňra netijeleriň statistiki analizini geçirmeklik zerurlygy ýüze çykýar. Bu analiz gaýtadan dikeldilme ýalňyşlygy bilen deňeşdirip, regressiýanyň ähli koeffisiýentleriň manylydygyny barlamakdan we deňlemäniň adekwatlygyny anyklamakdan ybaratdyr. Şeýle barlaga regressiýalaýyn analiz diýilýär.

Regressiýalaýyn analizi geçirmek üçin aşakdaky şertleri kabul edeliň:

1. Giriş x parametri juda ujypsyz kiçi ýalňyşlyk bilen ölçenilmeli. Çykyş y parametrini kesgitlemekde ýüze çykýan ýalçyşlyk regressiýanyň deňlemesine girmedik prosesde anyklanyp ýüze çykarylmanyk üýtgeýän ululyklaryň we tötänleýin täsirleriň bolmagy bilen düşündirilýär.

2. Çykyş y_1, y_2, \dots, y_n ululyklarynyň üstünde geçirilen barlaglaryň netijeleri garaşsyz normal paýlanan tötänleýin ululyklardyr.

3. Her bir tejribesini m gezek gaýtalamak şerti bilen saýlanylyp-seçilme N göwrümlü eksperiment geçirilende $s_1^2, s_2^2, \dots, s_n^2$ dispersiýalar birjynsly bolmalydyr.

Parallel tejribeleriň sanynyň bir deň bolmagynda dispersiýalaryň birjynslylygynyň barlagy aşakdakylara syrykdyrylýar:

1. Parallel tejribeleriň netijelerinden saýlanyp ortaça bahasy kesgittenilýär:

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{i=1}^m y_{iu}}{m}, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (6.31)$$

2. Saýlanyp-seçilme dispersiýalary tapylýar:

$$s_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_{iu} - \bar{y}_i)^2}{m-1}, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (6.32)$$

3. Dispersiýalaryň jemi anyklanylýar:

$$\sum_{i=1}^N s_i^2. \quad (6.33)$$

4. Gatnaşyk

$$G_{\max} = \frac{s_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N s_i^2}, \quad (6.34)$$

düzülýär. Bu ýerde s_{\max}^2 – saýlanylyp-seçilme dispersiýasynyň maksimal bahasy.

Eger-de dispersiýalar birjynsly bolsa, onda

$$G_{\max} \leq G_p(N, m = 1), \quad (6.33)$$

Bu ýerde $G_p(n, m = 1)$ – p manylylyk derejesinde Kohreniň kriteriýasynyň tabulirlenen bahasy.

Eger-de saýlanylyp-seçilme dispersiýasy birjynsly bolsa, onda gaýtadan dikeldilme dispersiýasy

$$s_{g.dik.}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N s_i^2}{N} \quad (6.34)$$

hasaplanylýar.

Bu dispersiýanyň erkinlik derejesiniň f sany:

$$f = N \cdot (m - 1) \quad (6.35)$$

bolar.

Gaýtadan dikeldilme dispersiýasy regressiýanyň (6.13) deňlemesiniň koeffisiýentleriniň manylylygyna baha bermek üçin zerur gerek bolup durýar. Koeffisiýentleriň manylylygyna Stýudentiň kriteriýasy

$$t_j = \frac{|b_j|}{s_{b_j}} \quad (6.34)$$

boýunça baha berilýär. Bu ýerde b_j – regressiýanyň j -nji koeffisiýenti; s_{b_j} – j -nji koeffisiýentiň ortaça kwadratiki gyşarmasy.

Eger-de saýlanyp-seçilip alnan manylylyk p we erkinlik f derejeleriniň sanlary üçin t_j tablisa boýunça alnan $t_p(f)$ ululykdan uly bolsa, onda b_j koeffisiýent noldan manylylykly tapawutlanýar; (6.13) deňleme üçin s_{b_j} -ini ýalňyşlyklaryň toplanma kanuny boýunça kesgitlese bolýar:

$$s_{b_j} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial b_j}{\partial y_i} \right)^2 \cdot s_i^2}. \quad (6.35)$$

Eger-de $s_1^2 = s_2^2 = \dots = s_N^2 = s_{g.dik}^2$ bolsa, onda alarys:

$$s_{b_0} = \sqrt{\frac{s_{g.dik}^2 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}} \quad (6.37)$$

$$s_{b_0} = \sqrt{\frac{s_{g.dik}^2 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}} \quad (6.38)$$

Manylylygy bolmadyk koeffisiýentler regressiýa deňlemesinden aýrylýarlar. Galan galyndy koeffisiýentler täzeden hasaplanylýar, sebäbi koeffisiýentler özara korrelirlenen bolýarlar. Deňlemäniň adekwatlygy Fişeriň kriteriýasy (5.5) boýunça barlanylýar.

Regressiýanyň deňlemesiniň adekwatdygy köplenç Fişeriň kriteriýasy boýunça amala aşyrylýar. Fişeriň kriteriýasynyň ulanylyşyna 5-nji leksiýada seredilip geçildi.

VII. AKTIW EKSPERIMENTIŇ ESASYNDA MATEMATIKI MODELLERİŇ DÜZÜLIŞI

§7.1. Ekstremal eksperimentleri meýilleşdirmek usullary

Himiýada we himiki tehnologiýada köp sanly eksperimental meseleler ekstremal hökmünde teswirlenýär (formulirlenýär): olara prosesiniň optimal şertlerini, kompozisiýalaryň optimal düzümini we ş.m.-leri kesgitlemek degişlidir. Şeýle meseleleri çözmek üçin eksperimenti meýilleşdirmek faktorlar giňişliginde nokatlaryň optimal ýerleşişini tapmaga hem-de koordinatalaryň liniýalaýyn özgermegini amala aşyrmaga mümkinçilik berýär. Netijede, klassiki regressiýa analiziniň, hususanda, regressiýa deňlemesiniň koeffisiýentleriniň arasyndaky korrelýasiýanyň kemçiliklerini ýeňip geçmäge bolan mümkinçiligi üpjün edilýär.

Meýilnamanyň saýlanylyp-seçilip alnyşy barlag meseleleriniň goýluşy we obýektiň aýratynlyklary bilen kesgitlenilýär. Adatça, barlag prosesi aýry-aýry tapgyrlara (etaplara) bölünýär. Her tapgyrda alnan maglumat eksperimentiň soňraky strategiýasyny kesgitleýär — şeýlelikde, eksperimenti optimal dolandyrmagyň mümkinçiligi ýüze çykýar. Eksperimentiň meýilleşdirilmegi bir wagtyň özünde ähli faktorlary warirlemäge we esasy efektleriň we özara täsir efektleriniň mukdar taýdan bahasyny almaga mümkinçilik berýär.

Barlagçyny gyzyklandyrýan efektler adaty barlag usullary üçin mahsus ýalňyşlyklardan has az ýalňyşlyklar bilen kesgitlenilýär.

Ahyr soňunda, eksperimenti meýilleşdirmegiň usullarynyň ulanylmagy eksperimentiň netijeliligini has-da ýokarlandyrýar.

§7.2. Doly faktorly eksperimentiň esasynda matematiki modelleriň düzülişi

Klassiki passiw eksperimentden tapawutlylykda, aktiw eksperimentde täsir edýän faktorlar bir wagtda üýtgedilip öwrenilýär. Şunlukda, geçirilýän barlaglara işjeň täsir etmektige mümkinçilik döreýär, ýagny eksperimenti minimal çykdajylarda, maksimal mukdarda maglumatlary alar ýaly edip meýilleşdirilýär (planlaşdyrylýar*). Şonuň üçin hem matematiki-statistiki usullary ulanmak bilen bilelikde geçirilýän eksperimentlere **a k t i w e k s p e r i m e n t** diýilýär.

Çylşyrymly bolmadyk we az faktorlara bagly prosesleri öwrenmek üçin doly faktorly tejribe (eksperiment) giňden ulanylýar. Doly faktorly eksperimentiň (DFE) shemasy boýunça meýilleşdirilende, barlag geçirmek maksady bilen saýlanyp-seçilip alnan ähli derejelerde faktorlaryň ähli bolup biläýjek kombinasiýalary amala aşyrylýar, ýagny alnan faktorlaryň ähli derejelerde mümkin bolan kombinasiýasy ulanylýar. Doly faktorly eksperimentlerde geçirilmeli tejribeleriň sany N aşkdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$N = l^k, \quad (7.1)$$

bu ýerde l – derejeleriň sany, k – faktorlaryň sany.

*) Meýilnamanyň çyzgysy düzülýär.

Eger-de eksperiment faktorlaryň iki sany bahasynda iki derejede geçirilýän bolsa hem-de şunlukda k faktorlardan ybarat bolan ähli kombinasiýalar amala aşyrylýan bolsa, onda şeýle meýilnama doly faktorly 2^k görnüşli (tipli) eksperiment diýen ada eýe bolýar.

Şeýle ýagdaýda faktorlaryň sany berlen tehnologiýa parametr boýunça barlanylýan çäkleriň serhedinden ybarat bolup durýar. Tejribe geçirmezden öňürti, proses baradaky mälum maglumatlaryň esasynda ulanyljak ylmy abzal-enjamlaryň mümkinliklerine görä her bir faktoryň gyra çetki bahalary kesgitlenilýär. Mysal üçin, goý, käbir önümiň y (%) çykymyna iki sany faktoryň: $100 \div 200^\circ\text{C}$ interwala T temperaturanyň (z_1) we $P = 2 \div 6$ MPa basyşyň (z_2) täsirleri öwrenilýär diýeliň. Temperatura boýunça ýokarky dereje $z_1^{max} = 200^\circ\text{C}$, aşaky dereje bolsa $z_1^{min} = 100^\circ\text{C}$, onda z_1 faktor üçin alarys:

$$z_1^0 = \frac{z_1^{max} + z_1^{min}}{2} = \frac{200 + 100}{2} = 150^\circ\text{C}; \quad (7.2)$$

$$\Delta z_1 = \frac{z_1^{max} - z_1^{min}}{2} = \frac{200 - 100}{2} = 50^\circ\text{C}. \quad (7.3)$$

Islendik z_j faktorlar üçin aşakdaky deňlikler adalatlydyr:

$$z_j^0 = \frac{z_j^{max} + z_j^{min}}{2}; \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (7.4)$$

$$\Delta z_j = \frac{z_j^{max} - z_j^{min}}{2}. \quad (7.5)$$

Koordinataly $(z_1^0, z_2^0, \dots, z_k^0)$ nokada planyň (meýilnamanyň) merkezi ýa-da kä halatlarda esasy dereje; Δz_j -e bolsa, — da z_j oky boýunça warirleme (üýtgedilme) birliги ýa- warirlemegiň (üýtgedilmegiň) interwaly diýlip at berilýär.

Üýtgeýän z_1, z_2, \dots, z_k koordinatalar ulgamyndan täze ölçegsiz x_1, x_2, \dots, x_k üýtgeýän koordinatalar ulgamyna geçeliň. Geçiş ýa-da kodlaşdyrma formulasy aşakdaky görnüşde bolar:

$$x_j = \frac{z_j - z_j^0}{\Delta z_j}, \quad j = 1, 2, \dots, k. \quad (7.6)$$

Ölçegsiz (kodlaşdyrylan) x_1, x_2, \dots, x_k koordinatalar ulgamynda ýokarky dereje +1-e, aşaky dereje bolsa, — -1-e deň. Planyň merkeziniň koordinatalary nola deň we ol koordinatalar başlangyjy bilen gabat gelýär. Seredilýän mysalda $k = 2$. Iki derejede iki faktordan ybarat, geçirilmeli tejribeleriň mümkin bolup biläýjek kombinasiýalarynyň N sany bolsa, $N = 2^k = 2^2 = 4$. Eksperimentleri geçirmegiň plany (planyň kodlaşdyrma matrisasy) 2-nji tablisada getirildi.

Eksperimentleriň planyny ýerine ýetirmegiň netijesinde alnan y çykymyň bahalary 2-nji tablisanyň iň soňky sütününde berildi. Barlag geçirilýän oblast faktor giňişliginde kodlaşdyrylan koordinatalarda geometriki görnüşde 12-nji suratda görkezildi.

Doly faktorly 2^2 tejribe

Tejribeleriň nomeri	Faktorlaryň bahalary					Çykym (jogap-sesleme), y, %
	natural masştabda		ölçegsiz masştabda			
	z_1	z_2	x_0	x_1	x_2	
1	100	20	+1	-1	-1	10
2	200	20	+1	+1	-1	18
3	100	100	+1	-1	+1	8
4	200	100	+1	+1	+1	12

Tejribäni geçirmegiň 2^2 planyny (planlaşdyrmagyň kodlaşdyrylan matrisasyny) hem-de eksperimentiň netijelerini fiktiw ululyk diýlip atlandyrylýan $x_0 = 1$ ululygyň sütüni girizilip ýazalyň (2-nji tablisa).

2-nji tablisada getirilen planlaşdyrmagyň matrisasy aşadaky häsiýetlere eýedir:

$$1. \sum_{i=1}^N x_{ui} \cdot x_{ji} = 0; \quad u \neq i, \quad u, j = 0, 1, 2, \dots, k; \quad (7.7)$$

$$2. \sum_{i=1}^N x_{ji} = 0; \quad j = 1, 2, \dots, k; \quad j \neq 0 \quad (7.8)$$

$$3. \sum_{i=1}^N x_{ji}^2 = N; \quad j = 0, 1, 2, \dots, k, \quad (7.9)$$

bu ýerde k – faktorlaryň sany, N – planlaşdyrma matrisasyndaky geçirilmeli tejribeleriň sany.

Biriji häsiýete — (7.6) deňlige ähli wektor sütünleriň köpeltmek hasyllarynyň nola deňligi, ýagny planlaşdyryş matrisasynyň ortogonallyk häsiýeti diýilýär. Ortogonallyk häsiýeti, regressiýalaýyn modeliň koeffisiýentlerini tapmak üçin geçirilýän hasaplaýyş işlerini ýeňilleşdirýär.

Doly iki faktorly eksperimentiň esasynda himiki-tehnologiki prosesiniň matematiki modeli aşadaky görnüşde teswirlenýär:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (7.10)$$

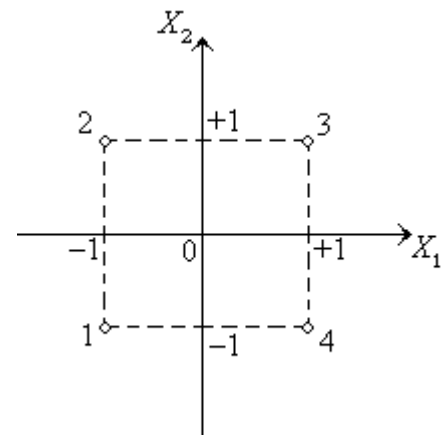
Doly üç faktorly eksperimentiň netijeleri prosesiniň aşadaky görnüşdäki matematiki modeli bilen teswirlenýär:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (7.11)$$

Doly faktorly eksperimentiň esasynda regressiýalaýyn modelleriň b_0, b_1, b_2, \dots koeffisiýentleri aşadaky formulalar boýunça tapylýar:

$$b_0 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N y_j = 0; \quad (7.12)$$

$$b_j = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_{ji} \cdot y_i \quad (7.13)$$



12-nji surat. 2^2 plan üçin nokatlaryň faktor giňişliginde ýerleşşi

Regressiýanyň deňlemesiniň koeffisiýentleriniň ähmiýetliligi (manylylygy) Stýudentiň kriteriýasy boýunça anyklanylýar. Regressiýanyň deňlemesiniň adekwatdygy bolsa, Fişeriň kriteriýasy arkaly barlanylýar.

§7.3. Drob faktorly eksperimentiň esasynda matematiki modelleriň düzülişi

Köp halatlarda barlag geçirilýän prosesiniň liniýalaýyn deňlemeler arkaly teswirlenýändiginiň öňünden äşgär bolýar. Faktorlaryň özara täsiri ujypsyz bolup, onuň hasaba alynmadyk ýagdaýynda hem goýberilýän ýalňyşlyk juda az bolýar.

Doly faktorly eksperiment geçirilende hasaba alynýan faktorlaryň sanynyň artmagy bilen, geçirilmeli tejribeleriň sany köpeliýär. Eger-de doly faktorly eksperimentdeýene-de bir täze faktory hasaba alsak, onda geçirilmeli eksperimentleriň sany iki esse artýar. Meselem, eger-de $k = 2$ bolanda $N = 4$; $k = 3$ bolanda $N = 8$; $k = 4$ bolanda $N = 16$; $k = 5$ bolanda $N = 32$; we ş.m.

Eger-de deňleme alnanda liniýalaýyn golaýlaşma bilen çäklenip bolýan bolsa, onda ýa-da drob faktorly eksperiment diýlip atlandyrylýan usullardan peýdalanylýan tejribeleriň sanyny düýpli azaltsa bolýar. Drob faktorly eksperiment usulyna kähatlarda doly faktorly eksperimentden alnan, **drob replikalalar*** usuly hem diýilýär. Drob replikasynyň ortogonal planlaşdyrmagyň häsiýetini saklap galmagy üçin replika hökmünde iň ýakyn doly faktorly eksperiment saýlanylýp alynýar. Şunlukda geçirilmeli tejribeleriň sany regressiýa deňlemesindeki näbelli koeffisiýentleriniň sanyndan köp bolmaly.

Bu usul boýunça regressiýanyň deňlemesini almak üçin doly faktorly eksperimentiň belli bir bölegi, ýagny $\frac{1}{2}; \frac{1}{-4}; \frac{1}{8}$ we ş.m. bölegi ulanylýar.

Drob replikalary usulynyň nähili ulanylýandygyny görmek üçin $k = 4$ plana seredip geçeliň. Doly faktorly eksperimentde $k = 4$ bolanda $N = 2^4 = 16$ sany tejribe geçirilmeli. Doly üç faktorly eksperimenti planlaşdyrmagyň matrisasyna garap geçeliň (3-nji tablisa).

3-nji tablisa

Üç faktor üçin doly faktorly eksperiment

№	x_1	x_2	x_3	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_3$	$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
3	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
6	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
7	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
8	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1

*) Replika — gapdaldan seslenme.

Özara täsir koeffisiýentlerini nola deň diýip kabul edilendigi sebäpli 4-nji faktor üçin özara täsiri görkezýän islendik sütüni alyp bolar. Meselem, x_1, x_2, x_3 sütünlere kabul etsek, onda 5-nji tablisada getirilen plany alarys. Bu plan doly faktorly eksperimentiň ýarysyny özünde saklaýar we oňa ýarym replika diýlip at berilýär. Şuňa meňzeş $\frac{1}{4}$ replika, $\frac{1}{8}$ replika hem bolup biler. Şeýle görnüşdäki drob replikany aşakdaky ýaly belgilenilýär:

5-nji tablisa

Doly dört faktorly eksperimentden alnan ýarym replika

№	x_1	x_2	x_3	x_4
1	+1	+1	+1	+1
2	+1	-1	+1	+1
3	-1	+1	+1	+1
4	+1	+1	-1	-1
5	+1	-1	-1	-1
6	-1	+1	-1	-1
7	-1	-1	+1	+1
8	-1	-1	-1	-1

$$N = 2^{k-l}, \quad (7.14)$$

bu ýerde k – faktorlaryň umumy sany; $(k-l)$ – drob faktorly eksperimentdäki faktorlaryň sany.

Drob faktorly eksperimentde regressiýanyň deňlemesi aşakdaky görnüşde teswirlenilýär:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_m \cdot x_m. \quad (7.15)$$

§7.4. Ikinji tertipli meýilnamalaryň (planlaryň) esasynda matematiki modelleriň düzülişi

Praktikada (iş ýüzünde) juda çylşyrymlylygy sebäpli doly faktorly meýilleşdirmek (planlaşdyrmak) ýa-da drob replikalar usuly boýunça alynýan regressiýalaýyn modeller bilen teswirlenende uly ýalňyşlyklara getirmegi mümkin.

Bu hili proseslere adekwat teswirlemek üçin köplenç ýokary tertipli (meselem, 2-nji tertipli) deňlemeler talap edilýär. Şu maksat bilen merkezi kompozisiýalaýyn planlaşdyrmak usuly ulanylýar.

Kompozisiýalaýyn planlaşdyrmak usulynyň iki sany: 1) ortogonal; hem-de 2) rototabel görnüşleri bar.

Ikinji tertipli regressiýanyň koeffisiýentlerini hasaplamak üçin faktorlaryň bolmanda üç derejede üýtgetmeli. Bu juda köp tejribeleri geçirmekligi talap edýär. Doly faktorly eksperiment $N = 3^k$ sany tejribäni geçirmekligi talap edýär. Meselem, $k = 2$ bolanda $N = 9$; $k = 3$ bolanda $N = 27$ sany tejribäni geçirmeli bolýar.

Boks we Uilson ortogonal planlaşdyrmak üçin geçirilýän tejribeleriň sanyny $N = 3^k$ –dan

$$N = 2^k + 2 \cdot k + 1, \quad (7.15)$$

çenli azaltmaklygy hödürlediler. Meselem, doly faktorly eksperiment $k = 3$ bolanda $N = 2^3 + 2 \cdot 3 + 1 = 15$ sany tejribäniň ýerine Boksun we Uilsonyň ortogonal plany boýunça $N = 2^3 + 2 \cdot 3 + 1 = 15$ sany tejribäniň geçirilmegi talap edilýär.

Eger-de doly faktorly eksperiment boýunça adekwat matematiki alyp bolmaýan bolsa, onda geçirilen tejribelere ýyldyz nokatlardaky we planyň merkezindäki tejribe goşulýar we alynýan kompozisiýaly himiki prosesiň köplenç ikinji tertipli görnüşdäki matematiki modelini almak üçin peýdalanylýar. Şu ýerden hem merkezi kompozisiýalaýyn planlaşdyrmak usulynda, faktorlaryň dürli bahasynda J ýyldyz nokady aşakdaky bahalara eýe bolýar:

k	2	3	4	5
J	1,00	1,215	1,414	1,547

Iki faktor üçin ortogonal merkezi kompozisiýalaýyn planlaşdyrmagyň matrisasy 4-nji tablisada getirildi.

Ortogonal merkezi kompozisiýalaýyn planlaşdyrmakda regressiýanyň deňlemesi aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \dots + b_{(n-1)n} \cdot x_{n-1} \cdot x_n + b_{11} \cdot x_1^2 + \dots + b_{nn} \cdot x_n^2, \quad (7.16)$$

iki faktor üçin bolsa, regressiýanyň deňlemesi aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2. \quad (7.17)$$

4-nji tablica

Iki faktorly ortogonal merkezi kompozisiýalaýyn plan

Tejribeleriň sistemasy	№	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	y
Doly faktorly 2^2 eksperiment	1	-1	-1		y_1
	2	+1	-1	-1	y_2
	3	-1	+1	-1	y_3
	4	+1	+1		y_4
Ýyldyz nokatlaryndaky tejribeler	5	+1	0	0	y_5
	6	-1	0	0	y_6
	7	0	+1	0	y_7
	8	0	-1	0	y_8
Planyň merkezindäki tejribe	9	0	0	0	Y_9

VIII. HIMIKI-TEHNOLOGIKI PROSESLERI OPTIMIZASIÝAŞDYRMAK

§8.1. Esasy düşünjeler we kesgitlemeler

Himiýa önümçiliginde hünärmenleriň her bir işiniň maksady — tehnologi prosesiň iň gowy we oňaly şertlerini hem-de rejeli rasional tehnologi shemalary gözläp tapmak, amatly (optimal) eksperimental barlaglary (planlaşdyrylan tejribeleri) gurnamakdan ybaratdyr.

Optimum sözi iň gowy ýa-da has oňat şertleriň jemini aňladýar.

Optimizasiýalaşdyrmak garalyp geçilýän funksiýanyň optimumyny ýa-da berlen prosesiň geçirilişiniň optimal şertlerini tapmakdan ybaratdyr.

Optimuma baha bermek üçin ilki bilen optimizasiýalaşdyrma kriteriýalaryny seçip almany. Kesgitli anyk şertlere baglylykda optimizasiýalaşdyrma kriteriýalary hökmünde tehnologi kriterini, meselem, önümiň apparatyň her göwrüm birliğinden maksimal mukdarda alynmaklygyny, ykdysady kriteriý — berlen öndürjilikde önümiň önümiň minimal bahasyny saýlap almak bolar.

Saýlanylyp alnan optimizasiýalaşdyrma kriteriýasynyň esassynda, optimizasiýalaşdyrma kriteriýasynyň onuň bahasyna täsir edip biljek parametrlerine baglylygyndan ybarat bolan maksatlaýyn funksiýa, ýa-da bahbitlilik funksiýasy diýlip atlandyrylýan funksiýa düzülýär.

Optimizasiýalaşdyrmak meselesi maksatlaýyn funksiýanyň ekstremumyny tapmaklyga syrykdyrylýar.

Optimizasiýalaşdyrmak — munuň özi optimuma ýetmegiň, iň gowy prosesiň ýa-da onuň has oňat şertleriniň tapylmagydyr (tehnologi şertler babatda bolsa, prosesi amala aşyrmagyň iň gowy şertlerini kesgitlemekdir).

Optimizasiýalaşdyrma meselesi prosesiň üýtgeýän ululyklaryna dürli görnüşde täsir edýän, iki ýa-da ondan hem köp dürli hilli mukdar taýdan häsiýetnamalaryny, olaryň özara balansirleşdirilmegi şerti bilen, esasan, gowulandyrmagyň kompromis (ylalaşdyryş) meselelerini çözmeli bolanda ýüze çykýar. Meselem, prosesiň netijeliligini öndürjilik bilen, hili — mukdar bilen, önüm birliğiniň ätiýaçlygyny — olaryň ýerlenişi bilen, öndürjiligi — çykarylýan çykadajylar bilen balansirleşdirilýär (olaryň deňagramlylygy gazanylýar).

Awtomatiki dolandyrylýan prosesler ýa-da ulgamlar üçin optimizasiýalaşdyrma iki tapgyra bölünýär: olar üçin optimizasiýalaşdyrmagyň statiki we dinamiki stadiýalary bolýar.

Statiki optimizasiýalaşdyrma prosesiň optimal stasionar režimlerini döretmek we durmuşa geçirmek meselelerini, dinamiki optimizasiýalaşdyrma bolsa — prosesi optimal dolandyrmagyň ulgamlaryny döretmek we amala aşyrmak meselelerini çözüýär.

Seredilip geçilýän matematiki modelleriň aýratynlygyna baglylykda optimizasiýalaşdyrmagyň dürli matematiki usullary ulanylýar. Ulanylýan optimizasiýalaşdyrma usullary ulgamlaşdyrylan ýagdaýdaky görnüşi 5-nji tablisada getirildi.

Optimizasiýalaşdyrma usullary	Optimizasiýalaşdyrma obýekti we çözülýän meseleler
A n a l i t i k i u s u l l a r	
Ekstremumyň analitiki gözlegi	Differensirlenýän funksiýalar görnüşdäki optimallyk kriteriýaly determinleşdirilen prosesler
Lagranžyň köpeldijiler usuly	Differensirlenýän funksiýalar görnüşdäki optimallyk kriteriýaly deňlik çäklendirilmeleri bolan meseleler
Wariasiýalaýyn usullar	Funksiýanal görnüşdäki optimallyk kriteriýaly meseleler. Himiki reaktorlaryň optimal temperaturalaýyn profilleriniň, periodiki prosesleriň optimal režimleriniň hasaplamalary
Pontýaginiň maksimum prinsipi	Differensial we ahyrky deňlemeler arkaly teswirlenýän obýektler bilen baglanyşykly meseleleriň giň klasy. Regulirleme (sazlaşdyrma) meselelerinde optimal dolandyrmalaryň hasaplamalary
M a t e m a t i k i p r o g r a m m a l a ş d y r m a	
Geometriki programmalaşdyrma	Algebraik funksiýalar – polinomlar görnüşdäki gatnaşyklar arkaly beýan edilýän prosesler
Liniýalaýyn programmalaşdyrma	Liniýalaýyn funksiýa görnüşdäki optimallyk kriteriýaly liniýalaýyn algebraik deňlemeler arkaly teswirlenýän prosesler. Resurslar çäklendirilende düşewüntleri (girdejileri) maksimallaşdyrma, enjamlary optimal ulanma meseleleri, transport (ulag) meseleleri
Dinamiki programmalaşdyrma	Additiw funksiýa görnüşli optimallyk kriteriýasy bolan köp stadiýaly (başgaçakly) prosesler. Apparatlaryň kaskady, seksiyalara bölünen reaktorlar we ş.m.-ler
G r a d i ý e n t u s u l l a r y	
Gradiýent usuly, iň çalt aşak düşme usuly we beýlekiler	Himiki tehnologiýanyň çylşyrymly prosesleriniň aglabasy, aýratyn obýektler we çatryklaýyn baglanyşykly aparatlaryň kaskady
Ö z i s a z l a n ý ä n m o d e l l e r i b o l a n a w t o m a t i k i u s u l l a r	
Awtomatiki gurluşlary bolan öz-özi sazlanma, adaptiw, programmalaýyn usullary	Himiki tehnologiýanyň çylşyrymly obýektleri
S t a t i s t i k i u s u l l a r	
Regressiýa analizi, korrelyasiýa analizi, Boks-Uilson usuly we beýlekiler	Eksperimenti planlaşdyrmak, determinirlenen model bolmadyk halatlarynda prosesi optimizasiýalaşdyrmak

Islendik optimizasiýalaşdyrmakda köp sanly wariantlara seredilip, iki sany deňeşdirilýän wariantyň haýsysynyň gowudygyna baha berip bolýar, ýagny tehnologiiki proses geçirilende prosesi geçirmegiň dürli wariantlaryny deňeşdirmäge mümkinçilik bolýar we olaryň içinden iň gowusy saýlanyp-seçilip alynýar. Başgaça aýdylanda, optimizasiýalaşdyrma meselesi öňde goýlanda, dürli ýagdaýdaky ulgamlary (sistemalary) deňeşdirmäge mümkinçilik berýän, optimizasiýalaşdyrylýan ulgamyň işiniň hiline san taýdan baha berilmegi zerurdyr. Ulgamyň işleýşine san taýdan baha berilmegine *optimallyk* (amatlylyk) *kriteriýasy* diýilýär. Şeýlelikde gowy we amatly şertler optimallyk kriteriýasynyň maksimumyna ýa-da minimumyna deň bolýar.

§8.2. Optimallyk kriteriýasy we optimizasiýalaşdyrma meselesiniň öňde goýluşy

Optimallyk kriteriýasy hökmünde ykdysady häsiýetde bolan dürli funksiýalar ulanylýar:

- 1) çykarylan çykdaýlaryň minimumy; 2) girýän girdejiniň maksimumy;
- 3) önümiň özüne düşýän gymmatynyň minimumy we ş.m.-ler.

Seredilýän ulgamyň belli bir basgançagynda (stadiýasynda) termodinamiki hem-de tehnologi kriteriýalaryň (meselem, prosesiniň termodinamiki netijeliliginiň (effektiwliginiň) koeffisiýentiniň, maddanyň termodinamiki potensial görnüşde öwrülişiginiň (üýtgemeginiň tizliginiň) ulanylmagy mümkin.

Optimizasiýalaşdyrma meselesi öňde goýlanda haýsy hem bolsa bir ululygyň ekstremal sana (baha) ýetirilmegi mümkin. Şeýlelikde, ulgam şol bir wagtyň özünde iki ýa-da ondan hem köp optimallyk kriteriýasy goýulmaly däldir, sebäbi hemme ýagdaýlarda hem bir kriteriýanyň ekstremumy, beýleki kriteriýanyň ekstremumyna gabat gelmeýär. Şonuň üçin hem — önümiň minimal bahasynda maksimal öndüriligi almak boýunça ýalňyş goýlan mesele dogry goýlanda: 1) önümiň berlen bahasynda maksimal öndüriligi we 2) berlen öndürililikde minimal bahany gazanylmagyna getirýär.

Optimizasiýalaşdyrma meselesinde ulgamyň ýagdaýyny wariasiýalaşdyrmak mümkinçiligi bolmaly, onuň dürli ýagdaýdaky wariantlarynyň sany optimizasiýalaşdyrylýan ulgamyň görnüşine we erkinlik derejesine baglydyr.

Ulgamyň ýagdaýynyň dürli wariantlaryny amala aşyrmaga mümkinçilik berýän parametrlere *dolandyryş täsirleri* ýa-da *dolandyryş* diýilýär. Oňa dürli parametrlere gatnaşyp bilerler. Meselem, eger-de garyjyly apparatda $A \rightarrow P \rightarrow C$ görnüşde himiki reaksiýa (alkilirleme prosesi) geçirilip, şol aparatyň işleýşiniň hiline aralykda alynýan P önümiň C_P konsentrasiýasy bilen baha berilýän bolsa, onda C_P konsentrasiýasynyň dürli bahalary apparata dürli mukdarlaryň — agramlaryň (dürli temperaturalaryň we ş.m.-leriň) berilmegi arkaly alnyp bilner.

Eger-de prosesiň şertlerine görä şol bir wagtda reaksiýa V göwrümünü we T temperaturany üýtgedip bolýan bolsa, onda bu parametrlere dolandyryşlardyrlar.

Eger-de aparat ýaňy taslanyp, şol tapgyrda ulgamyň reaksiýa (V) göwrümünü (ululyk C_P konsentrasiýa arkaly kesgitlenilýär) üýtgedip bolýan bolsa, onda bu V parametr hem dolandyryşdyr.

Dolandyryş hökmünde maddy akymalaryň göwrüm tizlikleri, garyşdyryjynyň aýlaw sany, reagentleriň molýar gatnaşygy çykyş edip bilerler.

Optimallyk meselesi çözülende, optimallyk kriteriýasy ekstremuma ýetýän dolandyryş ýa-da dolandyryş parametrleriniň ululygy tapylýar.

$$\bar{\varphi}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{z}, \bar{y}) = 0$$

$\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – girýän ululyklaryň wektory;

$\bar{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ – dolandyryş wektory;

$\bar{z} = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ – sygyşmaýan wektor;

$\bar{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ – çykýan ululyklaryň wektory.

Praktikada (iş ýüzünde) gabat gelyän esasy ýagdaýlaryň biri hem ulgamyň (sistemanyň) çykyş parametrlerini girýän ululyklaryň, dolandyryş we sygşmaýan wektorlaryň kömegi bilen açyk görnüşde görkezip bolýandygydyr. Şeýle ýagdaýda matematiki model aşadaky görnüşde teswirlener:

$$\bar{y} = \bar{\varphi}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{z}). \quad (8.1)$$

Optimallyk kriteriýasy dürli ýagdaýlary özara deňşdirmäge mümkinçilik berip, olara san taýdan baha berýänligi sebäpli ol ulgamyň ýagdaýyny häsiýetlendirýän görkezmelere baglydyr. Ony aşadaky ýaly ýazyp bolýar:

$$R = R(\bar{y}), \quad (8.2)$$

bu ýerde R – optimallik kriteriýasy. Bu bolsa, R ululygyň ulgamyň nähili ýagdaýdadygyna baglydygyny aňladýar.

R ululygy aşadaky ýaly hem ýazyp bolýar:

$$R = R(\bar{y}) = R[\bar{\varphi}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{z})] = R^*(\bar{x}, \bar{u}, \bar{z}), \quad (8.3)$$

ýagny R ululyk x , y we z bilen kesgitlenilýär.

Eger-de z -iň täsirini aýyrsak, onda $\bar{y} = \bar{\varphi}(\bar{x}, \bar{u})$:

$$R = R^*(\bar{x}, \bar{u}). \quad (8.4)$$

Optimizasiýa meselesi aşadaky ýaly teswirlenýär (formulirlenýär): x giriş parametrleriniň berlen wektorynda käbir R optimallyk kriteriýasy ekstremal sana eýe bolar ýaly \bar{u} dolandyryş wektoryny kesgitlemeklik talap edilýär.

Dolandyryş parametrleri kesgitlenenden soňra, şol parametrleriň üýtgeýän oblastyna bolan çäklendirmeler ýüze çykýar (meselem, kükürtturşynyň önümçiliginde ulanylýan apparatda temperatura 440°C-dan ýokary geçmeýär, sebäbi katalizator köýýär).

Optimizasiýalaşdyrma meselelerini çözmek üçin gysgaça aşadakyler zerurdyr:

1. Optimizasiýalaşdyrylýan obýektiň matematiki modelini düzmeli;
2. Optimallyk kriteriýasyny saýlap-seçip almaly we maksada laýyk funksiýany teswirlemeli (formulirllemeli);
3. Üýtgeýän ululyklara goýulmaly mümkin bolan çäklendirmeleri kesgitlemeli;
4. Gözlenilýän (tapylmaly) ululyklaryň ekstremal sanyny tapmaga mümkinçilik berýän optimizasiýa usulyny saýlap-seçip almaly.

Optimizasiýa usullarynyň deňşdirme häsiýetnamalary. Himiýa tehnologiýasynda optimizasiýa meselesi çözülmeli köp sanly dürli obýektler bardyr. Optimizasiýalaşdyrylýan obýektiň häsiýetlerine we önümçilige bolan ol ýa-da beýleki talaplara baglylykda, optimallyk kriteriýasynyň dürli görnüşi we aňlatmalary bolup biler. Bu bolsa şol meseleler çözülmende dürli görnüşli usullaryň ulanylmagyny talap edýär.

IX. OPTIMIZASIÝALAŞDYRMAGYŇ MESELELERINI ÇÖZMEGIŇ UMUMY STRATEGIÝASY

§9.1. Funksiýanyň maksimumy we minimumy

Eger-de $y = f(x)$ funksiýanyň $x = x_0$ nokatdaky $f(x_0)$ bahasy şol nokatda golaýdaky nokatlaryň hemmesinden ýokary bolsa, onda $y = f(x)$ funksiýa *maksimuma ýetýär* diýilýär. Şeýle hem, eger-de x_0 -a ýeterlikde (golaýda) islendik x üçin $f(x_0) < f(x)$ bolsa, ol minimuma ýetýär.

ABCDE egri çyzyk $y = f(x)$ funksiýany göz öňüne tutýar. y ululyga A we C nokatlaryň golaýynda A we C nokatlardaky y -iň ululygyndan (bahasyndan) kiçidir we funksiýa şol nokatda maksimuma (*max*) eýedir. Edil şonuň ýaly-da, y -iň bahasy B we D nokatlaryň golaýynda şol nokatlardaky y -iň bahasyndan uludyr, şonuň üçin hem funksiýa şol nokatda minimumdyr (*min*).

Grafikden görnüşi ýaly, eger-de *max* ýa-da *min* nokatda belli bir galtaşan nokat bar bolsa, onda $tg\alpha$ nola (0-a) ýa-da tükeniksizlige (∞ -e) deňdir we bu gyşarma $f(x)$ -yň önümi (proizwodnysy) $f'(x)$ arkaly kesgitlenilýändigini sebäpli, *max* we *min* nokatlaryny tapmak üçin $f'(x) = 0$ deňlemäni çözmeli, şeýle hem $f'(x)$ -yň tükeniksizlige öwrülýän bahasyny tapmaly. Ýöne, adatça, şeýle meselä $f'(x) = 0$ bolanda seredilýär. Bu deňlemäni çözmekýagny tä sallanyp alnan X -da 1-nji önüm (proizwodnyý) nola deň bolýança x -yň dürli bahalary goýmak bilen funksiýanyň maksimum we minimum nokatlary tapylýar.

Maksimumy we minimumy anyklamak üçin dürli usullar ulanylýar. Olaryň iň ýönekeýi geometriki manyda 1-nji önümiň (proizwodnynyň) bahasyna esaslanandyr. Şunlukda, eger-de 1-nji önüm (proizwodnyý) nola deň bolup, 2-njisi otrisatel baha eýe bolsa, onda şol nokatda funksiýa maksimum baha eýe bolandygy subut edilýär. Şoňa meňzeşlikde, eger-de 2-nji önüm (proizwodnyý) položitel baha eýe bolsa, onda şol nokatda funksiýa minimum baha eýedir.

Şeýlelikde eger-de käbir nokatda $y' = 0$; $y'' > 0$ bolsa, onda şol nokatda funksiýa minimuma deňdir; eger-de haýsy hem bolsa bir nokatda $y' = 0$; $y'' < 0$ bolsa, onda şol nokatda funksiýa maksimuma deňdir.

M y s a l . Reaksiýa geçirilýän apparatlar ýasalanda materiallaryň çykdajysyny kesgitlemeli.

Goý, reaksiýa geçirilýän aparat a ç y k s i l i n d r görnüşde diýeliň. Ol taýýarlananda material silindriň düýbünüň we diwarynyň ýasalmagyna harç edilýär.

Eger-de r aparatyň esasyň radiusy hem-de h silindriň beýikligi bolsa, onda silindriň gapdalynyň we esasyň meýdanynyň F jemi aşakdaky ýaly aňladylar:

$$F = \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h. \quad (9.1)$$

Şonuň bilen birlikde silindriň V göwrümi

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (9.2)$$

we beýikligi

$$h = \frac{V}{\pi \cdot r^2}. \quad (9.3)$$

(9.1) deňlemeden h -y aýryp alarys:

$$F = \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \frac{V}{r} = \pi \cdot r^2 + \frac{2 \cdot V}{r}. \quad (9.4)$$

Bu mysalyň çözüdi silindriň berlen V göwrümünde F üsti minimuma deň bolan r radiusyň bahasyny tapmakdan ybaratdyr. Soňky (9.4) deňligi r boýunça differensirläp we 1-nji önümi (proizwodnyny) nola deňläp alarys:

$$\frac{dF}{dr} = 2 \cdot \pi \cdot r - \frac{2 \cdot V}{r^2} = 0, \quad (9.5)$$

bu ýerde

$$2 \cdot \pi \cdot r^3 = 2 \cdot V \quad \text{we} \quad r = \frac{2 \cdot V}{2 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{V}{\pi \cdot r^2}, \quad (9.6)$$

$$h = \frac{V}{\pi \cdot r^2}, \quad (9.7)$$

bu ýerden taparys:

$$h = r. \quad (9.8)$$

2-nji önüm (proizwodnyý)

$$\frac{d^2F}{dr^2} = 2 \cdot \pi \cdot r - \frac{4 \cdot V}{r^3} \quad (9.9)$$

položiteldir, onda h beýiklik r radiusa deň ($h = r$) bolanda, açyk apparatyň üsti minimal baha eýe bolar.

Indi, goý, reaksiýa geçirilýän aparat ý a p y k s i l i n d r görnüşde diýeliň. Silindriň berlen V göwrümünde, onuň iň kiçi üsti bolandaky r radiusyny tapmaly.

Eger-de r apparatyň esasynyň radiusy hem-de h silindriň beýikligi bolsa, onda silindriň tutuş F üsti aşakdaky ýaly aňladylar:

$$F = \pi \cdot (r^2 + r \cdot h), \quad (9.10)$$

ýagny onuň iki sany ($2 \cdot \pi \cdot r^2$) esasy bar. Şonuň bilen birlikde silindriň V göwrümi $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ we beýikligi $h = \frac{V}{\pi \cdot r^2}$.

(9.10) deňlemeden h -y aýryp taparys:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot \left(r^2 + \frac{V}{\pi \cdot r} \right) = 2 \cdot \pi \cdot r^2 + \frac{2 \cdot V}{r}. \quad (9.11)$$

Bu aňlatmany r boýunça differensirläp we 1-nji önümi (proizwodnyny) nola deňläp alarys:

$$\frac{dF}{dr} = 4 \cdot \pi \cdot r - \frac{2 \cdot V}{r^2} = 0, \quad (9.12)$$

bu ýerde

$$4 \cdot \pi \cdot r^3 = 2 \cdot V \quad \text{we} \quad r = \frac{2 \cdot V}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot r^2}, \quad (9.13)$$

$$h = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot r^2}, \quad (9.14)$$

bu ýerden taparys:

$$h = 2 \cdot r. \quad (9.15)$$

2-nji önüm (proizwodnyý)

$$\frac{d^2 F}{dr^2} = 4 \cdot \pi \cdot r - \frac{4 \cdot V}{r^3} \quad (9.16)$$

položiteldir. Şunlukda, h beýiklik iki r radiusa deň ($h = 2 \cdot r$) bolanda, ýapyk apparatyň üsti minimal baha eýe bolar.

§9.2. Optimizasiýalaşdyrmagyň analitiki usullary

Analitiki usullar funksiýanyň ekstremal (maksimal ýa-da minimal) bahalaryny kesgitlemegiň klassiki usullarydyr. Olar optimizasiýalaşdyrylýan funksiýa analitiki görnüşde berlende we garaşsyz üýtgeýän ululyklaryň sany köp bolmadyk halatlarynda ulanylýar. Üýtgeýän ululyklaryň sany köpelende köp ölçegliлик барýer diýlip atlandyrylýan hadysa ýüze çykýar we şeýlelikde analitiki usullaryň ulanylmagy kynlaşýar. Mundan başga-da çäklendirmeler bolmagy hem analitiki usullardan peýdalanmaklyk çylşyrymlaşýar. Netijede, iş ýüzünde (praktikada) analitiki usullary klassiki görnüşde ulanmaklyk çäkli bolup durýar.

Garaşsyz üýtgeýän ululyk hökmünde garaşsyz funksiýalary bolan meselelerde olaryň optimумы kesgitlenende w a r i a s i ý a l a ý y n usullar ulanylyp bilner. Şeýle ýagdaýlarda mesele bir ýa-da birnäçe üýtgeýän ululykly näbelli funksiýalara bagly bolan funksionalyň ekstremумы tapmaklyga syrykdyrylýar.

Ekstremумыň analitiki gözlegi. Maksadalaýyk üzüksiz $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ funksiýanyň garaşsyz üýtgeýän x_1, x_2, \dots, x_n ululyklarynyň ekstremумыny tapmagyň analitiki gözlegi onuň hususy önümi (proizwodnysy) nola deňlemeklige syrykdyrylýar:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial F}{\partial x_i} \cdot dx_i = 0 \quad (9.17)$$

dx_i differensialy garaşsyz ýagdaýda salýap alyp bolýar, şonuň üçin hem

$$\frac{dF}{dx_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (9.18)$$

Bir garaşsyz x_1 parametri bolan $F(x_1)$ funksiýanyň analiziň klassiki usuly $F'(x_1) = 0$ şertden ekstremumlaryň nokatlarynyň koordinatalaryny tapmaklyga mümkinçilik berýär. Şunlukda, ekstremумыň görnüşi ikinji önümiň (proizwodnynyň) belli düzgünleri arkaly anyklanylýar:

$$\left. \begin{array}{l} \text{eger - de } F''(x_1) > 0, \text{ onda } \min^+ \\ \text{eger - de } F''(x_1) < 0, \text{ onda } \max^- \end{array} \right\} \quad (9.19)$$

$F''(x_1) = 0$ bolanda, $F''(x_1)$ funksiýanyň nokadyň golaýynda özüni alyp barşynyň analizini geçirmeli ýa-da ýokary önümlerini (proizwodnyalaryny) barlamaly. Eger-de nola deň bolmadyk birinji ýokary önüm (proizwodnyý) jübüt san bolsa, onda ol funksiýanyň ekstremumy bar, eger-de täk sanly noldan tapawutly önüm (proizwodnyý) bolsa, onda ol funksiýanyň ekstremumy ýokdur.

Kubiki parabola üçin maksimumam, minimumam ýokdur:

$$y = x^3; y' = 3 \cdot x^2 = 0; y'' = 6 \cdot x = 0; y''' = 6 \neq 0,$$

ýagny täk sandaky önüm (proizwodnyý) 6-a deň we noldan tapawutlanýar.

$$y = x^4; y' = 4 \cdot x^3 = 0; y'' = 12 \cdot x^2 = 0; y''' = 24 \cdot x = 0; y'''' = 24 \neq 0,$$

ýagny jübüt sandaky önüm 24-e deň hem-de noldan tapawutlanýar. Şonuň üçin hem bu funksiýanyň ekstremumy bardyr.

Eger-de üýtgeýän ululyklaryň sany birden köp bolsa, onda ekstremumy tapmak has-da kynlaşýar:

Iki üýtgeýän ululykly $F(x_1, x_2)$ funksiýa üçin:

$$F'_{x_1}(x_1, x_2) = 0 \text{ we } F'_{x_2}(x_1, x_2) = 0, \quad (9.20)$$

üstesine-de, bahalaryň her bir jübüti bir nokat berýär. Ekstremumy barlamak üçin aşakdaky aňlatma barlanýar:

$$\Delta = F''_{x_1, x_1} \cdot F''_{x_2, x_2} - (F''_{x_1, x_2})^2. \quad (9.21)$$

Eger-de $\Delta > 0$ bolsa, onda funksiýanyň ekstremumy bar, eger-de $\Delta < 0$ bolsa, onda onuň ekstremumy ýokdur; $F''_{x_1, x_2} < 0$ bolanda, funksiýanyň maksimumy bar; $F''_{x_1, x_2} > 0$ bolanda bolsa, funksiýanyň minimumy bar.

X. OPTIMIZASIÝALAŞDYRMAGYŇ ANALITIKI USULY. LAGRANŽYŇ KESGITLENMEDIK KÖPELDIJILER USULY

§10.1. Lagranžyň kesgitlenilmedik köpeldijiler usuly

Adatça, bu usul üýtgeýän ululyklara deňlikler görnüşinde çäklendirmeler goýlanda ulanylýar. Meselem, garaşsyz üýtgeýän ululyklara bolan $f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ ($i = 1, 2, \dots, m; m < n$) deňlikler görnüşli çäklendirmeler goýlup, $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ funksiýanyň ekstremumyny tapmak talap edilýän bolsa, onda meseläni çözmek üçin goşmaça kömekçi funksiýa girizilýär:

$$\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot f_i(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (10.1)$$

bu ýerde λ_i ($i = 1, 2, \dots, m$) – Lagranžyň kesgitlenilmedik köpeldijileri. Bu ýagdaýda $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ funksiýanyň ekstremal nokatlary ähli garaşsyz üýtgeýän x_k ($k = 1, 2, \dots, n$) ululyklar boýunça we Lagranžyň ähli kesgitlenilmedik λ_i ($i = 1, 2, \dots, m$) köpeldijileri boýunça $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \dots, \lambda_m)$ funksiýanyň önümleri (proizwodnyalary) nola deňlenende alynýan deňlemeler ulgamyny çözmek arkaly kesgitlenilýär.

Netijede, tapylan

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)}{\partial x_k} = 0, & k = 1, 2, \dots, n; \\ \frac{\partial \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)}{\partial \lambda_i} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, & i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (10.2)$$

deňlemeler ulgamy $n + m$ sany deňlemeleri özünde saklaýar. Olardan goşmaça bahasy bolan Lagranžyň kesgitlenilmedik m köpeldijisini aýyrmak we ekstremal x'_k ($k = 1, 2, \dots, n$) nokatlaryň koordinatalaryny (olaryň umumy ýagdaýda birnäçe (ýagny $i = 1, 2, \dots, n$) bolmagy mümkin) tapmak bolar.

Her bir çäklendirme ýene-de bir deňleme goşýar we her bir çäklendirmä Lagranžyň bir köpeldijisi girizilýär. Lagranžyň köpeldijileri kömekçi serişde hökmünde deňlikler görnüşli çäklendirilmeli beýleki klaslaryň meselelerini ýörite usullar arkaly çözmekde, meselem, wariasiýalaýyn hasaplamalarda we dinamiki programmalaşdyrmakda hem ulanylýar. Lagranžyň köpeldijilerini esasan hem dinamiki programmalaşdyrmada ulanmak has-da netijeli bolýar, şeýle halatlarda olar çözülýän meseläniň ölçegliligini azaldyp bilýärler.

Mysal. Göwrümi $1000 m^3$ bolan göniburçly açyk bakyň (gabyň), onuň düýbünüň we diwarlarynyň üstleriniň minimal bolmagy şerti bilen, ölçeglerini kesgitlemeli. Bakyň V göwrümi $V = l \cdot b \cdot h$, bu ýerde l – bakyň uzynlygy; b – ini; h – beýikligi.

Çözülişi. Maksatlaýyn funksiýa: meýdany minimumlaşdyrmaly, ýagny

$$F(l, b, h) = 2 \cdot h \cdot b + l \cdot b + 2 \cdot h \cdot l$$

funksiýany minimallaşdyrmaly. Bakyň umumy meýdany 2 sany uzyn gapdal tarapyň ($2 \cdot h \cdot l$), 2 sany in gyraň tarapynyň ($2 \cdot h \cdot b$) hem-de düýbüniň ($l \cdot b$) meýdanlarynyň jeminden ybaratdyr

Çäklendirmeler: $f(l, b, h) = 0$, ýagny $f(l, b, h) = l \cdot b \cdot h - V$.

Goşmaça funksiýa aşakdaky görnüşde bolar:

$$\varphi(l, b, h, \lambda) = F(l, b, h) + \lambda \cdot (l \cdot b \cdot h - V)$$

ýa-da

$$\varphi(l, b, h, \lambda) = 2 \cdot h \cdot b + l \cdot b + 2 \cdot h \cdot l + \lambda \cdot (l \cdot b \cdot h - V).$$

l, b, h we λ boýunça hususy önümleri (proizwodnylary) alarys:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial l} = b + 2 \cdot h + \lambda \cdot b \cdot h = 0; \quad (10.3)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial b} = 2 \cdot h + l + \lambda \cdot b \cdot h = 0; \quad (10.4)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial h} = 2 \cdot b + 2 \cdot l + \lambda \cdot b \cdot l = 0; \quad (10.5)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} = \lambda \cdot b \cdot h - V = 0. \quad (10.6)$$

l, b, h we λ -ň bahalaryny tapmak üçin alnan deňlemeler ulgamyny çözeris. (10.3) deňlemeden taparys:

$$\lambda = \frac{-(b + 2 \cdot h)}{b \cdot h}. \quad (10.11)$$

λ -ň bahasyny (10.4) deňlemä goýup we ony b ululygy görä çözüp, alarys:

$$b = l$$

(10.5) deňlemeden taparys:

$$\lambda = -\frac{4}{b}.$$

(10.3) deňlemeden görnüşi ýaly, $b = 2 \cdot h$ ýa-da

$$h = \frac{b}{2}. \quad (10.12)$$

Diýmek, (10.6) deňlemeden alarys:

$$V = l \cdot b \cdot h \quad \text{ýa-da} \quad V = b \cdot b \cdot \frac{b}{2} = \frac{b^3}{2} = 1000 \text{ m}^3. \quad (10.13)$$

Şeýlelikde, $V = 1000 \text{ m}^3$; onda $\frac{b^3}{2} = 1000 \text{ m}^3$.

Bu ýerden

$$b = 12,6 \text{ m}; l = 12,6 \text{ m}; h = 6,3 \text{ m};$$

XI. LINIÝALAÝYN PROGRAMMALAŞDYRMA

§11.1 Esasy düşünjeler

Köp halatlarda önümçilik we beýleki meseleleri çözmek üçin köp sanly wariantlara seretmeklik talap edilýär. Şeýle bolsa-da, hemme mümkin bolan wariantlara garalyp geçilmezden öňürti iň gowy optimal (amatly) çözüdi tapmaga soňky ýyllarda dörän, matematikanyň bir bölümi we ösen pudagy — liniýalaýyn programmalaşdyrma mümkinçilik berýär. Liniýalaýyn deňlemeli meselelerde optimallık kriteriýasynyň ekstremumyny tapmaklyk liniýalaýyn programmalaşdyrma usulynyň wezipesi bolup durýar.

Çäklendirilmeli we liniýalaýyn (göni çyzyklaýyn) baglanyşykly ekstremal meseleleri çözmek üçin dürli matematiki usullary taýýarlamak liniýalaýyn programmalaşdyrmagyň esasy maksady bolup durýar. Maksatlaýyn funksiýa aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$F = c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_n \cdot x_n. \quad (11.1)$$

Çäklendirmeler liniýalaýyn deňsizlikler görnüşinde berilýär:

$$a_{i1} \cdot x_1 + a_{i2} \cdot x_2 + \dots + a_{im} \cdot x_m \geq b_i, \quad (11.2)$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \quad (11.3)$$

Liniýalaýyn (göni çyzyklaýyn) programmalaşdyrma meseleleri diňe takyk matematiki (çözülüşine täsir edýän ähli faktorlar, şeýle hem çözülüşiň özi sifr) görnüşde aňladylyp bilinjek ýagdaýynda çözmäge mümkinçilik berýär.

Liniýalaýyn (göni çyzyklaýyn) programmalaşdyrma usuly liniýalaýyn (göni çyzyklaýyn) algebranyň hem-de liniýalaýyn (göni çyzyklaýyn) deňsizligiň teoriýasyna (nazarýetine) esaslanýar. Şeýlelikde, aşakdaky birnäçe näbellili birnäçe deňlemeleri bolan meseleleri çözmeli bolar. Munuň üçin kesgitleýjileri anyklamaly hem-de olaryň bahalaryny kesgitlemeli bolýar.

Mysal. 4 näbellili 4 deňlemeli sistemany çözmeli. Ol umumy görnüşde aşakdaky ýaly ýazylyar:

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_3 + a_{14} \cdot x_4 = b_1; \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + a_{23} \cdot x_3 + a_{24} \cdot x_4 = b_2; \\ a_{31} \cdot x_1 + a_{32} \cdot x_2 + a_{33} \cdot x_3 + a_{34} \cdot x_4 = b_3; \\ a_{41} \cdot x_1 + a_{42} \cdot x_2 + a_{43} \cdot x_3 + a_{44} \cdot x_4 = b_4. \end{cases} \quad (11.1)$$

Bu sistemanyň çözüdini 4-ji tertipdäki kesgitleýjiniň kömegi bilen teswirlemek bolar:

$$x_1 = \frac{D_1}{D}; x_2 = \frac{D_2}{D}; x_3 = \frac{D_3}{D}; x_4 = \frac{D_4}{D}. \quad (11.2)$$

Iş ýüzünde (praktikada) duş gelýän meseleleriň aglabasynyň çözüdi liniýalaýyn deňlemeleri çözmeklige getirýär.

Liniýalaýyn (çyzyklaýyn) deňlemeleriň çözmegiň usullary, esasan, 2 topara bölünýär: takyk (dogry) usullar (meselem, Krameriniň düzgüni, Gaussyň usuly we beýl.) we ýalynlaşdyrylan (golaýlaşdyrylan) usullar (iterasiýa usuly, Zeýdeliň usuly we beýl.).

Meselem, zäherli erginden kükürt kislotasynyň (H_2SO_4) alnyş derejesiniň onuň başky ergindäki konsentrasiýasyna, demir (II) sulfatynyň ($FeSO_4$) konsentrasiýasyna we göwrüm gatnaşygyna spirt-kislota baglylygyny görkezýän regressiýa deňlemesini 0,001 takyklykda almak üçin üç näbellili üç sany deňlemeli

$$\begin{cases} -0,128 \cdot x_1 + 0,046 \cdot x_2 + x_3 = 0,903; \\ x_1 - 0,417 \cdot x_2 - 0,128 \cdot x_3 = 0,212; \\ -4,17 \cdot x_1 + x_2 + 0,046 \cdot x_3 = 0,043. \end{cases} \quad (11.3)$$

sistemany çözmek zerurdyr.

Liniýalaýyn (göni çyzyklaýyn) programmalaşdyrmada has nusgawy meseleler aşakdakylardan ybaratdyr:

1. Çig mallaryň dürli görnüşleri alnanda maksimal girdeji (düşewüdi) üpjün edýän dürli önümleri taýýarlamak meselesi;

2. Abzallary optimal ulanmagyň meselesi. Prosesi abzallara we enjamlara bolan iň az harajatlar bolar ýaly gurnamaly;

3. Transport meselesi. Önümi A_1 we A_2 nokatlardan B_1 , B_2 we B_3 ulanylyş nokatlaryna has tygşytly daşamaly. Daşamagyň nyrlary iň pes bolmaly we meýilnamalar doly ýerine ýetirilmeli. Meseläniň çözüdi ädimleýin usul ýa-da s i m p l e k s - m e t o d arkaly ýerine ýetirilýär;

4. Taýýar önümi has tygşytly ýerlemek meselesi.

§11.2. Liniýalaýyn (göni çyzyklaýyn) programmalaşdyrmagyň matematiki teswirlemesi

Goý, liniýalaýyn (çyzyklaýyn)

$$F = c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_n \cdot x_n = \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i \quad (11.4)$$

forma we deňlemeler we deňsizlikler sistemasynyň

$$\left. \begin{aligned} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1n} \cdot x_n - b_1 &\geq 0 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots + a_{2n} \cdot x_n - b_2 &\geq 0 \\ &\dots \\ a_{m1} \cdot x_1 + a_{m2} \cdot x_2 + \dots + a_{mn} \cdot x_n - b_m &\geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (11.5)$$

görnüşü berlen bolsun. Bu sistemada deňlikler we deňsizlikler bolup biler. (11.5) sistemanyň ähli otrisatel däl çözüdiniň içinden F liniýalaýyn (çyzyklaýyn) formanyň has az (köp) baha alýanyny tapmaly.

Meseläni goýmagyň mysaly hökmünde çig maly dürli önümçilikleriň arasynda (önümiň maksimal bahasy boýunça) optimal (amatly) ýaýratmak

meselesine seretmek bolar. Ýaýradylan çig malyň umumy sany elmydama çäkli bolansoň, bu meselede hem üýtgeýän ululyklara goýulýan çäklendirmer bar.

Goý, çig malyň iki görnüşinden önümiň iki görnüşi taýýarlanylýan bolsun.

Belgileri girizeliň: x_1, x_2 – 1 we 2 önümiň birlik sany; c_1, c_2 – birliginiň 1 we 2 görnüşiniň sany, onda tutuş önümiň bahasy:

$$R = c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 \quad (11.6)$$

bolar. Netijede alynýan önümiň umumy bahasynyň ýokary (maksimal) bolmagy gerek, şonuň üçin hem bu ýerde R optimallýk kriteriýasy bolup hyzmat edýär.

Goý, b_1 we b_2 degişleleikde bar bolan çig malyň 1-nji we 2-nji görnüşi bolsun. Onda

$$\left. \begin{aligned} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 &\leq b_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 &\leq b_2 \end{aligned} \right\} \quad (11.7)$$

Bu berlen mysaldaky çäklendirmeler, şeýle hem üýtgeýän x ululyklar otrisatel däl we ∞ -e deň däl aýtsa bolar.

Şeýlelikde, öňde goýlan meseläni çözmek üçin hemme zerur bolan bellikler teswirlendi (formulirlenildi). Bu çözüliş usulyna *liniýalaýyn programmalaşdyrma* diýilýär.

Liniýalaýyn programmalaşdyrma usullarynyň biri bolan simpleks metody bilen aşakdaky meseläniň çözülişine garap geçeliň:

Goý,

$$R = 3 - x_4 + x_5 \quad (11.8)$$

bolsun.

Çäklendirmeleri girizeliň:

$$\left. \begin{aligned} x_1 + 2 \cdot x_4 + 3 \cdot x_5 - 7 &= 0 \\ x_3 + x_4 - 3 \cdot x_5 - 2 &= 0 \\ x_1 + x_4 + x_5 - 2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (11.9)$$

Meselede X -yň haýsy bahasynda minimal R -e ýetilýändigini kesgitlemeklik talap edilýär.

Üýtgeýän (bазis) ululyklary saýlap alalyň. Goý, olar 3 sany: X_1, X_2, \dots, X_4 bolsun. Onda

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= 2 - x_4 - x_5 \\ x_2 &= 7 - 2 \cdot x_4 - 3 \cdot x_5 \\ x_3 &= 2 - x_4 + 3 \cdot x_5 \end{aligned} \right\} \quad (11.10)$$

Goý, $x_4 = 0$ bolsun. Onda birinji базis çözügüdini alarys:

$$\begin{cases} x_1 = 2 - 0 - 0 = 2 \\ x_2 = 7 - 0 - 0 = 7 \\ x_3 = 2 + 0 + 0 = 2 \\ x_4 = 0 \\ x_5 = 0 \end{cases} \quad (11.11)$$

Şu bellikde R -iň liniýalaýyn formasy:

$$R = 3 - 0 + 0 = 3 \quad (11.12)$$

bolar. Bu liniýalaýyn forma x_4 -iň ulaldylmagy bilen [(11.8) deňlemä seret] kiçeldilip bilner.

x_4 -i haçana çenli ulaldyp bolar? Bu soraga şeýle jogap berip bolar: x_4 -e bagly bolan islendik ululyk 0-a deň bolýança ulaltlak mümkin we x_4 -iň soňraky ulaldylmagy otrisatel belgä (sana) getirýär. (11.10) sistemadan görnüşi ýaly, x_4 2-den uly bolup bilmez, sebäbi $x_4 > 2$ bolanda, sistemanyň 1-nji deňlemesinden $x_1 < 0$ alarys, bu bolsa meseläniň şertlerine görä ýol berilmesizdir.

Şeýlelikde, täze bazis çözügüne geçýäris:

$$\begin{cases} x_1 = 0 \\ x_2 = 0 \\ x_3 = 4 \\ x_4 = 2 \\ x_5 = 0 \end{cases} \quad (11.13)$$

Bu ýerde, (11.8) deňlemä laýyklykda, $R = 1$ bolýar.

Täze üýtgeýän bazis ululyklary bazis däl ululyklar arkaly belgiläp, alarys:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= 3 + 2 \cdot x_1 - x_5 \\ x_3 &= 4 - x_1 + 2 \cdot x_5 \\ x_4 &= 2 - x_1 + x_5 \end{aligned} \right\} \quad (11.14)$$

Aşakdaky deňlemeden x_4 -i taparys:

$$\begin{aligned} x_1 + x_4 + x_5 - 2 &= 0; \\ x_4 &= 2 - x_5 - x_1. \end{aligned} \quad (11.15)$$

x_4 -iň bu bahasyny (11.14) sistemanyň ortaky deňlemesinde goýup, x_3 -i taparys:

$$x_3 = 2 + x_4 + 3 \cdot x_5. \quad (11.16)$$

x_4 -iň ýerine (11.15) deňlemäni goýup, alarys:

$$x_3 = 2 + (2 - x_5 - x_1) + 3 \cdot x_5 = 4 - x_1 + 2 \cdot x_5. \quad (11.17)$$

Bu deňlemeden bolsa, x_2 -ini taparys:

$$x_3 = 7 - 2 \cdot x_4 - 3 \cdot x_5 = 7 - 2 \cdot (-x_5 - x_1) - 3 \cdot x_5 = 7 - 4 + 2 \cdot x_5 + 2 \cdot x_1 - 3 \cdot x_5 = 3 + 2 \cdot x_1 - x_5. \quad (11.18)$$

(11.14) deňlemeler sistemasyndaky üýtgeýän täze ululyklary $R = 3 - x_4 + x_5$ (11.8) deňlemä goýup, alarys:

$$R = 3 - (2 - x_5 - x_1) + x_5 = 1 + x_1 + 2 \cdot x_5. \quad (11.19)$$

x_1 we x_5 ululyklaryň islendik derejede ulaldylmagy R -iň azalmagyna getirýär, bu bolsa meseläniň çözülenidigini aňladýar.

XII. LINIÝALAÝYN DÄL PROGRAMMALAŞDYRMA

§12.1. Esasy düşüňjeler

Himiki tehnologiýanyň prosesleriniň optimizasiýa meselesiniň nusgawy (tipiki) adaty teswirlenmesi (formulirowkasy) aşakdakylardan ybaratdyr: berlen (ýa-da anyklanan)

$$R = R(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (12.1)$$

Optimallyk kriteriýasy x_i ululyklara

$$\varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (12.2)$$

ýa-da deňsizlikler

$$\varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_n) > < 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (12.3)$$

ýa-da ol we beýlekileriň bilelikde alnan görnüşinde aňladylanda S ekstremumy tapmaklyk talap edilýär, ýagny üýtgeýän $x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0$ ululyklaryň (12.2) we (12.3) deňlemeler sistemasyny kanagatlandyran bahalaryny kesgitlemeli. (12.1) baglanyşygy üýtgeýän x_i ululykly bagly bolmadyk funksiýalarda açyk görnüşde ýazyp bolmadyk halatlarynda hem-de çäklendirme (çäklendiriji) deňlemeleri ýeterlik derejede çylşyrymly aňlatmalar görnüşinde bolan ýagdaýynda, optimizasiýalaşdyrma meselesini köplenç liniýalaýyn programmalaşdyrma usulynyň (analitiki usulyň, ekstremum gözleginiň) kömegi bilen çözüp bolmaýar. Şonuň üçin hem şeýle meseleleri çözmek üçin S ekstremumy tapylan hem-de (12.2) we (12.3) şertleri kanagatlandyran üýtgeýän x ululygyň bahalarynyň gönüden-göni gözlegi geçirilýär. Bu gözleg usuly umumy görnüşde «*liniýalaýyn däl programmalaşdyrma*» diýlip atlandyrylar we diňe EHM-ynyň ulanylmagynda has netijelidir.

§12.2. Liniýalaýyn däl programmalaşdyrma usulynyň klaslara bölünilişi

Liniýalaýyn däl programmalaşdyrma usuly 2 topara: 1) gradiýentli we 2) gradiýentsiz usullara bölünýär. Funksiýanyň gradiýentini [ýa-da onuň önümini (proizwodnysyny)] hasaplamak bilen baglanyşykly usullar ikinji topara degişli bolup durýar. Köp halatlarda, gradiýentli usullar ulanylanda, şol bir wagtda käbir gradiýentsiz usullar hem ulanylýar. Şonuň üçin hem gradiýentsiz usulda durup geçeliň. Munuň üçin gözleg usullaryna aýratynlykda ýörite degişli (spesifiki) bolan käbir düşüňjeleri girizeliň:

Funksiýanyň R minimumy — ähli bar bolan F funksiýanyň minimumy (iň azy, kiçisi);

Funksiýanyň S global maksimumy — ähli bar bolan S funksiýanyň minimumy (iň köpi, usuly).

Funksiýanyň ekstremumynyň gözlegi *barlag amallarynyň* ýerine ýetirilmegi bilen baglanyşyklydyr. Gözlegiň netijesinde funksiýanyň kemelme (artma) ugry,

diýmek, üýtgeýän x_i ululyklaryň başky bahalaryndan ekstremuma golaýlaşmak üçin nähili üýtgedilmelidigi kesgitlenilýär.

§12.3. Gözlegiň gradiýentsiz usullary

Gözlegiň gradiýentsiz usullary aşakdaky iki topara bölünýär:

1. Tötänleýin gözleg usuly;
2. Determinirlenen (kesgitlenen) gözleg usuly.

1. Tötänleýin gözleg usuly. Bu usulyň düýp manysy üýtgeýän X_i ululyklaryň bahalarynyň tötänleýin jemini almak arkaly R optimallyk kriteriýasynyň ekstremumyny tapmak bilen baglanyşyklydyr.

Goý, n ölçegli tekizlikde kesgitlenen $\bar{n} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ wektor ondaky islendik ugry deň ähtimallykda alyp bilýän bolsun. Bu ululyga *tötänleýin wektor* diýilýär.

Tötänleýin gözlegiň birnäçe usullary bar. Olaryň biri hem *tötänleýin ugrukdyrma* usulydyr. Bahasy eýýäm (12.1) boýunça hasaplanan $R(x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k)$ n ölçegli önümçilikde \bar{n}^k nokatdan α^k wektor bilen kesgitlenýän, ululygy h parametr arkaly berlen ugra ädim geçirilýär. Netijede, täze x^{k+1} nokat tapylýar:

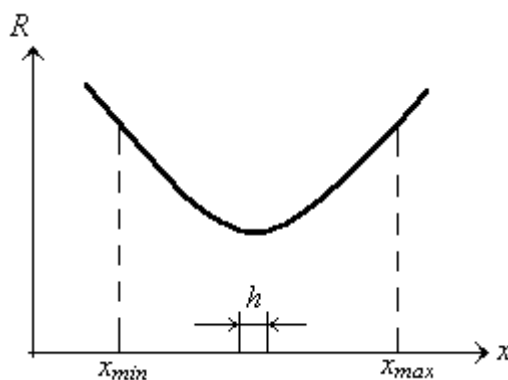
$$\bar{x}^{k+1} = \bar{x}^k + h \cdot \alpha^k.$$

Bu ýagdaýda $S(x_1^{k+1}, x_2^{k+1}, \dots, x_n^{k+1})$ optimallyk kriteriýasynyň bahasy hasaplanylýar we ony ondan öňki $R(x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k)$ optimallyk kriteriýasy bilen deňeşdirilýär. Eger-de ädim şowuna düşse, onda gözlegi täze ädim bilen dowam edilýär (minimumyň ýa-da maksimumyň gözlenilmegine baglylykda, kiçeldilýär ýa-da ulaldylýar). Soňra ony hem R -iň ondan öňki bahasy bilen deňeşdirilýär we ş.m. (13-nji surat). Şunlukda, minimal ölçeg bolan h_{min} gözlegiň tamamlanmagynyň kriteriýasy bolup hyzmat edýär.

2. Determinirlenen (kesgitlenen) gözleg usuly. Determinirlenen gözleg usuly hem edil tötänleýin gözleg usuly ýalydyr. Ekstremuma golaýlaşma kriteriýasy hökmünde degişli (zerur) nokatlarda hasaplanan optimallyk kriteriýasynyň ululygynyň deňeşdiriji bahasy ulanylýar. Ýöne bu ýerde geçirilýän amallaryň (gözlegiň) ugry tötänleýin däldir, ol öňünden kesgitlenilýär, ýagny determinirlenendir.

Determinirlenen gözlegiň birnäçe usullary bardyr. Meselem, *skanirleme* usuly, *ekstremumy lokallaşdyrmak* usuly.

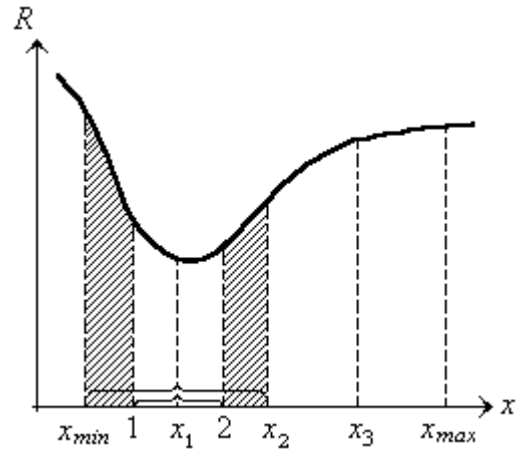
Üýtgeýän bir ululykly funksiýanyň ekstremumynyň gözleg usuly. Gözlegiň $x_{max} \div x_{min}$ interwaly n sany deň bölek bölümlere bölünýär. Olaryň her haýsy gözlegiň h ädimine deňdir. Soňra, zygiderlilikde, bölümleriň ähli nokatlarynda funksiýanyň bahasy kesgitlenilýär hem-de x_{max} we x_{min} nokatlarda



13-nji surat.

maksimal hem-de minimal bahalary ýatda saklanylýar. Şeýlelikde, ekstremum gözlege golaý ýetýän ädime çenli takyklykda tapylyp bilner. Bu usulyň esasy artykmaçlygy — onuň ýönekeýligidir hem-de global ekstremumy tapmak mümkinçiliginiň bolmagydyr, kemçiligi bolsa, hasaplamaalaryň köplügidir.

Ekstremumy lokallaşdyrmak usuly. Bu usul skanirleme hem-de bölme usullarynyň modifikasiýasydyr. Ol ulanylanda ýerine ýetirilýän hasaplamaalaryň sany azalýar. $x_{max} \div x_{min}$ gözlegiň tutuş interwaly x_1, x_2, x_3 nokatlar arkaly birnäçe bölekler bölünýär. Ähli bölekleriň nokatlarynda, şol sanda x_{max} we x_{min} nokatlarda $R(x)$ kriteriýanyň bahalary hasaplanylýar we özara deňeşdirilýär hem-de maksimumy ýa-da minimumy gözleýändigimize baglylykda olaryň arasyndan iň köpi (ýa-da iň azy) saýlanylýp alynýar. Soňra gözlegiň täze interwaly saýlanylýp alynýar. Bu interwal başdaky interwaldan kiçi hem-de onda ekstremum lokallaşdyrylan ýagdaýda bolýar. Soňra interwaly ýene-de birnäçe kiçi interwallara (1



14-nji surat.

we 2 nokatlara) bölüp, täzedan şol nokatlarda optimallyk kriteriýalary hasaplanyp özara deňeşdirilýär we olaryň iň köpi (ýa-da iň azy) saýlanylýp alynýar. Şeýlelikde, ekstremum öňkünden hem kiçi interwalda (1 we 2 nokatlaryň arasynda) lokallaşýar we ş.m., tä ekstremumyň ölçegi gözlegiň berlen takyklygyna laýyk gabat gelýän interwala çenli lokallaşýança dowam edilýär (14-nji surat).

Has gowy netije başky $x_{max} \div x_{min}$ interwal 4 sany kiçi interwala ($n = 4$) bölünende gazanylýar. Şeýlelikde, her bir indiki interwal ikä bölünýär we funksiýanyň bahasy diňe 2 sany täze nokatda hasaplanylýar, çünki onuň bahalary täze interwalyň soňunda hem-de ortasynda öňki hasaplamalardan belli bolýar.

Ekstremum tapylanda goýberilýän absolýut ýalňyşlyk aşakdaky aňlatma arkaly kesgitlenilýär:

$$\Delta = (x_{max} - x_{min}) \cdot 2^{\frac{S-1}{2}}, \quad (12.4)$$

bu ýerde S – optimallyk kriteriýasynyň bahasy hasaplanylýan nokatlaryň sany. Hasaplanylýan nokatlaryň $S = 21$ bolanda, $\Delta = 0,001$ -e deňdir.

XII. DINAMIKI PROGRAMMALAŞDYRMA

§13.1. Dinamiki programmalaşdyrmagyň esasy aýratynlyklary

Dinamiki programmalaşdyrma usuly çözümleriniň yzygiderlilik bilen hem-de ulgamyň ýagdaýynyň öňki ädilen ädime baglylygy, ýagny öňki edilen ädimlere bagly dälligi nazardan häsiýetlendirilýän köp stadiýaly prosesler üçin ulanylýar.

Şeýle ýagdaýlarda optimallyk prinsipinden (düzgüninden) peýdalanylýar. Bu prinsip aşakdaky ýaly teswirlenýär: *optimal strategiýa şeýle bir häsiýete eýe bolýar: başky ýagdaý we başky çözümler nähili bolanda-da, soňraky çözümlerde birinji çözümleriň netijesinde alnan ýagdaýa görä bolan optimal strategiýadan ugur alynmalydyr.*

Dinamiki programmalaşdyrmagyň esasy manysyeger-de haýsy hem bolsa bir akym prosesiniň her bir stadiýasynda üýtgeýän bolsa, iş režiminiň soňky stadiýasynda (başlangyçynda) (ähli stadiýalaryň iş režimine bagly bolmadyk ýagdaýda) oňa gelýän akyma görä optimal bolmasa, onda tutuşlugyna köp stadiýaly prosesiniň režimi-de optimal bolmaz.

Başdaky çig maly önüme öwürmek üçin, adaty, şu aşakdaky: çig maly taýýarlamak bilen baglanyşykly fiziki we himiki gaýtadan işleme; himiki öwrülişik, taýýar önümi çykarmak bilen baglanyşykly fiziki we himiki gaýtadan işleme ýaly amallaryň (operasiýalaryň) ýerine ýetirilmegi zerurdyr. Başga sözler bilen aýdylanda, tutuş tehnologiýa proses başky çig maly gaýtadan işlemegiň *birnäçe* başlangyklaryny (*stadiýalaryny*) göz önünde tutýar. Ýönekeý ýagdaýlarda bu birnäçe yzygider stadiýalar bolup, has çylşyrymlaşanlarynda bolsa, şahalanmalardan, resiklerden we baýpaslardan ybarat bolup durýar.

Giňişlikde diskret ýaýran prosesleriň mysaly hökmünde himiki reaktorlaryň kaskadlaryny, rektifikasiýa we ekstraksiýa sütünleriniň yzygiderligini, SO_2 -ni SO_3 -e çenli oksidlendirmek üçin reaktorlary, aýratyn köp başlangykly apparatlary getirip bolar.

Köp stadiýaly prosesleri optimizasiýalaşdyrmak meselesi, adaty, stadiýanyň sanyna baglylykda, has hem çylşyrymlaşýar. Şeýle meseleleri çözmekde dinamiki programmalaşdyrma usuly giňden ulanylýar, çünki bu usul köp ölçegli meseleleri çözümlenende ýüze çykýan kynçylyklary aradan aýyrýar.

Dinamiki programmalaşdyrmagyň esasy aýratynlygy — onuň çözümlenýän (işlenilýän) meseläniň ölçegini kiçeltmäge berýän mümkinçiligidir. Duş gelýän meseleler hökmünde çalşyrylma we resurslary ýaýratma meselelerini alsa bolar.

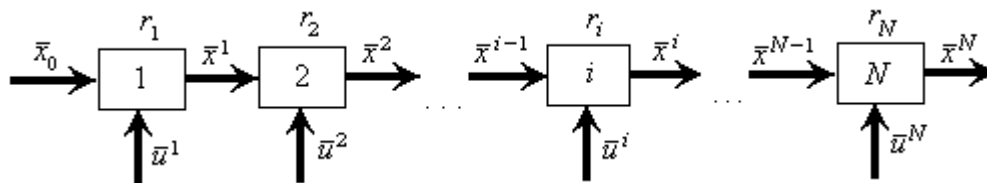
Çalşyrylma meseleleri köp stadiýaly prosesleriň abzallarynyň çalşyrylmaly, apparatyň regenerasiýa çykarylmalý wagtlary we ş.m.-ler kesgitlenende ýüze çykýar.

Resurslary tehnologiýa prosesleriň aýratyn stadiýalary boýunça ýaýratmak, meselem, çig maly himiki reaktorlaryň ulgamy (sistemasy) boýunça ýaýratmak meselesi hökmünde kesilýän akymly suwuklyk ekstraksiýasynyň optimizasiýalaşdyrma we ş.m.-leri getirse bolar.

§13.2. Dinamiki programmalaşdyrma usulynyň esasy düzgünleri

Dinamiki programmalaşdyrma usulynyň esasy düzgünlerini teswirlemezden öňürti, tehnologiği prosesi geçirmegiň mümkin bolan köp dürli wariantlarynyň içinden birini ýa-da iň gowularyndan birnäçesini saýlamak bilen baglanyşykly ýönekeý meselä garap geçeliň.

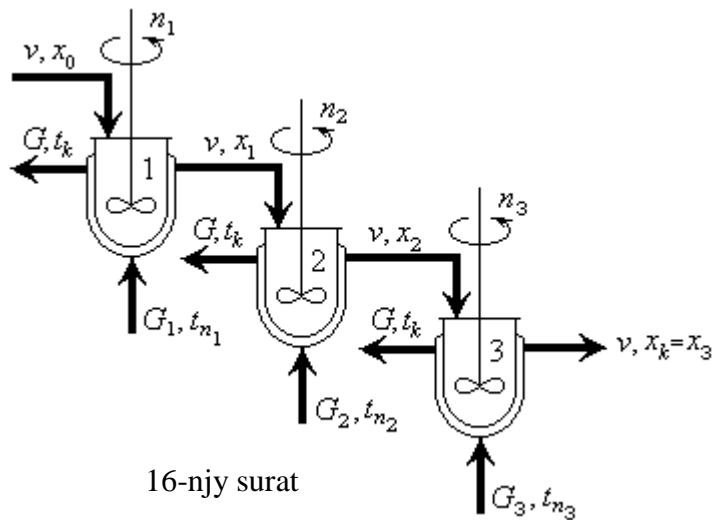
Gaýtadan işleme prosesi shema görnüşinde 15-nji we 16-njy suratlardaky ýaly şekillendiriler.



15-nji surat

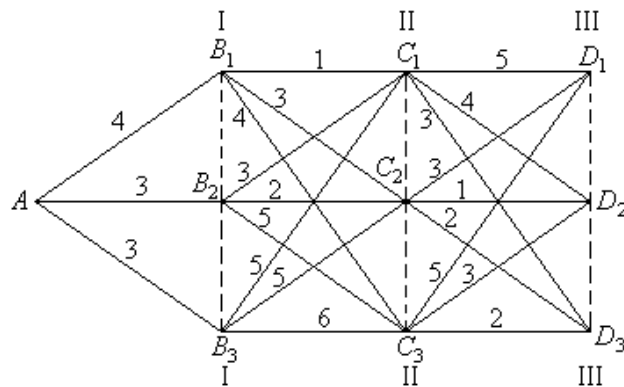
Tehnologiği prosesi geçirmegiň aşakdaky şertlerine seredeliň. 16-njy suratda düzümi anyklyan çig mal 3 sany himiki reaktordan ybarat bolan kaskada gaýtadan işlenilmäge berilýär.

Kaskadyň her bir reaktory izotermiki şertlerde işleýär, ýagny tehnologiği reglament boýunça her bir apparatda 3 sany stasionar ýagdaýyň geçirilmeginiň mümkinçiligi bar. Her bir stasionar ýagdaý 3 sany parametr: 1) garyşdyryjynyň aýlanma sany (n); 2) sowadyjy agentiň başky temperaturasy (t_n) hem-de 3) onuň harçlanmagy (G) bilen häsiýetlendirilýär. Her bir stasionar ýagdaýa apparatdan çykýan käbir \bar{x}^i düzümi (i – reaktoryň tertip belgisi) laýyk gelýär.



16-njy surat

17-nji suratdaky A nokat çig malyň başky düzümi, onuň temperaturasy we ş.m.-ler bilen häsiýetlendirilýän prosesiň başky ýagdaýyny suratlandyrýar. Dolandyryşyň belli bir toplumynyň netijesinde birinji reaktorda (n_1, t_{n_1}, G_1), onuň çykýan ýerinden belli düzümi bolan önüm alynýar. Seredilýän ýagdaýda toplumyň



17-nji surat

sany 3-e deň, ýagny $n = 3$. Üç sany mümkin bolan ýagdaý B_1, B_2, B_3 arkaly belgilenilýär, birleşmeleriň liniýalary (göni çyzyklary) bolsa, dolandyryşyň toplumyna laýyk gelýär. Soňra, degişlilikde, 2-nji reaktora (C_1, C_2, C_3) hem-de üçünji reaktora (D_1, D_2, D_3) geçiris (17-nji surat).

Goý, islendik dolandyryşyň haýsy hem bolsa bir reaktorda geçirilmegi şol reaktordaky optimallyk (amatlylyk) kriteriýasynyň käbir bahasy bilen baglanyşykly diýeliň. Şeýlelikde, bu ýagdaý

$$N = k^n(n - 1) + k \quad (13.2)$$

formula arkaly kesgitlener. Şunlukda $k = 3$ we $n = 5$ bolanda, $N = 39$ bolar (243 bilen deňeşdir). Bu tapawut k -nyň we n -iň köpelmegi bilen artýar. Meselem, $k = 3$ we $n = 10$ üçin $N = 93$ ($5,9 \cdot 10^4$ bilen deňeşdir).

Dinamiki programmalaşdyrmagyň esasyndaky optimallyk kriteriýasy islendik aralykdaky ýagdaý üçin indiki gelýän dolandyryşlaryň optimal bolmagyndan ybarat bolup durýar. Şoňa baglylykda, optimizasiýalaşdyrmak meselesiniň çözülişi iň soňky stadiýada amatly optimal (soňra bolsa iň soňky stadiýanyň öňündäki we ş.m.) dolandyryşy saýlamakdan, ýagny prosesiniň soňundan başyna süýşmekden başlanýar. Mysal üçin, C_1D_1, C_2D_2, C_3D_3 -den C_1D_1 $r_3 = 5$ -i saýlap almaly, tä $AB_3C_3D_1 = r_1 + r_2 + r_3 = R = 3 + 6 + 5 = 14$ liniýa ýetýänçä dowam etmeli.

Bu usulyň artykmaçlygy — onuň geçirilmeli hasaplamalary azaltmagydyr, kemçiligi bolsa, optimallaşdyrmagy nähili ýerine ýetirilmegi (ýagny, u_N ululugyň saýlap almalydygy) barada aýdylmaýandygydyr we bu usulyň resikli prosesler üçin ulanmagyň çetindigidir.

XIV. AWATOMATLAŞDYRYLAN TASLAMA ULGAMLARY

§14.1. Taslamanyň awtomatlaşdyrylyşy

Taslamany awtomatlaşdyrmak — ylmy-tehniki progresiň esasy bölümidir. Soňky ýyllarda himiki tehnologiýanyň obýektiniň ösdürilmegi tehnologi shemalaryň çylşyrymlaşmagy, energotehnologi toplumlaryň (kompleksleriň), çylşyrymly konstruksiýaly, ýokary basyşda, temperaturada we agressiw gurşawda (sredada) işleýän maşynlaryň we apparatlaryň döredilmegi bilen häsiýetlendirilýär.

Taslama düzýänlere daş-töwerekdäki gurşawy goramak, täze materiallary ulanmak, abzallaryň çydaýjylyk parametrlerini hasaplamak meselelerini çözmek zerurdyr.

Täze himiki önümçilik gurnalanda ýa-da hereket edýän tehnologi prosesler kämilleşdirilende, ulgamlaryň (sistemalaryň) analiziň strategiýasyny ulanmak arkaly geçirilen tejribeleýin-eksperimental we ylmy-tehniki baglalaryň jemleýji bölümi — t a s l a m a d y r .

Himiki önümçiligiň taslamasy taýýarlanan ylmy işleriň iň soňky gazanan üstünlüklerini, gönükdirilmegini, aýratyn apparatlardan ybarat bolan tutuş tehnologi shemanyň sinteziniň iň täze häzirkiki zaman usullarynyň ulanylmagyny, olaryň ähli wariantlaryna her taraplaýyn baha berilmegini hem-de seljerilmegini (analizlenmegini), şeýle hem tehnologi we inženerçilik işleriniň ähli wariantlaryna seredilip, olaryň içinden iň gowularynyň saýlanyp-seçilip alynmagyny öz içine alýar.

Taslama düzmeğiň adaty usullary sanalyp geçilen talaplary el güýji bilen doly kanagatlandyrmaga mümkinçilik bermeýär, çünki shemanyň we abzallaryň çäkli o diýen köp bolmadyk wariantyny hasaplap bolýar. Şonda taslamanyň aýratyn bölümleriniň özara ylalaşdyrylmagyna, grafiki işleriň ýerine ýetirilmegine we ş.m.-lere diýseň köp wagt sarp edilmeli bolýar.

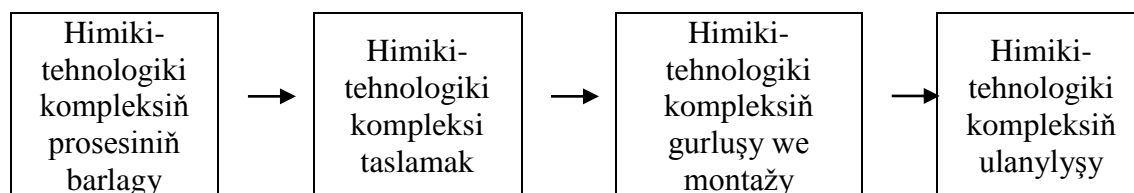
§14.2. Taslamalaşdyrma

Taslama düzmek — munuň özi adamlary daş-töwerek gurşawyny kämilleşdirýän täze teoriýalaryň (nazaryýetleriň), usullaryň obýektleriň döredilmegine gönükdirilen inženerçilik işleri biilen baglanyşyklydyr. Taslamalaşdyrmak — täze zady döretmek. «TDS 22487-77. Awtomatlaşdyrylan taslamalaşdyrma. Terminler we kesgitlemeler» standartyna laýyklykda taslamalaşdyrma — heniz hereket etmeýän obýektiň berlen şertlerde gurulmagy üçin teswirnama düzme prosesidir (şol obýektiň ýa-da onuň işleýşiniň algoritminiň ilkinji teswiri esasynda ýa-da birinji teswirinde özgerýän prosesiniň algoritmi, obýektiň berlen häsiýetnamasynyň we onuň işleýşiniň algoritminiň optimizasiýalaşdyrylmagy).

Taslamalaşdyrma iterasiýalaýyn köp wariantly proses bolup, onuň geçişinde taslama işlerini alyp barmak üçin ylmy tehnikanyň gazananlary giňden ulanylýar. Islendik önümçiligiň işlemeginiň esasy maksady — önüm öndürmekdir. Önüm

çykarmagyň zerurlygy köpçüligiň ol ýa-da beýleki talabyny kanagatlandyrmak bilen baglylykda ýüze çykýar, edilen talap kanagatlandyrylandan soň önümiň başga bir gerekli görnüşi bilen çalşylmagy ýa-da köpçüligiň önüme bolan talabynyň galmagy bilen bu zerurlyk aradan aýrylýar.

Önüm almagyň ýollaryny kesgitlemegiň ylmy-barlag işlerinden başlap şol önümi çykarýan senagat obýektiň ulanylmagynyň alynmagyna çenli bolan wagt aralygyna obýektiň ömür sikli diýilýär (himiki tehnologiýa önümçilik üçin – himiýa-tehnologiýa kompleksiniň önümçilik sikli).



Esasy maksada ýetmek üçin, ýagny gerek önümi almak üçin her bir basgançak birnäçe basgançakdan ybarat bolup durýar. «Himiki-tehnologiki kompleksiniň prosesiniň barlagy» basgançagynda – täza maddany görkezmek we laboratoriya desgasynda barlamak; «Himiki tehnologiýa kompleksi taslamak» basgançagynda – tehnologiýa we inženerçilik taslamagyň basgançaklary; «Himiki-tehnologiki kompleksiniň gurluşy we montaży» basgançagynda – dolandyryş ulgamy; «Himiki-tehnologiki kompleksiniň ulanylyşy» basgançagynda – ulgamy taslama görkezijilere goýbermek we çykarmak basgançaklary, ýagny taýýar önümi almak we önümiň hilini barlamak.

Taslamak esasy orny eýýeleýär we sikliň beýleki düzüjileri bilen baglanşykly. Taslamany taýýarlaýjy alnan netijelere esasy jogapkärdir.

§14.3. Awtomatlaşdyrylan taslamagyň ulgamy

Hasaplaýjy tehnikanyň ösmegi bilen prosesiniň taslanlymagynyň awtomatlaşdyrylmagy mümkinçili ýüze çykdy we häzirki wagtda giňden ulanylýar.

Soňky ýyllarda himiýa senagatynda taslamakda EHM-lary ulanmak işleri ornaşdyrylýar. Taslama institutlarynda inžener hasaplamlarynyň birnäçe programmalary işlenildi we ulanylýar (aýratyn taslama resminamalaryň çykarylmagy we aýratyn çyzgylaryň (shemalaryň, spesifikasiýalaryň) awtomatizasiýalaşdyrylyp taýýarlanmagy).

Aýratyn operasiýalary taslamagyň awtomatlaşdyrylmagy bilen birlikde soňky wagtlarda **awtomatlaşdyrylan taslamagyň ulgamyny** düzmegiň nazaryeti we amalyýeti çalt ösdürilýär. Awtomatlaşdyrylan taslamagyň ulgamy – bu awtomatlaşdyrylan taslamagyň usullarynyň jemi. Awtomatlaşdyrylan taslamagyň ulgamynda matematiki usullar we hasaplaýjy tehnika umumy metodologiýa, informasion we tehniki esasynda taslamak prosesiniň elementlerini birleşdirmegi üpjün edýän taslama prosesiniň ulgamlarynyň serişdesi ýalydyr.

Şeýlelikde, awtomatlaşdyrylan taslamagyň ulgamy taslama ulgamy tarapyndan durmuşa ornaşdyrylmagydyr. Täze awtomatlaşdyrylan taslamagyň

ulgamlaryň köpüsiniň tehnologiýa esasy — inženerçilik analizidir, olary programma bilen üpjün etmegiň merkezi bolsa modelirlemegiň tejribe taýdan ähmiýetli programmalarynyň paketidir. TDS-22487- 77 laýyklykda himiki-tehnologiýa kompleksiniň prosesiniň barlagy — bu taslamagy awtomatlaşdyrmagyň serişdeleriniň kompleksidir.

§14.4. Awtomatlaşdyrylan taslamagyň ulgamyny düzmegiň maksady

Awtomatlaşdyrylan taslamagyň ulgamyny düzmegiň esasy maksady:

1. Ylmy-barlag prosesleriniň ýokary depginligini üpjün etmekden;
2. Taslanýan obýektiň tehniki-ykdysady derejesini ösdürmekden;
3. Taslanýan obýektiň gurulmagynyň we işe girizilmeginiň çykdaýjylaryny azaltmaktan we
4. Taslamany resmileşdirmegiň hilini ýokarlandyrmakdan ybaratdyr.

Daşary ýurtlarda taslamak prosesini barlaýan we taslamagyň usullaryny öwrenjän jemgyýetler, himiýa we nebit-himiýa senagatyny taslama resminamalary bilen üpjün edýän birnäçe awtomatlaşdyrylan taslamagyň ulgamlary döredildi.

Awtomatlaşdyrylan taslamagyň ulgamynyň esasy zwenolary onuň kiçi ulgamlary bolup durýar. Kiçi ulgamlar diýip käbir alamatlar arkaly ýüze çykarylýan bölümine (käbir taslama işiň ýa-da resminamalaryň alynmagy bilen) aýdylýar. Awtomatlaşdyrylan taslamagyň ulgamynyň kiçi ulgamlaryna şular degişli: informasion ulgamy, tehniki meseläniň çözügüni görkezmeğiň ulgamy, inženerçilik analiziniň ulgamy, resminamalary taýýarlamagyň we barlamagyň ulgamy.

EDEBIÝAT

1. Türkmenistanyň Konstitusiýasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan — sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli Maksatnamasy. «Türkmenistan» gazetini, 2003-nji ýylyň 27-nji awgusty.
9. «Türkmenistanda nebit-gaz senagatyny ösdürmegiň 2030-nji ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.
10. Кафаров В.В. Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. — М., 1991 г.
11. Кафаров В.В. Методы кибернетики химической технологии. — М., 1985 г.
12. Кафаров В.В. Ветохин В.Н. Методы автоматизированного проектирования химических производств. — М., 1987 г.
13. Кафаров В.В. Ветохин В.Н., Бояринов А.И. Программирование и вычислительные методы в химии и химической технологии. — М.: Наука, 1972 г.
14. Эберт К., Эдерер Х. Компьютеры. Применение в химии. — М.: Мир, 1988 г.
15. Акназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. — М., 1985 г.
16. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. — М., 1975 г.
17. Батунер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике. — Л.: Химия, 1971 г.
18. Задков В.Н., Пономарев Ю.В. Компьютер в эксперименте. Архитектура и программные средства систем автоматизации. — М.: Наука, 1988 г.
19. Маринчев Н., Турбович М.Л., Зенкевич И.Г. Физико-химические расчеты на микро-ЭВМ. — Л.: Химия, 1990.

20. Петров А.В., Алексеев В.Е., Титов М.А. и др. Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах/Под ред. А.В.Петрова. — М.: Высшая школа, 1984 г.
21. Гельдыев О.А., Ишанкулиев Ю.И., Сидоров А.В., Хаджиев М.Д. Практикум по применению ЭВМ в химии и химической технологии.

MAZMUNY

GIRIŞ	3
§1. Dersiň maksady	4
§2. Himiýa tehnologiýasynda elektron hasaplaýjy maşynlaryň ähmiýeti	4
I. HIMIÝADA WE HIMIKI TEHNOLOGIÝADA ELEKTRON-HASAPLAÝJY MAŞYNLARYŇ ULANYLYAN UGURLARY	8
§1.1. Himiki kibernetika.....	8
§1.2. «Gara gapyrjak» prinsipi	10
§1.3. Ulgamlaýyn analiz.....	11
II. HIMIKI-TEHNOLOGIKI PROSESLERI WE ULGAMLARY FIZIKI WE MATEMATIKI MODELLEŞDIRME USULLARY ARKALY BARLAMAK.....	14
§2.1. Matematiki modeller we himiki-tehnologiki prosesleriň matematiki modelleşdirilişi	14
§2.1.1. Obýekte bolan determenistiki hem-de stohastiki çemeleşmeler	14
§2.1.2. Matematiki model barada düşünje. Modelleşdirmegiň esasy prinsipleri we tapgyrlary (etaplary)	15
§2.2. Fiziki, matematiki we imitasiýalaýyn modelleşdirme barada düşünje.....	15
§2.2.1. Fiziki modelleşdirme	16
§2.2.2. Matematiki modelleşdirmek.....	22
§2.2.3. Imitasiýalaýyn modelleşdirmek	24
III. MATEMATIKI TESWIRNAMA. MATEMATIKI MODELLERINŇ ESASY GÖRNÜŞLERI.....	26
§3.1. Matematiki teswirnamanyň düzüliş usullary.....	26
§3.2. Matematiki teswirnamanyň mazmuny we düzümi.....	27
§3.3. Deňlemeler sistemalarynyň klaslara bölünişi.....	28
§3.3.1. Deňlemeleriň klaslary	29
§3.4. Matematiki modelleriň görnüşleri	30
IV. MODELLEŞDIRIJI ALGORITMIŇ IŞLENIP DÜZÜLIŞI WE MODELINŇ PARAMETRLERINIŇ TAPYLYŞY	32
§4.1. Çözüliş usulynyň saýlanylyp-seçilip alnyşy we onuň çözüdiniň algoritmi hem-de modelleşdiriji programma görnüşinde amala aşyrylyşy.....	32
§4.2. Modeliň parametrlerine baha berlişi.....	34
§4.2.1. In kiçi kwadratlar we maksimal meňzeşlik usullary barada düşünje	34

V. MATEMATIKI MODELLERİN REAL OBÝEKTLERE ADEKWATDYGYNYŇ KESGITLENİLİŞİ	37
§5.1. Matematiki modelleriň adekwatdygynyň kriteriýalary	37
§5.2. Bir jogap-seslenilmeli adewatdygyna Fişeriň kriteriýasy arkaly baha berlişi.....	38
§5.3. Modeliň adekwatdygyna ortaça baha görä baha berlişi	40
§5.4. Liniýalaýyn däl baglanyşygyň daryşganlygyna baha berlişi.....	41
§5.5. Modeliň adekwatdygynyň Pirsonyň (x^2) kriteriýasy boýunça kesgitlenilişi.....	41
§5.6. Matematiki modelleriň korreksiýasy.....	42
§5.7. Matematiki modeliň ulanylyşy	43
VI. PASSIW EKSPERIMENTİN ESASYNDA MATEMATIKI MODELLERİN DÜZÜLİŞI..	44
§6.1. Eksperimental-statistiki usullar arkaly matematiki modelleriň düzülişi	44
§6.2. Regressiýa we korrelýasiýa analizleriniň usullary	46
§6.3. Bir parametrden liniýalaýyn (çyzykly) regressiýa	48
§6.4. Parabolik regressiýa	49
§6.5. Transendent regressiýa.....	50
§6.6. Kohreniň, Stýudentiň we Fişeriň kriteriýalary	51
VII. AKTIW EKSPERIMENTİN ESASYNDA MATEMATIKI MODELLERİN DÜZÜLİŞI..	54
§7.1. Ekstremal eksperimentleri meýilleşdirmek usullary	54
§7.2. Doly faktorly eksperimentiň esasynda matematiki modelleriň düzülişi	54
§7.3. Drob faktorly eksperimentiň esasynda matematiki modelleriň düzülişi.....	57
§7.4. Ikinji tertipli meýilnamalaryň (planlaryň) esasynda matematiki modelleriň düzülişi	58
VIII. HIMIKI-TEHNOLOGIKI PROSESLERI OPTIMIZASIÝAŞDYRMAK.....	60
§8.1. Esasy düşüňjeler we kesgitlemeler.....	60
§8.2. Optimallyk kriteriýasy we optimizasiýalaşdyrma meselesiniň öňde goýluşy	62
IX. OPTIMIZASIÝALAŞDYRMAGYŇ MESELELERINI ÇÖZMEĞİN UMUMY STRATEGIÝASY.....	64
§9.1. Funksiýanyň maksimumy we minimumy	64
§9.2. Optimizasiýalaşdyrmagyň analitiki usullary	66

X. OPTIMIZASIÝALAŞDYRMAGYŇ ANALITIKI USULY. LAGRANŽYŇ KESGITLENMEDIK KÖPELDIJILER USULY	68
§10.1. Lagranžyň kesgitlenilmedik köpeldijiler usuly	68
XI. LINIÝALAÝYN PROGRAMMALAŞDYRMA	70
§11.1 Esasy düşüňjeler	70
§11.2. Liniýalaýyn (göni çyzyklaýyn) programmalaşdyrmagyň matematiki teswirlemesi	71
XII. LINIÝALAÝYN DÄL PROGRAMMALAŞDYRMA.....	75
§12.1. Esasy düşüňjeler	75
§12.2. Liniýalaýyn däl programmalaşdyrma usulynyň klaslara bölünilişi	75
§12.3. Gözlegiň gradiýentsiz usullary	76
XII. DINAMIKI PROGRAMMALAŞDYRMA.....	78
§13.1. Dinamiki programmalaşdyrmagyň esasy aýratynlyklary	78
§13.2. Dinamiki programmalaşdyrma usulynyň esasy düzgünleri	79
XIV. AWTOMATLAŞDYRYLAN TASLAMA ULGAMLARY	81
§14.1. Taslamanyň awtomatlaşdyrylyşy	81
§14.2. Taslamalaşdyrma.....	81
§14.3. Awtomatlaşdyrylan taslamagyň ulgamy	82
§14.4. Awtomatlaşdyrylan taslamagyň ulgamyny düzmegiň maksady	83
EDEBIÝAT	84
MAZMUNY	86