AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

BƏZİ SİNİF PARAMETRİK İDENTİFİKASİYA VƏ OPTİMAL İDARƏETMƏ MƏSƏLƏLƏRİNİN ƏDƏDİ HƏLLİ

İxtisas: 1203.01 – Kompüter elmləri

Elm sahəsi: Riyaziyyat

İddiaçı: **Samir Zakir oğlu Quliyev**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2022

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının İdarəetmə Sistemləri İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: AMEA-nın müxbir üzvü, f.-r.e.d., professor
Kamil Rəcəb oğlu Ayda-zadə

Rəsmi opponentlər: fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Stetyuk Pyotr İvanoviç

texnika elmləri doktoru, professor
Qornov Aleksandr Yuryeviç

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Fikrət Güləli oğlu Feyziyev

riyaziyyat elmləri doktoru
Yusif Soltan oğlu Qasımov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.19 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri: f.-r.e.d., professor

Qalina Yuryevna Mehdiyeva

Dissertasiya şurasının elmi katibi: f.-r.e.n., dosent

Elxan Nəriman oğlu Səbziyev

Elmi seminarın sədri: AMEA-nın müxbir üzvü, f.-r.e.d., professor

Vaqif Rza oğlu İbrahimov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Məlumdur ki, bir çox dinamik obyekt və prosesin tədqiqi (öyrənilməsi) mərhələli şəkildə aparılır, bunların arasında iki əsas olan da var: 1) adekvat riyazi modelin qurulması; 2) optimallaşdırma və tədqiq olunan obyektin optimal idarə olunması.
2) tədqiq olunan obyektin optimallaşdırılması və optimal idarə olunması.

Müxtəlif alqoritmlərin və identifikasiya metodlarının ilk sistematik təqdimatlarından biri də P.Eickhoffun əsərləridir. Xətti dinamik sistemlərin identifikasiyasına həsr olunmuş ən əhəmiyyətli işlər arasında D. Gropp, E.P. Sage və J.L. Melsa, L. Ljung, Ya.Z. Tsypkin, N.S. Raibman, Sh.E. Steinberg və başqalarının əsərlərini qeyd etmək lazımdır.

Riyazi fizikanın tərs məsələləri riyazi modellərin parametrik identifikasiyası məsələləri ilə sıx bağlıdır. Bunların ən aktiv tədqiqatı A.N.Tixonov, M.M.Lavrentyev və s. kimi alimlər tərəfindən başladı. Son iki onillikdə P.N.Vabişçeviç, V.K. İvanov, Yu.M. Kulibanov, S.I. Kabanixin, A.L. Karçevski və başqaları, o cümlədən respublika alimləri A. İsgəndərov, R. Tağıyev, V. M. Abdullayev, A.B. Rəhimov, A.Y. Axundov, Y.T. Mehrəliyev və digərləri tərəfindən bu məsələlərə böyük diqqət göstərilir

Qeyri-xətti sistemlərin idarə edilməsi nəzəriyyəsi son dərəcə mühüm və fəal inkişaf edən elm sahəsidir. Ümumiyyətlə, bir çox fiziki sistemlər və xüsusən texniki sistemlər bir qayda olaraq qeyri-xətti xarakter daşıyır və çoxölçülülük, qeyri-stasionar, böyük ölçü və riyazi modelin qeyri-müəyyənliyi ilə xarakterizə olunur. Bu cür sistemlər üçün idarəetmə qanunlarının sintezi çox vaxt həm nəzəri, həm də hesablama baxımından əhəmiyyətli çətinliklərlə əlaqəlidir. Bu problemlərin həllində həm toplanmış parametrli (TPO), həm də paylanmış parametrli obyektlərin (PPO) optimal idarəetmə nəzəriyyəsi mühüm rol oynayır. Onun artıq kifayət qədər uzun inkişaf tarixinə baxmayaraq, ən ciddi nəticələr yalnız keçən əsrin 50-60-cı illərində əldə edilmişdir. R.E.Bellman, L.S.Pontryagin, R.F.Qabasov, F.M.Kirillova və s. kimi alimlər böyük rol oynadılar. Respublikamızın Q.Əhmədov, A.İsgəndərov, S.Həsənov, F.Əliyev, M.Mərdanov, K.Mənsimov, M.Yaqubov, K.Ayda-zadə, R.Tağıyev, H.Quliyev, T.Məlikov, İ.Əliyev və s. kimi alimləri xeyli töhfə verdilər. Lakin idarəetmə nəzəriyyəsi və praktikasında ən böyük problem obyektlə müxtəlif əks əlaqə növləri üçün idarəetmə hərəkətlərinin sintezidir.

Əks əlaqəli idarəetmən sintezi məsələsi vəziyyət vektorunun ölçülə bildiyi halda xətti sistemlər üçün kifayət qədər öyrənilmişdir. Təcrübədə birbaşa ölçmə yalnız vəziyyət vektoru ilə funksional əlaqəli çıxış vektoru mövcuddur. Bu fakt aşkar şəkildə çıxışa görə əks əlaqəli stabilləşdirici idarəetmə sintezi məsələsinin həllinin zərurətinə gətirib çıxarır. Bu cür qoyuluşun təbiiliyinə baxmayaraq, göstərilən məsələ hətta statik əks əlaqəli xətti sistemlər üçün belə tam tədqiq edilməmiş qalır. Bu mövzuda nəticələrin nəzərdən keçirilməsinə B.T.Polyak və P.S.Şerbakov, V.L.Syrmos, C.T.Abdallah, P.Dorato və K.Grigoriadisin əsərlərində rast gəlmək olar. Diskret sistemlər üzrə son nəticələr G. Garcia, B. Pradin, S. Tarbouriech və F. Zengin işində təqdim edilmişdir. Respublikada bu istiqamətdə mühüm nəticələr F.A.Əliyev və tələbələri tərəfindən əldə edilmişdir. İndiyədək çıxışa görə statik əks əlaqənin istifadə edərək bir sıra zəruri və kafi stabillik şərtləri (D Youla, V. Kucera, T. İwasaki, R. Skelton və s.) əldə edilmişdir. Eyni zamanda, idarəetmə təcrübəsi belə məsələlərin həllini tələb edir, o cümlədən obyektin parametrlərinin qeyri-müəyyənliyi şəraitində (robast stabilləşmə). Buna uyğun olaraq, kafi şərtlər və konstruktiv evristik prosedurlar əsasında sabitləşmə və robast stabilləşmə məsələsinin həlli üçün metod və alqoritmlərin hazırlanması vacib görünür.

Buna uyğun olaraq, kifayət qədər şərtlər və konstruktiv evristik prosedurlar çıxış üzrə stabilləşmə və həlli üçün metod və alqoritmlərin işlənməsi vacibdir.

Son onilliklərdə qeyri-xətti obyektlərin idarə olunmasının sintezinin bir sıra effektiv metodları işlənib hazırlanmışdır. F.A.Əliyev və V.B. Larin, A.A. Krasovski, Ya.Z. Tsıpkin, V.A. Yakuboviç, A.İ. Eqorov, T.K. Sirazetdinov, A.A. Bobtsov, İ.V.

Miroşnik, V.O. Nikiforov və A.L. Fradkov, D.J. Hill və P. Moylan, A. İsidori, I. Kanellakopoulos və M. Karstic, H.K. Khalil, P.V. Kokotovic, R. Marino və P. Tomei, K.S. Narendra, S.S. Sastry, E.D. Sontag, və s. işlərində qeyri-xətti obyektlərin idarə edilməsi sintezi metodlaının inkişafında əhəmiyyətli nəticələr əldə etmişlər.

Əks əlaqəli idarəetmə məsələləri əhəmiyyətli dərəcədə qeyri-xətti sistemlərlə təsvir edilən və vəziyyətini fasiləsiz müşahidə etmək mümkün olmayan obyektlər üçün mürəkkəbləşir. Qeyri-xətti sistemlərin linearizasiyası (xəttiləşdirilməsi) metodları böyük aproksimasiya səhvlərinə gətirib çıxarır və nəticədə müvafiq xəttiləşdirilmiş tənzimləmə, idarəetmə sistemləri baş verən proseslərə kifayət qədər adekvat deyil. Digər tərəfdən, xətti sistemlər üçün işlənib hazırlanmış nəzəri nəticələr, metodlar qeyri-xətti sistemlərə praktik olaraq tətbiq edilmir, belə ki, onlar mürəkkəb hesablama məsələlərinə gətirib çıxarır, onların həlli bəzi yanaşmalar üçün tələb olunan proses (real vaxt rejimində) tempində həyata keçirilir.

Dissertasiya işi həm toplanmış, həm də paylanmış parametrlərə malik sistemlərin yuxarıda göstərilən parametrik identifikasiya məsələlərinin öyrənilməsinə, bu sistemlər üçün idarəetmə parametrlərinin (idarəedici parametrlərin) sintezinə həsr edilmişdir. Bu məsələlərin həlli üçün həm identifikasiya, həm də idarəetmə təsirləri üçün "zonal parametrlər" daxil edilməsindən ibarət vahid bir yanaşma istifadə olunur.

İşin məqsədi. TPO və PPO-lar üçün sağ tərəfi pilləvari optimallaşdırma məsələlərinin həlli və parametrik identifikasiya metodlarının işlənib hazırlanması və riyazi əsaslandırılması, onların praktiki məsələlərin həllində tətbiqinin təsviri.

Proqram təminatının optimallaşdırmanın tətbiqi proqramlar paketləri şəklində işlənib hazırlanması, həmçinin müasir informasiya və kompüter texnologiyalarının, paralel hesablamaların tətbiqi ilə avtomatik və dialoq rejimlərində idarəetmə sisteminin işlənib hazırlanması.

Dissertasiya işinin **elmi yeniliyi** aşağıdakılardan ibarətdir:

– Adi törəməli qeyri-xətti diferensial tənliklər sistemləri ilə təsvir olunan dinamik, ümumi halda, qeyri-xətti TPO-ların parametrik identifikasiyası məsələlərinin həlli üçün ədədi həll üsulu təklif edilmiş və əsaslandırılmışdır.

- Sağ tərəfi pilləvari adi diferensial tənliklər sistemi ilə təsvir olunan dinamik prosesin vəziyyətindən asılı olan keçid səthlərinin təyini üçün tərs məsələlər sinfinin həllinə yanaşma təklif edilmişdir.
- Başlanğıc şərtlərin və obyektin parametrlərinin qiymətləri haqqında qeyri-dəqiq məlumat verildikdə müxtəlif növ əksəlaqəli giriş/çıxış üçün qeyri-xətti adi diferensial tənliklər sistemləri və zonal idarəetmə funksiyalarının müxtəlif sinifləri ilə təsvir olunan cisimlərin optimal idarəetməsinin sintez məsələsinin ədədi həllinə yanaşma təklif edilmişdir.
- Dinamik proseslərin idarə edilməsi üzrə qərar qəbuletmə sistemləri üçün riyazi modelin parametrik identifikasiyası və rejimlərin optimallaşdırılması mərhələlərini birləşdirməkdən ibarət bir yanaşma təklif olunur.
- Riyazi modellərin qeyri-xətti əmsallarının identifikasiyası və bəzi konkret PPO-lar üçün idarənin sintezi məsələləri təklif olunan yanaşmalardan istifadə etməklə həll edilmişdir.
- Hiperbolik tənliklər sistemi ilə təsvir olunan boru kəmərinin xətti hissəsində karbohidrogen xammalının hərəkət rejimlərindən asılı olan hidravlik müqavimət əmsalının identifikasiyası məsələsinin həlli üçün ədədi üsul təklif edilmişdir.
- PPO üçün obyektin müəyyən nöqtələrində faza vəziyyətinin fasiləsiz müşahidəsi əsasında sərhəd şərtlərində zamanla gecikmə olan istilik mübadiləçisinin (dəyişdiricisinin) qızdırılması prosesinin idarə olunması nümunəsində idarəedici təsirlərin sintezinə yanaşma təklif edilmişdir.
- Çubuq və lövhənin qızdırılması proseslərinin idarə edilməsi məsələlərinin timsalında obyektin faza vəziyyətinin fasiləsiz müşahidə edilməsi əsasında PPO üçün toplanmış mənbələrin idarə edilməsi sintezi üçün yanaşma təklif edilmişdir.
- Çoxprosessorlu/çoxnüvəli arxitekturaya malik müasir kompüter sistemlərində paralel hesablamalardan istifadə edərək şərtsiz optimallaşdırma proqramları paketinin interaktiv (dialoq) və

avtomatik idarə edilməsi əsasında mürəkkəb optimallaşdırma məsələlərinin həlli üçün riyazi və proqram təminatı yaradılmışdır. İşlənib hazırlanmış sistemlər geniş bir optimallaşdırma alqoritmləri kitabxanası ilə təchiz edilmişdir.

Tədqiqatın ümumi metodikası. Dissertasiya işində istifadə edilmişdir: qeyri-stasionar proseslərin modelləşdirilməsinin riyazi üsulları; diferensial tənliklərin, optimal idarəetmənin, sonlu ölçülü optimallaşdırmanın ədədi həll üsulları; müasir informasiya texnologiyaları və proqramlaşdırma vasitələri.

Nəzəri və praktik dəyər. Dissertasiyada nəzərdən keçirilmiş məsələlərin elmi və praktik dəyəri ondan ibarətdir ki, tədqiq olunan proseslərin riyazi modelləşdirilməsinə və onların sonrakı optimal idarə edilməsinə istifadə olunan yanaşma, habelə müvafiq kompüter kodları elm və texnikanın layihələndirmə, robotların qurulması və istifadəsi, istehsal sistemləri, güclərin (enerjinin) çevrilməsi texnologiyaları, tibbi müalicənin planlaşdırılması, məsafədən zondlama məlumatlarının interpretasiyası və s. kimi bir çox məsələlərin həllində istifadə oluna bilər. Qeyd etmək lazımdır ki, dissertasiyada nəzərdən keçirilmiş identifikasiya və optimal idarəetmə məsələləri, həmçinin müvafiq alqoritmlər elmi mətbuatda dərc olunmuşdur, buna görə tətbiq üçün ictimai əlçatandır (ictimaiyyətə açıqdır, hamı üçün əlçatandır).

Alınmış nəticələrin elmi əsaslılığı və etibarlılığı alqoritmlərdə istifadə olunan düsturların, tənliklərin və nisbətlərin nəzəri ciddiliyi, alqoritmlərin və xüsusi test sistemləri də (o cümlədən, dissertasiyanın müəllifi tərəfindən işlənib hazırlanmış) daxil olmaqla müvafiq kompüter kodlarının cürbəcür (müxtəlif cür) testləşdirilməsi (yoxlanması), eləcə də müstəqil analoji hesablamaların nəticələrilə müqayisə edilərək təsdiqlənir.

İşin aprobasiyası. İşin əsas nəticələri aşağıdakı beynəlxalq konfranslarda məruzə olunmuşdur: International Conference on “Control and Optimization with Industrial Applications” COIA-2005, -2008, -2013, -2015; International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics” PCI-2006, -2008, -2010, -2012; 24th Mini Euro Conference “Continuous Optimization and Information-

Based Technologies in the Financial Sector, (MEC EurOPT), 2010 (Türkiyə, İzmir); Beynəlxalq Rus-Bolqarıstan Simpoziumu "Qarışıq tənliklər və əlaqədar analiz və informatika problemləri", Nalçik, Rusiya, 2010; Beynəlxalq Rusiya-Qazaxıstan Simpoziumu "Qarışıq tipli tənliklər və əlaqədar analiz və informatika problemləri", Nalçik, Rusiya, 2011, 2014; Beynəlxalq Rus-Abxaz Simpoziumu "Qarışıq tənliklər və əlaqədar analiz və informatika problemləri", Nalçik, Rusiya, 2009; Beynəlxalq Rus-Özbək Simpoziumu "Qarışıq tənliklər və əlaqədar analiz və informatika problemləri", Nalçik, Rusiya, 2012; IV Beynəlxalq konfrans "Qeyri-lokal sərhəd məsələləri və riyazi biologiya, kompüter elmləri və fizikanın əlaqədar problemləri", Nalchik-Treskol, Rusiya, 2013; Beynəlxalq konfrans "Müasir riyaziyyat, informatika və mexanikanın aktual problemləri-II", Qazaxıstan, Almatı, 2011; The 4th Congress of the Turkic World Mathematical Society (TWMS), Baku, 2011; International Conference «Optimization Methods and Applications» (OPTIMA), Costa Da Caparica, Portugal, 2012; International Conference «Optimization Methods and Applications» (OPTIMA), Petrovac, Montenegro, 2011, 2014; VI Beynəlxalq Konfrans (MPMO-2017), Rusiya, Ulan-Ude, 2017; Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans "Neft və qaz sənayesində innovativ texnologiyalar", Rusiya Stavropol, 2015; "Tətbiqi Riyaziyyat və Fundamental İnformatika" Beynəlxalq Konfransı, Omsk, Rusiya, 2016, 2017; Qazaxıstan Respublikasının Müstəqilliyinin 25 illiyinə və İnformasiya və Hesablama Texnologiyaları İnstitutunun 25 illiyinə həsr olunmuş "İnformatika və Tətbiqi Riyaziyyat" Beynəlxalq Elmi Konfransı, Qazaxıstan, Almatı, 2016; Əməkdar elm xadimi Y.D.Məmmədovun 80 illik yubileyinə həsr olunmuş "Riyaziyyat və mexanikanın aktual problemləri" beynəlxalq konfransı, 2010, Bakı; Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin 90 illiyinə həsr olunmuş "Neft və Qaz, Neft Emalı və Neft Kimyası" Beynəlxalq Konfransı, 2010; Heydər Əliyevin anadan olmasının 90 illiyinə həsr olunmuş "Riyaziyyat və informatikanın aktual problemləri" beynəlxalq konfransı, Bakı, 2013; Akademik A.X. Mirzəcanzadənin 85 illik yubileyinə həsr olunmuş "Neft və qaz sənayesində qeyri-Nyuton sistemləri" beynəlxalq konfransı, Bakı, 2013; XI Beynəlxalq Chetaev Elmi Konfransı "Analitik Mexanika, Sabitlik və Nəzarət", Kazan, 2017; "Tətbiqi riyaziyyat və fizikanın aktual problemləri" beynəlxalq konfransı, Kabardino-Balkariya Respublikası, Elbrus bölgəsi, 2017.

Tədqiq olunan işin nəticələri, həmçinin, Azərbayan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin "Ümumi və tətbiqi riyaziyyat" kafedrasının, AMEA İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun "Determinik sistemlərdə qərar qəbuletmənin ədədi üsulları" laboratoriyasının, AMEA Mexanika və Riyaziyyat İnstitutunun, Bakı Dövlət Universiteti nəzdində Tətbiqi Riyaziyyat elmi-tədqiqat İnstutunun, Yaşar və Dokuz Eylül (İzmir, Türkiyə), Ukrayna MEA-nın Kibernetika İnstitutunun elmi seminarlarında, habelə bir çox Respublika və beynəlxalq konfranslara məruzə edilmişdir.

Nəşrlər. Dissertasiya işinin mövzusuna dair 71 elmi əsər dərc edilmişdir, bunlarda 18-i xarici ölkələrdə çap olunmaqla 26-i məqalədir, həmçinin 18 əsər Scopus verilənlər bazasına, 11 iş beynəlxalq Thomson Reuters agentliyinin Web of ScienceTM Core Collection verilənlər bazasına daxildir, 29 məqalə beynəlxalq konfransların materiallarında çap olunmuşdur.

İşin həcmi və strukturu. Dissertasiya işi giriş, 6 fəsil, nəticə, əlavə və 208 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiyanın ümumi həcmi 329 səhifə, əsas həcmi isə 15 cədvəl, 15 şəkil daxil olmaqla 238 səhifə təşkil edir. Başlıq səhifəsi – 441 simvol, mündəricat - 3382 simvol, giriş - 76411 simvol, dissertasiyanın məzmunu - 315508 simvol (1-ci fəsil - 35676 simvol, 2-ci fəsil - 37506 simvol, 3-cü fəsil - 75314 simvol) - 41346 simvol, 5-ci fəsil - 71752 işarə, 6-cı fəsil - 53914 simvol), nəticələr - 2597 simvol, ədəbiyyat - 32869 simvol, cəmi - 431208 simvoldan ibarətdir.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Girişdə dissertasiyanın mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, əsas məqsədi formalaşdırılmış və işlərin qısa məzmunu verilmişdir.

Dissertasiyanın **birinci fəsli** üç paraqrafdan ibarətdir. Bu fəsildə obyektin riyazi modelindəki onun faza vəziyyətindən asılı əmsallarının identifikasiyası məsələsi tədqiq olunur.

Birinci fəsildə tədqiq olunan dinamik obyektlər ümumi halda qeyri-xətti diferensial tənliklər sistemi ilə təsvir olunur:

$$\dot{\mathrm{x}}(t) = f\left(\mathrm{x}(t), K\big(\mathrm{x}(t)\big)\right),\ \ t \in (0, T], \qquad (1)$$

burada $\mathrm{x}(t) \in \mathbb{R}^n$ – faza vəziyyətinin kəsilməz və sanki hər yerdə kəsilməz diferensiallanan vektor-funksiyadır; $K(\mathrm{x}) \in \mathbb{R}^r$ – riyazi modelin əmsallarını təyin edən identifikasiya olunan kəsilməz və sanki hər yerdə kəsilməz diferensiallanan vektor-funksiyadır; $f(\mathrm{x}, K)$ bütün arqumentlərinə nəzərən kəsilməz diferensiallanan verilmiş vektor-funksiyadır.

(1) prosesinin riyazi modelindəki əmsalların identifikasiyası məqsədilə hesab olunur ki, müxtəlif başlanğıc vəziyyətlər üçün obyektin vəziyyətinin dinamikasının N sayda asılı olmayan müşahidələri mövcuddur:

$$\mathrm{x}^i(0) = \mathrm{x}_0^i,\ \ i = 1,2, \dots, N. \qquad (2)$$

Müşahidələrin nəticələri hər hansı komponentlər və ya ayrı-ayrı zamanlarda bütün vəziyyət vektoru ola bilər

$$\mathrm{x}\big(t_{ij}; \mathrm{x}_0^i\big) = \mathrm{x}^{ij},\ \ t_{ij} \in (0, T],\ \ j = 1,2, \dots, M_i, i = 1,2, \dots, N, \qquad (3)$$

Xüsusi halda, T son zaman anında

$$\mathrm{x}\big(T; \mathrm{x}_0^i\big) = \mathrm{x}_T^i,\ \ i = 1,2, \dots, N, \qquad (4)$$

burada M_i - x_0^i başlanğıc şərtli obyektin vəziyyətinin müşahidələrinin aparıldığı zaman anlarının sayıdır. Obyektin vəziyyəti müəyyən aralıq zaman anlarında verilmiş müxtəlif başlanğıc şərtləri üçün müşahidə edilə bilər:

$$\begin{gathered} \mathrm{x}\big(t; \mathrm{x}_0^i\big) = \mathrm{y}^{ij}(t),\ t \in \left[\tau_{ij-1}, \tau_{ij}\right] \in [0, T], \tau_{ij-1} < \tau_{ij}, \\ j = 1,2, \dots, M_i; i = 1,2, \dots, N, \end{gathered} \qquad (5)$$

burada M_i - x_0^i başlanğıc şərtli obyektin vəziyyətinin müşahidələrinin aparıldığı zaman intervallarının sayıdır. Müşahidələr qarışıq tipdə də ola bilər, yəni həm (3) və ya (4) kimi nöqtəvi, həm də (5) kimi interval şəkilli.

Baxılan məsələ (1) sisteminin (2), (3), (4) və ya (5) şəkilli müşahidələrinin nəticələrinə əsasən naməlum $K(\mathrm{x})$ əmsallarının təyinindən (identifikasiyasından) ibarətdir.

İdentifikasiyanın keyfiyyəti ən kiçik kvadratlar üsulunun kriteriyası ilə qiymətləndirilir, burada hər növ (3)-(5) müşahidələri üçün konkret kriteriya növü fərqlidir. (4) final müşahidələri üçün identifikasiyanın keyfiyyət kriteriyası aşağıdakı şəkildədir:

$$\mathrm{J}\big(K(\mathrm{x})\big) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \mathrm{J}^i\left(\mathrm{x}\left(T; \mathrm{x}_0^i, K(\mathrm{x})\right)\right) +$$

$$+\varepsilon\left\|K(\mathrm{x}) - \widehat{K}(\mathrm{x})\right\|_{L_2^r}^2 \to \min_{K(\mathrm{x})}, \qquad (6)$$

$$\mathrm{J}^i\left(\mathrm{x}\left(T; \mathrm{x}_0^i, K(\mathrm{x})\right)\right) = \left\|\mathrm{x}\left(T; \mathrm{x}_0^i, K(\mathrm{x})\right) - \mathrm{x}_T^i\right\|_{\mathbb{R}^n}^2,$$

burada $\mathrm{x}(t) = \mathrm{x}\left(T; \mathrm{x}_0^i, K(\mathrm{x})\right)$ – hər hansı başlanğıc x_0^i şərti və $K(\mathrm{x}) \in \mathbb{R}^r$ vektor-funksiyası ilə təyin olunan əmsallar üçün (1) məsələsinin həllidir, $\varepsilon > 0$, $\widehat{K}(\mathrm{x})$ – requlyarlaşma parametrləridir.

(1) diferensial tənliklər sisteminin naməlum əmsallarının bərpası üçün yanaşma təklif edilir. Bu yanaşmada bütün mümkün faza vəziyyətləri çoxluğu sonlu sayda altçoxluqlara bölünür, bu altçoxluqların hər birində əmsallar parametrik şəkildə verilmiş bazis funksiyaları vasitəsilə təyin olunan vəziyyət funksiyaları sinfində axtarılır. Bu zaman ilkin məsələ əmsalların təsvirində iştirak edən sabit parametrlərin təyininə gətirilir.

$X \subseteq \mathbb{R}^n$ ilə başlanğıc nöqtələrin və $K(\mathrm{x})$ əmsallarının bütün mümkün qiymətləri üçün obyektin bütün mümkün faza vəziyyətləri çoxluğunu işarə edək. Tutaq ki, X verilmiş sonlu L sayda birəlaqəli $X^k \subset X$ altçoxluqlarına (zonalarına) bölünüb. Faza fəzasının zonaları

$$X^\nu = \{\mathrm{x} \in \mathbb{R}^n : \mathrm{g}^{\nu-1}(\mathrm{x}) > 0, \mathrm{g}^\nu(\mathrm{x}) \le 0\},\ \nu = 2,3,\dots,L-1,$$

$$X^1 = \{\mathrm{x} \in \mathbb{R}^n : \mathrm{g}^1(\mathrm{x}) \le 0\},\ X^L = \{\mathrm{x} \in \mathbb{R}^n : \mathrm{g}^{L-1}(\mathrm{x}) > 0\},$$

verilmiş sanki hər yerdə kəsilməz-diferensiallanan $\mathrm{g}(\mathrm{x}) = \left(\mathrm{g}^1(\mathrm{x}), \mathrm{g}^2(\mathrm{x}), \dots, \mathrm{g}^{L-1}(\mathrm{x})\right)$ funksiyaları vasitəsilə öz sərhədləri ilə təyin olunur.

İdentifikasiya olunan $K(\mathrm{x}) = \left(k_1(\mathrm{x}), k_2(\mathrm{x}), \dots, k_r(\mathrm{x})\right)$ əmsallarını $X^\nu, \nu = 1,2,\dots,L$, zonalarının hər birində aşağıdakı təsvir şəklində təyin edək:

$$K(\mathrm{x}) = K^\nu(\mathrm{x}) = \left(k_1^\nu(\mathrm{x}), k_2^\nu(\mathrm{x}), \dots, k_r^\nu(\mathrm{x})\right) \in \mathbb{R}^r,$$

$$k_s^\nu(\mathrm{x}) = \sum_{i=1}^{m} p_{si}^\nu \phi_i(x), \qquad p_{si}^\nu = \mathrm{const}, \qquad (7)$$

$$s = 1,2, \dots, r, \; i = 1,2, \dots, m;$$
$$\mathrm{x} \in X^{\nu}, \nu = 1,2, \dots, L, \; t \in (0, T],$$

burada $\phi_i(x)$, $i = 1,2, \dots, m$, – verilmiş kəsilməz-diferensiallanan xətti-asılı olmayan basis funksiyalarıdır; p_{si}^{ν} – identifikasiya olunan funksiyaları təyin edən hələlik naməlum sabit parametrlərdir. Bir qayda olaraq, $K(\mathrm{x})$ əmsalları real məsələlərdə texniki-texnoloji məhdudiyyətləri ödəməlidirlər və deməli $p = (p^1, p^2, \dots, p^L)$, $p^{\nu} = (p_{11}^{\nu}, p_{12}^{\nu}, \dots, p_{1m}^{\nu}, \dots, p_{rm}^{\nu})$, $\nu = 1,2, \dots, L$, parametrləri də müəyyən uyğun məhdudiyyətləri ödəməlidir. p^{ν} zonal parametrlərin mümkün qiymətləri çoxluğunu $P^{\nu} \subset \mathbb{R}^{r \times m}$, $\nu = 1,2, \dots, L$, ilə işarə edək və hesab edirik ki, onlar qapalı və məhduddur, $P = P^1 \times P^2 \times \dots \times P^L$.

Belə olan halda $x(t)$ prosesinin cari vəziyyətini təyin edən (1) diferensial tənliklər sisteminin həlli x_0 başlanğıc vəziyyətindən və p parametrlər vektorunun zonal qiymətlərindən asılıdır, yəni $\mathrm{x}(t) = \mathrm{x}(t; \mathrm{x}_0, p)$, həm də hər zonanın daxilində $\mathrm{x}(t)$ kəsilməz-diferensiallanandır, bir zonadan digərinə keçid nöqtələrində kəsilməzdir.

Beləliklə, $K(\mathrm{x})$ əmsallarının təyini üçün (1)-(6) ilkin məsələ axtarılan əmsalların aproksimasiya olunduğu sabit $p \in \mathbb{R}^{L \times r \times m}$ parametrlərinin təyini məsələsi ilə əvəz edilir.

(6) identifikasiya kriteriyası (7) təsvirini nəzərə alsaq, aşağıdakı şəklə düşəcək:

$$\mathrm{J}(p) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \mathrm{J}^i\left(\mathrm{x}\left(T; \mathrm{x}_0^i, p\right)\right) + \varepsilon \| p - \hat{p} \|_{\mathbb{R}^{L \times r \times m}}^2 \to \min_{p \in P}, \tag{8}$$
$$\mathrm{J}^i\left(\mathrm{x}\left(T; \mathrm{x}_0^i, p\right)\right) = \left\| \mathrm{x}\left(T; \mathrm{x}_0^i, p\right) - \mathrm{x}_T^i \right\|_{\mathbb{R}^n}^2,$$

burada $\mathrm{x}(t) = \mathrm{x}\left(t; \mathrm{x}_0^i, p\right)$ – (1) Koşi məsələsinin (7) təsvirini nəzərə almaqla verilmiş p mümkün parametrlər vektoru və x_0^i başlanğıc vəziyyətinə uyğun həllidir; $\hat{p}$ – (6)-dakı $\widehat{K}(\mathrm{x})$ funksiyasına uyğun requlyarlaşma parametridir.

(1), (2), (8) məsələsini parametrik optimal idarəetmə məsələsinə aid etmək olar. Eyni zamanda bu məsələ sonlu ölçülü p parametrlər vektoru optimallaşdırıldığından və sonluölçülü optimallaşdırma məsələlərinə də aid edilir. Onun həlli üçün məlum effektiv, xüsusən də birinci tərtib ədədi üsullar və hazır standart proqram vasitələrindən istifadə etmək olar. Bunun üçün məlumdur ki, (8) məqsəd funksionalının p vektoruna nəzərən qradiyentinin komponentlərini hesablama düsturları almaq lazımdır $-\nabla_p \mathrm{J}(p)$.

Faza fəzasının ixtiyari sayda zonaları üçün, ümumi halda məqsəd funksionalının qradiyentinin komponentləri üçün alınmışdır:

$$\frac{\mathrm{d}\,\mathrm{J}(p)}{\mathrm{d}\,p_{kj}^{l}} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\,p_{kj}^{l}} \mathrm{J}^{i}\left(\mathrm{x}\left(T; \mathrm{x}_0^i, p\right)\right) + 2\varepsilon\left(p_{kj}^{l} - \hat{p}_{kj}^{l}\right),$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\,p_{kj}^{l}} \mathrm{J}^{i}\left(\mathrm{x}\left(T; \mathrm{x}_0^i, p\right)\right) = \int_{\Pi_l(\mathrm{x}_0^i, p)} \left[\psi^*\left(t; \mathrm{x}_0^i, p\right) \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \frac{\partial f\left(\mathrm{x}\left(t; \mathrm{x}_0^i, p\right), K^l\right)}{\partial K^l} \cdot \frac{\partial K^l}{\partial p_{kj}^{l}}\right] \mathrm{d}t,$$

burada $\Pi_l\left(\mathrm{x}_0^i, p\right)$, $l = 1,2,\ldots,L$, $i = 1,2,\ldots,N$, $-$ x_0^i başlanğıc şərti və p parametrinin qiymətlərinə uyğun trayektoriyanın X^l zonasında yerləşdiyi zaman intervalıdır; $\psi\left(t; \mathrm{x}_0^i, p\right)$ – aşağıdakı qoşma sistemin həllidir:

$$\dot{\psi}^*\left(t; \mathrm{x}_0^i, p\right) = -\psi^*\left(t; \mathrm{x}_0^i, p\right) \cdot \frac{\partial f\left(\mathrm{x}\left(t; \mathrm{x}_0^i, p\right), K^l\right)}{\partial \mathrm{x}},\ t \in \Pi_l\left(\mathrm{x}_0^i, p\right),$$

$$\psi\left(T; \mathrm{x}_0^i, p\right) = \frac{\partial \mathrm{J}^{i}\left(\mathrm{x}\left(T; \mathrm{x}_0^i, p\right)\right)}{\partial \mathrm{x}},$$

və bu həll (1) sisteminin trayektoriyasının zonaların sərhədinə düşməsi anında aşağıdakı sıçrayış şərtini ödəyir:

$$\psi\left(\bar{t}_l - 0\right) = \psi\left(\bar{t}_l + 0\right) - \frac{\partial \mathrm{g}\left(\mathrm{x}\left(\bar{t}_l\right)\right)}{\partial \mathrm{x}} \cdot \gamma,$$

$$\gamma = \frac{\psi^*\left(\bar{t}_l + 0\right) \cdot \left[f\left(\mathrm{x}\left(\bar{t}_l\right), K^l\right) - f\left(\mathrm{x}\left(\bar{t}_l\right), K^{l+1}\right)\right]}{\frac{\partial \mathrm{g}^*\left(\mathrm{x}\left(\bar{t}_l\right)\right)}{\partial \mathrm{x}} \cdot f\left(\mathrm{x}\left(\bar{t}_l\right), K^l\right)}$$

$$l = 1,2,\ldots,L-1.$$

Birinci fəslin sonunda müəllif tərəfindən hazırlanmış proqram təminatının istifadəsi ilə test məsələlərin həlli timsalında ədədi eksperimentlərin nəticələri verilmişdir.

Dissertasiyanın **ikinci fəsli** üç paraqrafdan ibarətdir. Bu fəsildə kəsilən dinamik TPO–ların parametrik identifikasiyası məsələsi tədqiq olunur. Kəsilən (dəyişən strukturlu, kompozit, pilləvari və s.) adi diferensial tənliklər sistemi ilə təsvir olunan dinamik proseslər üçün tərs məsələlər sinfinə baxılır. Bu sistemlərin şəkli prosesin vəziyyətinin vəziyyətlər fəzasının bu və ya digər altoblastına aid olmasından asılı olaraq dəyişir. Bu məsələlərə çox müəlliflər tərəfindən baxılıb. Əvvəllər aparılan tədqiqatlardan fərqli olaraq bu işdə keçidlərin səthləri özləri identifikasiya olunur. Funksionalın identifikasiya olunan parametrlərinə nəzərən qradiyentin komponentləri üçün düsturlar alınmışdır.

Fərz edək ki, tədqiq olunan obyektin dinamikası dəyişkən strukturlu qeyri-xətti diferensial tənliklər sistemi ilə təsvir olunur:

$$\dot{\mathrm{x}}(t) = f^l\left(\mathrm{x}(t), p^l(t)\right), \mathrm{x}(t) \in X^l(t),\ t \in (0, T],\quad l = 1,2,\dots,L, \tag{9}$$

burada $\mathrm{x}(t) \in \mathbb{R}^n$ – prosesin vəziyyətini təyin edın vektordur; $p^l(t) \in \mathbb{R}^{r_l}$ – prosesin vəziyyətinin X bütün mümkün vəziyyətlər fəzasının $X^l(t)$ – altoblastlarına (zonalarına) daxil olduğu parametrlərin qiymətləridir, yəni $X^l(t) \subset X \subseteq \mathbb{R}^n$, $l = 1,2,\dots,L$. Funksional $p^l = p^l(t)$ parametrləri dəqiqliyi ilə verilmiş $f^l(.,.)$, $l = 1,2,\dots,L$, vektor-funksiyaları öz arqumentlərinə nəzərən kəsilməz-diferensiallanandır.

Faza fəzasının zonaları

$$\begin{gathered} X^l(t) = \{\mathrm{x}(t) \in \mathbb{R}^n : \mathrm{g}^{l-1}(x,t) > 0, \mathrm{g}^l(x,t) \le 0\}, \\ l = 2,3,\dots,L-1, \\ X^1(t) = \{\mathrm{x}(t) \in \mathbb{R}^n : \mathrm{g}^1(x,t) \le 0\}, \\ X^L(t) = \{\mathrm{x}(t) \in \mathbb{R}^n : \mathrm{g}^{L-1}(x,t) > 0\}, \end{gathered} \tag{10}$$

birəlaqəlidir və identifikasiya olunan sanki hər yerdə iki dəfə kəsilməz-diferensiallanan $\mathrm{g}(x,t)=\left(\mathrm{g}^1(x,t),\mathrm{g}^2(x,t),\dots,\mathrm{g}^{L-1}(x,t)\right)$ funksiyaları vasitəsilə öz sərhədləri ilə təyin olunur, burada

$$\operatorname{int} X^{l_1}(t)\cap\operatorname{int} X^{l_2}(t)=\emptyset,\ \ l_1\neq l_2,\ \ l_1,l_2=1,2,\dots,L,$$

$$\bigcup_{l=1}^{L} X^l(t)=X.$$

(9) sisteminin həlli $\mathrm{x}(t)$ – vektor-funksiyası $\mathrm{x}(t)$-nin kəsilməz olduğu $\mathrm{g}^l\left(\mathrm{x}(\bar{t}_l),\bar{t}_l\right)=0,\ l=1,2,\dots,L-1,$ sağ tərəflərin kəsilmə səthinə trayektoriyanın $\bar{t}_l$ düşmə zamanlarından başqa hər yerdə kəsilməz-diferensiallanandır.

$$p(t)=\left(p^1(t),p^2(t),\dots,p^L(t)\right)=$$
$$=\left(p_1^1(t),p_2^1(t),\dots,p_{r_1}^1(t),p_1^2(t),\dots,p_{r_L}^L(t)\right)\in\mathbb{R}^r,$$
$$r=\sum_{l=1}^{L} r_l.$$

işarə edək. Hesab olunur ki, naməlum parametrlərin identifikasiyası məqsədilə obyektin dinamikası üzərində müxtəlif başlanğıc vəziyyətlər üçün N sayda asılı olmayan müşahidələr aparılıb:

$$\mathrm{x}^i(0)=\mathrm{x}_0^i,\ i=1,2,\dots,N. \tag{11}$$

Bu zaman $\mathrm{x}(t)$ prosesinin cari vəziyyəti onun x_0 başlanğıc vəziyyətindən, $X^l(t),\ l=1,2,\dots,L,$ oblastlarını təyin edən $\mathrm{g}(x,t)$ funksiyasından və $p(t)$ parametrinin uyğun qiymətlərindən asılıdır, yəni $\mathrm{x}(t)=\mathrm{x}(t;\mathrm{x}_0,p,\mathrm{g})$. Müşahidələr ya hər-hansı komponentlər, ya da obyektin bütün vəziyyət vektoru üzərində ya ayrı-ayrı intervallarda, ya da zaman anlarında aparıla bilər, xüsusi halda, T son zaman anında

$$\mathrm{x}^i\left(T;\mathrm{x}_0^i,p,\mathrm{g}\right)=\mathrm{x}_T^i,\ \ i=1,2,\dots,N, \tag{12}$$

burada N – x_0^i başlanğıc şərtli obyektin i-ci eksperimentdə vəziyyəti üzərində aparılan müşahidə zamanlarının sayıdır.

Praktikada çox tez-tez rast gələn hallara baxılıb, burada zonalar üzrə identifikasiya olunan parametrlər hissə-hissə sabit funksiyalardır, məhz

$$p^l\,(t)=p^l=\mathrm{const},\ p^l\in\mathbb{R}^{r_l},\mathrm{x}(t)\in X^l, \tag{13}$$

$$l = 1,2,\dots,L;\quad t \in (0,T].$$

Tədqiq olunan məsələ $(L-1)$-ölçülü $\mathrm{g}(x,t)$ vektor-funksiyasının və sonluölçülü $p \in \mathbb{R}^r$ vektorunun təyinindən ibarətdir. Hər tip müşahidə üçün identifikasiyanın uyğun keyfiyyət kriteriyası seçilməlidir. (12) şəkilli müşahidələr halında orta kvadratik keyfiyyət kriteriyası istifadə etmək olar:

$$\mathrm{J}(p,\mathrm{g}) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \mathrm{J}_i\big(\mathrm{x}^i(T;\mathrm{x}_0^i,p,\mathrm{g}),p,\mathrm{g}\big),$$
$$\mathrm{J}_i\big(\mathrm{x}^i(\cdot),p,\mathrm{g}\big) = \left\|\mathrm{x}^i(\cdot) - \mathrm{x}_T^i\right\|_{\mathbb{R}^n}^2. \qquad (14)$$

İdentifikasiya məsələsi (9)-(12) şərtləri daxilində (14) funksionalının minimallaşdırılmasından ibarət parametrik optimal idarəetmə məsələsinə gətirilir.

$\mathrm{g}^l(x,t)$, $l = 1,2,\dots,L-1$, funksiyalarını təyin etmək üçün onları xətti asılı olmayan kəsilməz diferensiallanan $\{\phi^i(x,t)\}$, $i = 1,2,\dots,\bar{k}$, funksiyalarının hər-hansı sonlu sistemi vasitəsilə parametrləşdirmək təklif olunur. Burada $\mathrm{g}^l(x,t)$, $l = 1,2,\dots,L-1$, funksiyalarının aşağıdakı şəkildəki təsvirindən istifadə edilir:

$$\mathrm{g}^l(\mathrm{x},t) = \mathrm{g}^l(\mathrm{x},t;\alpha^l) = \sum_{i=1}^{k_l} \alpha_i^l\, \phi^i(\mathrm{x},t)\,,\ l = 1,2,\dots,L-1$$

$$\alpha^l \in \mathbb{R}^{k_l},\ \ k = \sum_{l=1}^{L-1} k_l\,,\ \ \bar{k} = \max_{1\le l\le L-1} k_l,$$

$$\alpha = \left(\alpha_1^1,\alpha_2^1,\dots,\alpha_{k_1}^1,\alpha_1^2,\dots,\alpha_{k_{L-1}}^{L-1}\right) \in \mathbb{R}^k.$$

Bu halda $\mathrm{g}(x,t)$ funksiyasının təyini məsələsi α vektorunun identifikasiyası məsələsi ilə əvəz olunur.

Beləliklə, (9)-(14) sonluölçülü $z = (p,\alpha) \in \mathbb{R}^{r+k}$ vektoruna nəzərən parametrik identifikasiya məsələsidir. Məqsəd funksionalının qradiyentinin komponentləri üçün düsturlar alınmışdır: $\nabla\mathrm{J}(z) = \left(\nabla_p\mathrm{J}(z),\nabla_\alpha\mathrm{J}(z)\right)$, sonuncular isə birinci tərtib optimallıq şərtlərini formalaşdırmağa, həmçinin qoyulmuş identifikasiya məsələsinin həlli üçün məlum birinci tərtib effektiv ədədi üsullar və hazır proqram vasitələri istifadə etməyə imkan verir.

Teorem 2.1. (9)-(14) məsələsində α^* vektorunun optimallığı üçün

$$\frac{\partial \mathrm{J}(p,\mathrm{g})}{\partial \alpha_s^l} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \frac{\partial}{\partial \alpha_s^l} \mathrm{J}_i\left(\mathrm{x}^i\left(T;\mathrm{x}_0^i,p,\mathrm{g}\right),p,\mathrm{g}\right) = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha_s^l} \mathrm{J}_i\left(\mathrm{x}^i\left(T;\mathrm{x}_0^i,p,\mathrm{g}\right),p,\mathrm{g}\right) = \sigma_i^l \cdot \phi^s\left(\mathrm{x}\left(\bar{t}_{l,i};\mathrm{x}_0^i\right),\bar{t}_{l,i}\right), \qquad (15)$$

$$s = 1,2,\dots,k;$$

$$\sigma_i^l = \frac{\psi^*\left(\bar{t}_{l,i}+0;\mathrm{x}_0^i\right)\cdot\left[f^l\left(\mathrm{x}\left(\bar{t}_{l,i}\right),p^l\left(\bar{t}_{l,i}\right)\right) - f^{l+1}\left(\mathrm{x}\left(\bar{t}_{l,i}\right),p^{l+1}\left(\bar{t}_{l,i}\right)\right)\right]}{\mathrm{g}_{\mathrm{x}}^{l*}\left(\mathrm{x}\left(\bar{t}_{l,i}\right),\bar{t}_{l,i};\alpha\right)\cdot f^l\left(\mathrm{x}\left(\bar{t}_{l,i}\right),p^l\left(\bar{t}_{l,i}\right)\right) + \mathrm{g}_t^l\left(\mathrm{x}\left(\bar{t}_{l,i}\right),\bar{t}_{l,i};\alpha\right)}$$

$$l = 1,2,\dots,L-1; \qquad (16)$$

şərtinin ödənməsi zəruridir. Burada $\bar{t}_{l,i}$ –sistemin x_0^i başlanğıc şərtli trayektoriyasının $\mathrm{g}^l(\mathrm{x},t;\alpha) = 0$ keçid səthi ilə kəsişmə anı; $\psi\left(t;\mathrm{x}_0^i\right)$ aşağıdakı qoşma sistemin həllidir:

$$\dot{\psi}^*\left(t;\mathrm{x}_0^i\right) = -\psi^*\left(t;\mathrm{x}_0^i\right)\cdot\frac{\partial f^l\left(\mathrm{x}(t),p^l(t)\right)}{\partial \mathrm{x}}, t \in \Pi_l\left(x_0^i;\alpha,p\right), \qquad (17)$$

$$\psi\left(T;\mathrm{x}_0^i\right) = -\frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}\mathrm{J}_i\left(\mathrm{x}^i\left(T;\mathrm{x}_0^i,p,\mathrm{g}\right),p,\mathrm{g}\right),$$

sonuncu (9) sisteminin trayektoriyasının keçid səthi ilə kəsişmə anında aşağıdakı sıçrayış şərtini ödəyir:

$$\psi\left(\bar{t}_{l,i}-0;\mathrm{x}_0^i\right) = \psi\left(\bar{t}_{l,i}+0;\mathrm{x}_0^i\right) - \sigma_i^l\cdot\mathrm{g}_{\mathrm{x}}^l\left(\mathrm{x}\left(\bar{t}_{l,i}\right),\bar{t}_{l,i};\alpha\right).$$

Burada $\Pi_l\left(\mathrm{x}_0^i;\alpha,p\right)$, $l = 1,2,\dots,L$, $i = 1,2,\dots,N$, – (α,p) parametrlərinin cari qiymətlərində x_0^i başlanğıc şərtli trayektoriyanın X^l zonasında olduğu zaman intervalıdır.

Əvvəlki işlərin nəticələrini ümumiləşdirərək məqsəd funksionalının obyektin p parametrlər vektoruna nəzərən qradiyenti üçün düsturlar alınmışdır:

$$\frac{\partial \mathrm{J}(p,\mathrm{g})}{\partial p^k} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\int_{\underline{t}_k}^{\bar{t}_k}\left[-\frac{\partial f\left(\mathrm{x}\left(t;\mathrm{x}_0^i\right)\right)}{\partial p^k}\cdot\psi\left(t;\mathrm{x}_0^i\right)\right]\mathrm{d}t, \qquad (18)$$

burada $\left(\underline{t}_k, \overline{t}_k\right]$, $k = 1,2, \dots, L$, – trayektoriyanın X^k oblastında qaldığı zamandır, və deməli, p vektoru p^k qiymətini alır.

Test məsələlərin həlli timsalında ədədi eksperimentlərin nəticələri verilmişdir.

Dissertasiyanın **üçüncü fəsli** 5 paraqrafdan ibarətdir. Bu fəsildə obyektin giriş və çıxışlarına nəzərən müxtəlif növ əks əlaqələr üçün və obyektin parametrləri haqqında qeyri-dəqiq verilmiş informasiya halında zonal idarəetmələrin müxtəlif siniflərində qeyri-xətti TPO-nun idarəetmənin sintezi məsələləri tədqiq olunur.

Dinamik obyektin darəetmənin sintezi məsələsinə baxaq. Obyektin faza vəziyyəti $\mathrm{x}(t) \in \mathbb{R}^n$ kəsilməz, hissə-hissə kəsilməz-diferensiallanan funksiyadır və qeyri-xətti diferensial tənliklər sistemi ilə təsvir olunur:

$$\dot{\mathrm{x}}(t) = f(\mathrm{x}(t), \mathrm{u}(t), p), \;\; t \in (0, T]. \tag{19}$$

Burada $\mathrm{u}(t) \in U$ – r-ölçülü kəsilməz idarəedici təsirlər vektorudur və mümkün qiymətlər oblastı qapalı, qabarıq $U \subset \mathbb{R}^r$ çoxluğudur; p – obyektin zamandan asılı sabit m-ölçülü parametrlər vektorudur, dəqiq qiymətləri məlum deyil, lakin əvvəlcədən verilmiş müəyyən P çoxluğundan qiymətlər ala bilər və bu qiymətlərin verilmiş sıxlıq (çəki) funksiyası P-də aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$0 \le \rho_P(p) \le 1, \; p \in P, \int_P \rho_P(p)\mathrm{d}p = 1; \tag{20}$$

T – idarəetmə prosesinin davametmə müddətidir. Вектор-функция $f(\mathrm{x}, \mathrm{u}, p)$ vektor-funksiyası ilk iki arqumentinə nəzərən kəsilməz diferensiallanan, 3-cü arqumentinə nəzərən isə kəsilmzədir.

Hesab edəcəyik ki, obyektin başlanğıc vəziyyəti $\mathrm{x}^0 = \mathrm{x}(0)$ dəqiq verilməyib, lakin X^0 – mümkün başlanğıc vəziyyətlər çoxluğu məlumdur və X^0-da təyin olunan $\rho_{X^0}(\mathrm{x})$ sıxlıq (çəki) funksiyasına malikdir:

$$0 \le \rho_{X^0}(\mathrm{x}) \le 1, \mathrm{x}^0 \in X^0, \int_{X^0} \rho_{X^0}(\mathrm{x})\mathrm{dx} = 1. \tag{21}$$

Hər bir konkret verilmiş başlanğıc $\mathrm{x}^0 \in X^0$ nöqtəsi və $p \in P$ parametrlərinin qiymətləri üçün $[0, T]$ zaman parçasında obyektin idarəedilməsinin keyfiyyətini aşağıdakı funksional vasitəsilə qiymətləndirək:

$$\mathrm{I}(\mathrm{u};T,\mathrm{x}^0,p)=\int_0^T f^0\big(\mathrm{x}(t),\mathrm{u}(t)\big)\mathrm{d}t+\Phi(\mathrm{x}(T),T), \qquad (22)$$

burada $\mathrm{x}(t)=\mathrm{x}(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u})\ -\ \mathrm{x}(0)=\mathrm{x}^0\in X^0$ başlanğıc şərtli (19) diferensial tənliklər sisteminin $\mathrm{u}(t)\in U$ idarəetməsinə və $p\in P$ parametrlərinin qiymətlərinə uyğun həllidir.

Prosesin qurtarma vaxtı T həm (22) funksionalında olduğu kimi verilmiş qiymət, həm də optimallaşdırılan kəmiyyət ola bilər, məsələn, teztəsir məsələlərindəki kimi. Nəzərə alsaq ki, başlanğıc vəziyyət və parametrlərin qiymətləri dəqiq verilməyib, lakin uyğun çoxluqda sıxlıq funkisyaları dəqiqliyi ilə təyin edilib, onda obyekti idarəetmənin keyfiyyətini (22) funksionalının bütün mümükün $\mathrm{x}^0\in X^0$ başlanğıc vəziyyətlərinə və $p\in P$ parametrlərinin qiymətlərinə nəzərən aşağıdakı orta qiymət ilə qiymətləndirə bilərik:

$$\mathrm{J}(\mathrm{u},T)=\frac{1}{\mathrm{mes}X^0\cdot\mathrm{mes}P}\int_{X^0}\int_P \mathrm{I}(\mathrm{u};T,\mathrm{x}^0,p)\,\rho_{X^0}(\mathrm{x})\rho_P(p)\mathrm{d}p\mathrm{dx}^0. \qquad (23)$$

(19) prosesinin dinamikasını idarəedilməsi qeyri-xətti $\mathrm{x}(t)$ vəziyyət funksiyası ilə təyin olunan obyektin $\mathrm{y}(t)$ çıxışının cari vəziyyəti ilə əks əlaqənin mövcudluğu nəzərə alınaraq həyata keçirilir:

$$\mathrm{y}(t)=G\big(\mathrm{x}(t)\big),\ \ \mathrm{y}\in\mathbb{R}^\nu, \qquad (24)$$

burada ν-ölçülü $G(\mathrm{x})$ müşahidə vektor-funksiyası obyektin mümkün vəziyyətlərinin $X\subset\mathbb{R}^n$ çoxluğunda hər dəyişənə nəzərən kəsilməz diferensiallanandır. Obyektin dinamikası müxtəlif $\mathrm{x}^0\in X^0$ başlanğıc vəziyyətləri, $\mathrm{u}(t)\in U$, $t\in(0,T]$ idarəetməsinin və $p\in P$ parametrlərinin qiymətlərində (19) sistemi ilə təsvir olunur.

Əks əlaqə (çıxışın vəziyyəti haqqında informasiyanın alınması) $t\in(0,T]$ olduqda həm kəsilməz, həm də verilmiş diskret $\tau_j\in[0,T]$, $j=0,1,2,\ldots,N$, zaman anlarında həyata keçirilə bilər.

İdarəetmə prosesində $\mathrm{u}(t)$ idarəedici təsirlərin qiymətləri aşağıdakı şəkildə təyin olunacaq. Tutaq ki, $Y\subset\mathbb{R}^\nu$ – $\mathrm{x}(\cdot)\in X$ vəziyyətlərinin müxtəlif mümkün qiymətləri üçün müşahidə olunan və (24)-lə təyin olunan $\mathrm{y}(\cdot)$ çıxış vektorunun qiymətləri çoxluğudur. Y çoxluğunu L sayda kəsişməyən açıq altçoxluqlara bölək (zonalara) $Y^i \subset \mathbb{R}^\nu$ belə ki,

$$Y = \bigcup_{i=1}^{L} \overline{Y}^i, \; Y^i \cap Y^j = \emptyset, \; i \neq j, \; i,j = 1,2,\dots,L, \qquad (25)$$

burada $\overline{Y}^i$ – Y^i çoxluğunun qapanmasıdır. İstənilən iki qonşu (ortaq sərhədə malik) Y^i və Y^j altçoxluqları məlum kəsilməz, sanki hər yerdə diferensiallanan $h_{ij}(\mathrm{y}) = -h_{ji}(\mathrm{y}) = 0$ funksiyaları ilə təyin olunur və hesab edəcəyik ki, $Y^i \subset \{\mathrm{y}: h_{ij}(\mathrm{y}) < 0\}$ və ya $Y^i \subset \{\mathrm{y}: h_{ji}(\mathrm{y}) \geq 0\}$.

(19) obyektinin dinamikasını idarəetmə prosesində $\mathrm{u}(t)$ idarəedici təsirlərinin cari zaman anlarındakı qiymətləri $\mathrm{y}(t)$ çıxış vektorunun müşahidə olunan cari qiymətinin Y^i altçoxluqqlarından hansına daxil olmasından asılı olaraq təyin ediləcək. Belə idarəetmələri zonal idarəetmələr adlandıracağıq.

Hər bir $Y^i, i = 1,2,\dots,L$, zonasında optimal idarəedici təsirlərin (20) funksionalı mənasında təyini məsələsini çıxışa görə zonal idarəedicilərin sintezi məsələsi adlandıracağıq. Zonal idarəedicilərin sintezi məsələsinin dörd variantına baxılmışdır.

Məsələ 1. Obyektin $\mathrm{y}(\tau_j) = G\left(\mathrm{x}(\tau_j)\right) \in Y$ çıxış vəziyyətinin qiymətlərinin ölçülməsi mümkün olduğu müşahidələrin $\tau_j \in [0,T]$, $j = 0,1,2,\dots,N, \; \tau_0 = 0, \; \tau_N = T$, diskret zaman anları verilmişdir. Obyektin cari çıxışının müşahidə vektorunun sonuncu ölçülmüş qiymətindən, daha doğrusu, sonuncu ölçülmüş (müşahidə olunmuş) çıxış vəziyyətinin Y fəzasının hansı $Y^i, \; i = 1,2,\dots,L$, altçoxluğuna (zonasına) daxil olmasından asılı olaraq $\mathrm{u}(t)$ idarəetməsinin $t \in [\tau_j, \tau_{j+1})$ olduqda sabit qiyməti təyin olunur:

$$\begin{gathered} \mathrm{u}(t) = \mathrm{v}^i = \mathrm{const}, \; \mathrm{y}(\tau_j) = G\left(\mathrm{x}(\tau_j)\right) \in Y^i, t \in [\tau_j, \tau_{j+1}), \\ \mathrm{v}^i \in U \subset \mathbb{R}^r, \; i = 1,2,\dots,L, \; j = 0,1,\dots,N-1. \end{gathered} \qquad (26)$$

Birinci məsələ (23) funksionalının qiymətini optimallaşdıran idarəetmələrin (26)-ya uyğun olaraq mümkün $\mathrm{v}^i, \; i = 1,2,\dots,L$, zonal qiymətlərinin təyinindən ibarətdir. Bu halda optimallaşdırılan sonluölçülü vektorun olçüsü $L \times r$ -dir.

Məsələ 2. Zamanın verilmiş $\tau_j \in [0,T]$, $j = 0,1,2,\dots,N$, diskret anlarında idarəedici təsirlər obyektin çıxış vəziyyətinin parametrlərinin müşahidə nəticələrindən xətti funksiyalarla təyin olunur:

$$\begin{gathered} \mathrm{u}(t) = K_1^i \cdot \mathrm{y}(\tau_j) + K_2^i,\ \mathrm{y}(\tau_j) = G\left(\mathrm{x}(\tau_j)\right) \in Y^i, \\ t \in [\tau_j, \tau_{j+1}), i = 1,2,\dots,L,\ j = 0,1,\dots,N-1. \end{gathered} \tag{27}$$

Burada $r \times \nu$ ölçülü K_1^i matrisi və r-ölçülü K_2^i vektoru $t \in [\tau_j, \tau_{j+1})$ olduqda sabitdirlər. İkinci məsələ mümkün K_1^i, K_2^i, $i = 1,2,\dots,L$, zonal qiymətlərinin təyinindən ibarətdir. Optimallaşdırılan vektorun ölçüsü $L \times r \times (\nu + 1)$-dir.

Məsələ 3. Obyektin çıxışının müşahidə vektorunun kəsilməz ölçüləri aparılır, idarəedici təsirlər isə zonal qiymətlər alır:

$$\begin{gathered} \mathrm{u}(t) = \mathrm{w}^i = \mathrm{const}, \mathrm{y}(t) = G\left(\mathrm{x}(t)\right) \in Y^i, t \in [0,T], \\ \mathrm{w}^i \in U \subset \mathbb{R}^r,\ i = 1,2,\dots,L. \end{gathered} \tag{28}$$

Üçüncü məsələdə (23) funksionalının qiymətini optimallaşdıran idarəetmələrin mümkün w^i, $i = 1,2,\dots,L$, zonal qiymətlərini təyin etmək tələb olunur. Optimallaşdırılan vektorun ölçüsü $L \times r$ -dir.

Məsələ 4. Obyektin çıxış vəziyyətinin müşahidə vektorunun kəsilməz ölçüləri aparılır. İdarəetmə çıxışın ölçülmüş qiymətlərinin xətti funksiyası kimi təyin olunur:

$$\begin{gathered} \mathrm{u}(t) = K_1^i \cdot \mathrm{y}(t) + K_2^i,\ \mathrm{y}(t) = G\left(\mathrm{x}(t)\right) \in Y^i, t \in [0,T] \\ i = 1,2,\dots,L,\ j = 0,1,\dots,N-1, \end{gathered} \tag{29}$$

(23) funksionalının qiymətini optimallaşdıran K_1^i, K_2^i, $i = 1,2,\dots,L$, mümkün qiymətini tapmaq tələb olunur. Optimallaşdırılan parametrlərin sayı $r \times L \times (\nu + 1)$-dir.

Baxılan məsələlər üçün funksionalların qradiyentləri üçün düsturlar alınmışdır. Məsələn, aşağıdakı teorem doğrudur.

Teorem 3.1. (29) idarəetmələr sinfində məqsəd funksionalının qradiyentinin komponentləri aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$\frac{\partial \mathrm{J}(\mathrm{u})}{\partial K_1^i} = \int_{X^0}\int_P \int_{\Pi_i(\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u})} \left[\frac{\partial f^0(\mathrm{x}(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}),p,\mathrm{u})}{\partial \mathrm{u}} - \right.$$

$$\left. -\psi^*(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}) \cdot \frac{\partial f(\mathrm{x}(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}),p,\mathrm{u})}{\partial \mathrm{u}}\right]^* \mathrm{d}t \times$$

$$\times G\big(\mathrm{x}(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u})\big) \frac{\rho_{X^0}(\mathrm{x})\ \rho_P(p)}{\mathrm{mes}\ X^0 \times \mathrm{mes}\ P}\ \mathrm{d}p\ \mathrm{d}x^0,$$

$$\frac{\partial \mathrm{J}(\mathrm{u})}{\partial K_2^i} = \int_{X^0}\int_P \int_{\Pi_i(\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u})} \left[\frac{\partial f^0(\mathrm{x}(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}),p,\mathrm{u})}{\partial \mathrm{u}} - \right.$$

$$\left. -\psi^*(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}) \cdot \frac{\partial f(\mathrm{x}(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}),p,\mathrm{u})}{\partial \mathrm{u}}\right]^* \mathrm{d}t \times$$

$$\times \frac{\rho_{X^0}(\mathrm{x})\rho_P(p)}{\mathrm{mes}\ X^0 \times \mathrm{mes}\ P}\ \mathrm{d}p\ \mathrm{d}x^0,$$

burada $\Pi_i(\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}) = \{t \in [0,T]: G\big(\mathrm{x}(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u})\big) \in Y^i\}$, $i \in \{1,2,\dots,L\}$; $\psi(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u})$, $t \in [0,T]$, – $G\big(\mathrm{x}(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u})\big) \in Y^i$ olduqda zona bölgüsünün sərhədində

$$\psi^*\big(\bar{t}_{ji} - 0;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}\big) = \psi^*\big(\bar{t}_{ji} + 0;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}\big) -$$

$$-\frac{\partial h_{ji}\Big(\mathrm{y}\big(\bar{t}_{ji}\big)\Big)}{\partial G} \cdot \frac{\partial G\Big(\mathrm{x}\big(\bar{t}_{ji};\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}\big)\Big)}{\partial \mathrm{x}} \cdot \sigma_{ji},$$

$$\sigma_{ji} = \frac{\psi^*\big(\bar{t}_{ji}+0;.\big)}{\dfrac{\partial h_{ji}\Big(\mathrm{y}\big(\bar{t}_{ji}\big)\Big)}{\partial G}} \cdot \frac{\Big[f\Big(\mathrm{x}\big(\bar{t}_{ji};.\big),K^j,p\Big) - f\Big(\mathrm{x}\big(\bar{t}_{ji};.\big),K^i,p\Big)\Big]}{\dfrac{\partial G\Big(\mathrm{x}\big(\bar{t}_{ji};.\big)\Big)}{\partial \mathrm{x}} \cdot f\Big(\mathrm{x}\big(\bar{t}_{ji};.\big),K^j,p\Big)},$$

sıçrayış şərtini ödəyir və aşağıdakı qoşma Koşi məsələsinin həllidir:

$$\psi(T;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}) = -\frac{\partial \Phi(\mathrm{x}(T;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}),T)}{\partial \mathrm{x}},$$

$$\dot{\psi}^*(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}) = \frac{\partial f^0(\mathrm{x}(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}),p,\mathrm{u})}{\partial \mathrm{x}} -$$

$$-\psi^*(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u})\cdot\frac{\partial f(\mathrm{x}(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u}),p,\mathrm{u})}{\partial \mathrm{x}}+$$

$$+\left[\frac{\partial f^0(\mathrm{x}(t;.),p,\mathrm{u})}{\partial \mathrm{u}}-\psi^*(t;\mathrm{x}^0,p,\mathrm{u})\frac{\partial f(\mathrm{x}(t;.),p,\mathrm{u})}{\partial \mathrm{u}}\right]\times$$

$$\times K_1^i\times\frac{\partial G\big(\mathrm{x}(t;.)\big)}{\partial \mathrm{x}};$$

burada $\bar{t}_{ji}$ – Y^j zonasından Y^i zonasına keçid zamanı (24) müşahidə vektorunun qiymətinin onların sərhədlərinə düşmə anıdır, daha dəqiq $h_{ji}\left(\mathrm{y}(\bar{t}_{ji})\right)=0,\ \ i,j\in\{1,2,\dots,L\}$.

Üçüncü fəslin sonunda aparılmış ədədi eksperimentlərin nəticələri verilir.

Dissertasiyanın **dördüncü fəsli** 4 paraqrafdan ibarətdir. Riyazi modelin parametrik identifikasiyası və rejimlərin optimallaşdırılması mərhələlərini özünə daxil edən dinamik proseslərin idarə edilməsinə görə qərar qəbuletmə sistemləri üçün bu mərhələlərin aparılmasını uzlaşdıran yanaşma təklif olunmuşdur. Bunun nəticəsi optimal rejimin ətrafında "lokal optimal" modelin alınmasıdır.

Tutaq ki, proses aşağıdakı başlanğıc məsələ ilə təsvir olunur:

$$\dot{\tilde{\mathrm{x}}}(t)=\tilde{f}(\tilde{\mathrm{x}}(t),\mathrm{u},\mathrm{v},\mathrm{p}),\ \ t\in[0,T], \tag{30}$$

$$\tilde{\mathrm{x}}(0)=\tilde{\mathrm{x}}_0\in X_0. \tag{31}$$

Burada X_0 – prosesin mümkün başlanğıc vəziyyətlər çoxluğu; $\tilde{\mathrm{x}}(t)=\tilde{\mathrm{x}}(t;\tilde{\mathrm{x}}_0,\mathrm{u},\mathrm{v})$ – başlanğıc $\tilde{\mathrm{x}}_0$ şərti verildikdə və onun başlanğıcında təyin olunan tənzimlənməyən $\mathrm{v}\in V\subseteq\mathbb{R}^m$ parametrlərinin qiymətləri və tənzimlənən $\mathrm{u}\in U\subseteq\mathbb{R}^r$ parametrlərinin təyin olunmuş (seçilmiş) qiymətləri verildikdə prosesi təyin edən funksiyadır; $\mathrm{p}\in P\subset\mathbb{R}^l$ – riyazi modelin parametrlər vektoru; U – idarəedici parametrlərin mümkün qiymətlər çoxluğu; V – tənzimlənməyən parametrlərin mümkün qiymətlər çoxluğu; P – prosesin riyazi modelinin parametrlərinin mümkün qiymətlər çoxluğudur.

Tutaq ki,

$$J(\mathrm{u};\tilde{\mathrm{x}}_0,\mathrm{v},\mathrm{p}) = \int_0^T \tilde{f}^0(\tilde{\mathrm{x}}(t),\mathrm{u},\mathrm{v})dt + \Phi(\tilde{\mathrm{x}}(T),\mathrm{u},\mathrm{v}) \to \min_{\mathrm{u}\in U} \quad (32)$$

funksionalı verilmiş $\tilde{\mathrm{x}}_0$ başlanğıc vəziyyətindən və tənzimlənməyən v parametrlər vektorunun qiymətlərindən asılı olaraq u idarəedici parametrlər vektorunun seçilmiş qiymətlərinin keyfiyyət meyarını təyin edir. Burada $\tilde{f}^0(\cdot)$, $\Phi(\cdot)$ – birinci iki arqumentinə nəzərən verilmiş kəsilməz diferensiallanan funksiyalardır.

Fərz edək ki, prosesin modelləşdirilməsinin birinci mərhələsi – struktur identifikasiya məsələsi, məsələn, aşağıdakı sistemlə təsvir olunan prosesin xüsusiyyəti haqqında hər hansı apriori keyfiyyət informasiyası hesabına həll olunub:

$$\dot{\mathrm{x}}(t) = f(\mathrm{x}(t),\mathrm{u},\mathrm{v},\mathrm{p}), \ \ t \in [0,T], \quad (33)$$

burada $f(\cdot)$ – öz arqumentlərinə nəzərən kəsilməz diferensiallanan, p parametrinə qədər dəqiqliklə verilmiş, bir çox hallarda prosesi real təsvir edən $\tilde{f}(\cdot)$ funksiyasından fərqlənən n-ölçülü vektor-funksiya; p – prosesin riyazi modelinin qiymətləri parametrik identifikasiya mərhələsində tapmaq tələb olunan parametrlər vektorudur.

Parametrik identifikasiyanı həyata keçirmək üçün texnoloji prosesin vəziyyəti haqqında müxtəlif xarakterli müşahidələrə malik olmaq lazımdır. Məsələn, tənzimlənən $\mathrm{u}^i \in U$ və tənzimlənməyən $\mathrm{v}^i \in V$ parametrlərinin verilmiş qiymətləri üçün prosesin vəziyyəti haqqında müəyyən $t_{ij} \in [0,T]$ zaman anlarında

$$\begin{aligned} \hat{\mathrm{x}}_j^i = \hat{\mathrm{x}}^i\big(t_{ij};\mathrm{u}^i,\mathrm{v}^i\big),\ \ t_{ij} \in [0,T], \\ j = 0,1,\dots,M_i; \quad i = 1,2,\dots,N, \end{aligned} \quad (34)$$

və ya xüsusi halda, zamanın başlanğıc $t_{i0} = 0$ və son anlarında $t_{iM_i} = T$ müşahıdələr ola bilər:

$$\hat{\mathrm{x}}_0^i = \hat{\mathrm{x}}^i\big(0;\mathrm{u}^i,\mathrm{v}^i\big), \ \ \hat{\mathrm{x}}_T^i = \hat{\mathrm{x}}^i\big(T;\mathrm{u}^i,\mathrm{v}^i\big), i = 1,2,\dots,N, \quad (35)$$

burada N – ayrıca baş verən proses üçün aparılan müşahidələrin sayı, M_i – hər bir baş verən prosesin vəziyyəti haqqında müşahidələrin sayıdır, belə ki, hər bir baş verən proses üçün qiyməti aparılan müşahidələrin nəticələrinin etibarlılıq dərəcəsini və dəqiqliyini təyin edən müsbət γ_i, $i = 1,2,\dots,N$, çəki əmsalları verilmişdir və bir qayda olaraq $\gamma_i \in [0,1]$, $i = 1,2,\dots,N$.

Modelin p parametrinin təyininə görə parametrik identifikasiya məsələsi, məsələn, (34) şəklində müşahidələr halında ən kiçik kvadratlar meyarının tətbiqi ilə

$$S_1(\mathrm{p}) = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M_i} \gamma_i \left\| \mathrm{x}^i\big(t_{ij}; \mathrm{u}^i, \mathrm{v}^i, \mathrm{p}\big) - \hat{\mathrm{x}}_j^i \right\|_{\mathbb{R}^n}^2 + \varepsilon \left\| \mathrm{p} - \tilde{\mathrm{p}}_0 \right\|_{\mathbb{R}^l}^2 \quad (36)$$

funksionalının minimallaşdırılmasına gətirilir. Burada ε, $\tilde{\mathrm{p}}_0$ – minimallaşdırılan funksionalın requlyarlaşdırma parametrləridir.

(33)-(36) parametrik identifikasiya və (32), (33) optimal idarəetmə məsələlərinin qoyuluşları həlli üçün birinci tərtib optimallaşdırma üsullarını tətbiq etmək mümkün olan parametrik optimal idarəetmə məsələlərinin bir sinfinə aiddir.

İşdə $\bar{\mathrm{x}}_0$ başlanğıc şərtinin və tənzimlənməyən $\bar{\mathrm{v}}$ parametrinin qiyməti verildikdən sonra p parametrinin identifikasiyası və u idarəedici parametrinin optimallaşdırılması mərhələsini uzlaşdırmaq təklif olunur.

Təklif olunur ki, modelin parametrik identifikasiyası u idarəedici parametrinin optimallaşdırılmasının hər iterasiyasından sonra aparılsın, belə ki, parametrik identifikasiya məsələsi üçün istifadə olunan bütün müşahidələr üçün qiymətləri prosesin $\hat{\mathrm{x}}_0^i, \mathrm{v}^i, \mathrm{u}^i$ müşahidə parametrlərinin başlanğıc şərtin $\bar{\mathrm{x}}_0$ verilmiş qiymətindən, tənzimlənməyən $\bar{\mathrm{v}}$ parametrindən və u^k parametrinin optimallaşdırılmasına görə iterasiya prosesinin cari qiymətindən məsafə qiymətlərindən tərs mütənasib asılı olan $\rho^i\big(\hat{\mathrm{x}}_0^i, \mathrm{v}^i, \mathrm{u}^i; \bar{\mathrm{x}}_0, \bar{\mathrm{v}}, \mathrm{u}^k\big),\ i = 1,2,\dots,N$, çəkiləri təyin olunur.

Təklif olunan yanaşmanın digər realizasiyası parametrik identifikasiya və optimal idarəetmə məsələsinin həllinə uzlaşdırılması prosesin parametrlərinin müşahidə qymətləri çoxluğundan o müşahidələrin ayrılmasından ibarətdir ki, çəki funksiyası istifadə olunmadığı halda hər hansı verilmiş kəmiyyətdən daha çox uzaqlıqdakı qiymətləri cari $(\bar{\mathrm{x}}_0, \bar{\mathrm{v}}, \mathrm{u}^k)$ vektorundan çıxarılmış olsun.

Təklif olunan yanaşmanı texnoloji proseslərin avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərində istifadəsi zamanı riyazi modeli yadda saxlamağa zərurət yoxdur; bunun əvəzinə o (33) şəklində diferensial tənlik, optimallaşdırılan (32) şəklində funksional və prosesin vəziyyət parametrlərinin (34) və ya (35) kimi müşahidə qiymətlərindən ibarət olan və prosesin informasiya modeli adlanan modelin yadda saxlanması zərurəti ilə əvəz olunur.

Müəllif tərəfindən hazırlanmış proqram təminatının istifadəsilə aparılmış ədədi eksperimentlərin nəticələri verilir.

Dissertasiyanın **beşinci fəsli** 5 paraqrafdan ibarət olmaqla, əmsal-tərs məsələləri və PPO idarəetmə sintezi məsələsi tədqiq olunur.

Beşinci fəslin ilk üç paraqrafında karbohidrat xammalının nəqliyyatında mayenin qeyri-sabit hərəkəti zamanı magistral boru kəməri hissəsinin qeyri-xətti hidravlik müqavimət əmsalının identifikasiyası məsələsinin həlli üçün yanaşma qoyulur.

ρ sabit sıxlıqlı və υ özlülüyə (qatılığa) malik sıxılmayan mayenin neft kəmərinin ℓ uzunluqlu və d diametrli xətti üfüqi hissəsində qeyri-stasionar hərəkəti aşağıdakı hiperbolik tip diferensial tənliklər sistemi ilə adekvat təsvir olunur:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho\left[\frac{\partial \omega}{\partial t} + \alpha\lambda\omega\right], \quad -\frac{\partial p}{\partial t} = c^2\rho\frac{\partial \omega}{\partial x}, \tag{37}$$

$$x \in X = (0,\ell), \ t > t_0,$$

burada $p = p(x,t)$, $\omega = \omega(x,t)$ – neft kəmərinin $x \in (0,\ell)$ nöqtəsində zamanın $t > t_0$ anında mayenin hərəkət təzyiqi və sürəti; c – mayedə səsin yayılma sürəti; α – xəttiləşdirmə (linearizasiya) əmsalıdır. Məlumdur ki, λ hidravlik müqavimət əmsalı mayenin hərəkət rejimindən asılıdır, yəni Re $= \omega d/\upsilon$ Reynolds ədədindən və neft kəməri hissəsinin daxili səthinin $\varepsilon = k/d$ nisbi kələkötürlüyündən (nahamarlığından), burada k – mütləq kələkötürlükdür (nahamarlıq). Neft kəməri hissəsinin müxtəlif nöqtələrində fərqli kələkötürlük olduğunu nəzərə alsaq, deməli, λ kəmiyyəti ω sürətindən və borunun x nöqtəsindən asılı funksiyadır, yəni $\lambda = \lambda(\omega, x)$.

Hidravlik müqavimət əmsalının identifikasiyasına görə parametrik tərs məsələnin həlli üçün başlanğıc verilənlər neft kəmərinin xətti hissəsində müxtəlif $\overline{x}_i,\ i = 1,2, \dots, M$, nöqtələrində kəsilməz və ya diskret zaman anlarında müşahidə olunan mayenin təzyiq rejimi və/və ya hərəkət sürətidir. Baxılan məsələ PPO-nun optimal idarə edilməsi məsələsi, daha dəqiq desək, idarəetmə sintezi məsələsi çərçivəsində variasiya qoyuluşunda formalaşır, belə ki, identifikasiya olunan funksiyanın cari qiyməti prosesin cari vəziyyətindən asılıdır. Məsələn, (38) funksionalı müşahidə olunan sərhəd şərtlərinin (39) orta kvadratik gecikmələri, hansı ki, (37) məsələsinin (40) sərhəd şərtlərilə həlli nəticəsində alınmışdır və (41) başlanğıc şərtlərlə optimallaşdırılandır

$$\mathrm{J}(\lambda) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\int_{\underline{T}_i+\Delta T}^{\overline{T}_i}\{[\omega(0,t;\lambda,\varphi_{0i},\varphi_{li}) - \psi_{0i}(t)]^2 + \tag{38}$$

$$+[\omega(\ell,t;\lambda,\varphi_{0i},\varphi_{li}) - \psi_{li}(t)]^2\}\mathrm{d}t,$$

$$\omega_i(0,t) = \psi_{0i}(t),\ \ \omega_i(\ell,t) = \psi_{li}(t), \tag{39}$$

$$p_i(0,t) = \varphi_{0i}(t),\ \ p_i(\ell,t) = \varphi_{li}(t),\ i = 1,2, \dots, N, \tag{40}$$

$$p_i(x,\underline{T}_i) = [\varphi_{li}(\underline{T}_i) - \varphi_{0i}(\underline{T}_i)]\,x/\ell + \varphi_{0i}(\underline{T}_i), \tag{41}$$

$$\omega_i(x,\underline{T}_i) = [\varphi_{0i}(\underline{T}_i) - \varphi_{li}(\underline{T}_i)]\,/(\beta\,\ell).$$

Burada $[\underline{T}_i,\overline{T}_i]$, $i = 1,2, \dots, N$, – nasos rejimlərinin müşahidə olunduğu kifayət qədər uzunluqlu zaman aralıqlarıdır; ΔT – hər bir konkret hissə üçün axan nəql olunan mayenin xüsusiyyətləri və hissənin ölçüləri nəzərə alınmaqla başlanğıc şərtlərin təsirinin verilmiş müddəti.

Fərz edək ki, proses haqqında aprior informasiyadan alınır ki, neft kəmərində mayenin hərəkətinin sürətinin həqiqətən mümkün qiymətlər diapazonu məlumdur, yəni $\omega(x,t) \in \Omega = [\underline{\omega},\overline{\omega}]$, $x \in (0,\ell)$, $t > t_0$, burada $\underline{\omega},\overline{\omega}$ – $\omega(x,t)$ funksiyasının məlum sərhəd qiymətləridir. Ω və X çoxluqlarını əvvəlcədən verilmiş ω_i, $i = 0,1,2, \dots, L_\omega$, $x_j, j = 0,1,2, \dots, L_x$, ilə qiymətləndiririk, hansı ki:

$$\underline{\omega} = \omega_0 < \omega_1 < \dots < \omega_{L_\omega} = \overline{\omega},$$

$$0 = x_0 < x_1 < \cdots < x_{L_x} = \ell.$$

Tutaq ki, $\lambda(\omega, x)$ funksiyası ω və x-ə görə hissə-hissə sabitdir:

$$\lambda(\omega, x) = \lambda_{ij} = \text{const},\ \omega \in \Omega_i = [\omega_{i-1}, \omega_i),$$
$$x \in X_j = [x_{j-1}, x_j);\ i = 1,2,\ldots,L_\omega, j = 1,2,\ldots,L_x. \quad (42)$$

$\lambda(\omega, x)$ funksiyasının əvvəlcədən verilmiş bazis funksiyalar çoxluğu vasitəsilə müəyyən olunduğu daha ümumi hallar nəzərdən keçirilmişdir, yəni

$$\lambda(\omega, x) = \sum_{s=1}^{M} \lambda_{ij}^{s}\, \gamma_s(\omega)\,, \omega \in \Omega_i,\ x \in X_j.$$

$\lambda(\omega, x)$ funksiyasının tapılması məsələsi (38) funksionalını minimallaşdıran sonlu ölçülü $\Lambda = \left(\lambda_{ij}\right)_{i=1,2,\ldots,L_\omega}^{j=1,2,\ldots,L_x}$ matrisinin tapılması məsələsi ilə əvəz olunur. Bunun üçün identifikasiya olunan (müəyyənləşdirilən, təyin olunan) parametrlərə görə məqsəd funksionalının qradientinin komponenti üçün düsturlar çıxarılır (əldə edilir). Qoyulmuş tərs-əmsal məsələsinin ədədi həlli üçün proqram təminatı işlənib hazırlanmışdır və test məsələlərin həlli timsalında hesablama eksperimentləri aparılmışdır.

Aşağıdakı tənliklə təsvir olunan boru tipli istilik dəyişdirici buxar peçində əks əlaqə ilə qızdırılma prosesinin sintez idarəedilməsi məsələsi həll olunur:

$$u_t(x,t) + a u_x(x,t) = -\alpha[u(x,t) - \vartheta(t)],$$
$$(x,t) \in \Omega = [0,\ell] \times (0,T], \quad (43)$$

burada $a = \text{const}$ – istilik dəyişdiricisində və istilik sistemində mayenin hərəkətinin verilmiş sürəti; ℓ – istilik dəyişdiricisinin buxar peçində yerləşən hissəsinin uzunluğu; $\vartheta(t)$ – zamanın hissə-hissə kəsilməz funksiyası olan buxar peçinin içərisində yaradılan temperatur; $\alpha = \text{const}$ – istilikeçirmə əmsalı; $u(x,t)$ – $x \in (0,\ell)$ nöqtəsində $t \in (0,T]$ zaman anında x və t funksiyalarına görə hissə-hissə kəsilməz diferensiallanan funksiyalar sinfindən olan mayenin temperaturudur.

Başlanğıc və sərhəd şərtləri aşağıdakı kimidir:

$$u(x,t_0)=u_0(x)\in G_0,\ \ x\in[0,\ell], \tag{44}$$

$$u(0,t)=(1-\gamma)\,u(\ell,t-\Delta),\ \ t\in(0,T], \tag{45}$$

burada $\gamma\in G_1=(0,\delta),\ 0<\delta<1,$ – mayenin istilik sistemindən keçdiyi zaman istilik itkisinin miqdarını xarakterizə edən parametr; Δ – buxar peçinin xaricindəki istilik sisteminin L uzunluğu ilə təyin olunan nəqliyyat gecikməsidir ($\Delta=L/a$). Burada $u_0(x)$ kəsilməz funksiyası və γ parametri qeyri-dəqiq verilir, lakin onların qiymətləri məlum $\rho_{G_0}\big(u_0(x)\big)$, $\rho_{G_1}(\gamma)$ paylama sıxlığı funksiyaları ilə bəzi verilən G_0, G_1 çoxluqlarında yerləşir.

Peçin içərisində, istilik dəyişdirici boyunca N sayda verilmiş $\overline{x}_j\in[0,\ell],\ j=1,2,\dots,N,$ nöqtələrdə mayenin temperaturunu ölçən temperatur ölçən (ölçü cihazı) quraşdırılmışdır. Bu ölçmələr buxar peçində zəruri olan $\vartheta(t)$ temperaturu təyin etmək üçün istifadə olunur. Ölçmə cihazları operativ nəzarəti və idarəetmə sistemində bu nöqtələrdə qızdırma prosesinin vəziyyəti haqqında məlumatı təyin olunan

$$\overline{u}(t)=\big(u(\overline{x}_1,t),u(\overline{x}_2,t),\dots,u(\overline{x}_N,t)\big),\ t\in(0,T]. \tag{46}$$

vektoru vasitəsilə həyata keçirir.

Buxar peçində mayenin qızdırılması prosesinin idarəedilməsi üçün tənzimləyici requlyator $\overline{x}_j,\ \ j=1,2,\dots,N,$ nöqtələrində temperatur dəyişməsinin nəticələrinə görə təyin olunan $\vartheta(t)$ temperaturuna əsasən istilikdəyişməsi $u(\ell,t)$ çıxışında mayenin temperaturunun saxlanmasını təmin edir. Verilmiş V çoxluğunda $\vartheta(t)$ mümkün idarəetməsi, texnoloji şərtdən, bir qayda olaraq aşağıdakı bərabərsizlikdən təyin olunur:

$$\underline{\vartheta}\le\vartheta(t)\le\overline{\vartheta},\ \ t\in[0,T], \tag{47}$$

burada $\underline{\vartheta}$, $\overline{\vartheta}$ – verilmiş qiymətlərdir.

Baxılan mayenin qızdırılması prosesinin əks əlaqə ilə idarəedilməsi məsələsi, müşahidə nöqtələrində aparılan ölçmə qiymətlərindən peçin temperaturunun qiymətinin asılılığının qurulmasından ibarətdir:

$$\vartheta(t)=w\big(\overline{u}(t)\big)\in V,t\in(0,T]. \tag{48}$$

Minimallaşdırma meyarı aşağıdakı funksional şəklində verilmişdir:

$$\mathrm{J}(w) = \int_{G_0}\int_{G_1}\int_0^T [u(\ell,t;w,u_0,\gamma)-\tilde{u}(t)]^2 \mathrm{d}t\, \mathrm{d}\rho_{G_1}(\gamma)\mathrm{d}\rho_{G_0}(u_0). \qquad (49)$$

Burada $u(x,t;w,u_0,\gamma) - u_0(x), \gamma$ uyğun olaraq başlanğıc və sərhəd şərtlərinə, həmçinin $w(\overline{u}(t))$ mümkün idarəetmənin qiymətinə görə (43)–(45) məsələsinin həlli ; $\tilde{u}(t)$ – mayenin qızdırılması prosesi boyunca istilikdəyişdiricinin sağ ucda(çıxışda) arzu olunan temperaturudur.

Fərz edirik ki, texnoloji şərtlərə əsaslanaraq, idarəetmənin bütün mümkün qiymətlərində, başlanğıc və sərhəd şərtlərinə görə istilik dəyişdiricisində mayenin temperaturunun qiyməti aşağıdakı bərabərsizliyi ödəyir:

$$\underline{\underline{u}} \le u(x,t;w,u_0,\gamma) \le \overline{\overline{u}}, \ \ (x,t) \in \Omega. \qquad (50)$$

Bütün mümkün $\left[\underline{\underline{u}}, \overline{\overline{u}}\right]$ temperatur qiymətlər çoxluğunu verilmiş u_k, $k = 0,1,2,\dots,M$, başlanğıc qiymətlərlə M sayda yarım intervallara bölürük:

$$\left[\underline{\underline{u}}, \overline{\overline{u}}\right] = \bigcup_{k=1}^{M} [u_{k-1}, u_k), \ \ u_0 = \underline{\underline{u}}, \ \ u_M = \overline{\overline{u}}. \qquad (51)$$

(48) şəkildə verilmiş idarəetməni təyin etmək üçün hiss-hissə sabit funksiyalar sinfindən istifadə edirik:

$$w(\overline{u}(t)) = \omega_{i_1,i_2,\dots,i_N} = \mathrm{const},$$
$$u_{i_j-1} \le u(\overline{x}_j, t; \vartheta, u_0, \gamma) \le u_{i_j}, \qquad t \in (0,T], \qquad (52)$$
$$i_j \in \{1,2,\dots,M\}, \ \ j = 1,2,\dots,N.$$

burada $\omega_{i_1,i_2,\dots,i_N}$ – (49) funksionalının minimumu şərtindən təyin olunması tələb olunan, hələlik qiyməti naməlumdur.

Beləliklə, istilik dəyişdiricidə (52) zonal hissə-hissə sabit funksiyalar sinfində, (46) əks əlaqə ilə, baxılan (43)–(45) qızdırılma prosesinin idarəedilməsi məsələsi, (49) funksionalının minimallaşdırılması ilə M^N-ölçülü $\omega = (\omega_{i_1,i_2,\dots,i_N})$, $i_j = 1,2,\dots,M$, $j = 1,2,\dots,N$, vektorunun təyin edilməsindən ibarətdir. Onun həlli üçün məqsəd funksionalının qradiyentinin kompanentləri üçün düsturlar alınmışdır. Test məsələlər üzərində ədədi eksperimentlərin nəticələri verilmişdir.

Həmçinin toplanmış nöqtəvi mənbələrlə lövhənin qızdırılması prosesinin idarə edilməsi məsələsinə baxılmışdır:

$$u_t = a^2 \Delta u + \sum_{j=1}^{L} \vartheta^j(t)\, \delta\left(x - \overline{x}^j\right), \tag{53}$$

$$(x,t) \in \Omega \times (0,T].$$

Burada Ω – lövhənin $\overline{x}^j = \left(\overline{x}_1^j, \overline{x}_2^j\right)$ nöqtəsində $\vartheta^j(t)$, $j = 1,2,\dots,L$, optimallaşdırılan güclər yerləndirilən istilik mənbələrinin olduğu ikiölçülü oblast; L – mənbələrin verilmiş sayı; Δ – ikiölçülü Laplas operatoru; $\delta(\cdot)$ – ikiölçülü ümumiləşdirilmiş Dirak funksiyası; a^2 – istilikkeçirmə əmsalıdır.

Fərz edirik ki, lövhənin N sayda nöqtəsində

$$\tilde{x}^s = (\tilde{x}_1^s, \tilde{x}_2^s) \in \Omega,\ \ s = 1,2,\dots,N, \tag{54}$$

koordinatlı ölçmə cihazları yerləşdirilib ki, o operativ nəzarəti və idarəetmə sistemində bu nöqtələrdə qızdırma prosesinin vəziyyəti haqqında məlumatı təyin olunan vektoru vasitəsilə həyata keçirir:

$$\begin{gathered} \tilde{u}(t) = \left(\tilde{u}^1(t),\ \tilde{u}^2(t), \dots, \tilde{u}^N(t)\right), \\ = \left(u(\tilde{x}^1,t),\ u(\tilde{x}^2,t), \dots, u(\tilde{x}^N,t)\right),\ t \in (0,T], \end{gathered} \tag{55}$$

$$u(x,t_0) = \mathrm{g}_0(x) \in G_0(x),\ \ x \in \Omega, \tag{56}$$

$$u(x,t)|_{\Gamma_1} = \mathrm{g}_1(t) \in G_1(t),\ \ t \in (0,T], \tag{57}$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}n} u(x,t)|_{\Gamma_1} = \mathrm{g}_2(t) \in G_2(t),\ \ \ t \in (0,T]. \tag{58}$$

Burada $G_i(\cdot)$, $i = 0,1,2$, –nöqtəvi çoxluq innikası, arqumentin hər bir qiyməti üçün məhdud qapalı çoxluğa uyğun gəlir, bu halda başlanğıc-sərhəd şərtlərinin mümkün qiymətlər paylanmasını xaarakterizə edən uyğun $\Phi_i\left(\mathrm{g}_i(\cdot)\right)$, $i = 0,1,2$, paylanma funksiyası verilmişdir.

Baxılan lövhənin qızdırılması prosesinin idarə edilməsi məsələsi lövhənin

$$\vartheta^j(t) = \vartheta^j\big(\tilde{u}^1(t),\ \tilde{u}^2(t), \dots, \tilde{u}^N(t)\big),\ \ \vartheta^j(t) \in V^j, \qquad (59)$$
$$j = 1,2, \dots, L;\ \ t \in (0, T];$$
$$\tilde{u}^s(t) = u(\tilde{x}^s, t),\ \ s = 1,2, \dots, N, \qquad (60)$$

müşahidə olunan nöqtələrində mövcud vəziyyətlərin qiymətlərindən asılı olaraq mənbələrin güclərinin mümkün qiymətlərinin verilmiş funksionalın minimallaşdırmaqla seçilməsindən ibarətdir. Burada V^j – $V = (V^1, V^2, \dots, V^L)$ mümkün qiymətlər çoxluğudur.

Məqsəd funksionalı aşağıdakı kimidir:

$$\mathrm{J}(\vartheta) = \int_{G_0}\int_{G_1}\int_{G_2} \mathrm{I}(x, T; \vartheta, \mathrm{g}_0, \mathrm{g}_1, \mathrm{g}_2)\, d\Phi_2(g_2)\, d\Phi_1(g_1)\, d\Phi_0(g_0) + \sum_{j=1}^{L} \int_{t_0}^{T} \left[\vartheta^j(t)\right]^2 \mathrm{d}t, \qquad (61)$$

$$\mathrm{I}(\cdot) = \int_{\Omega} [u(x, T; \vartheta, \mathrm{g}_0, \mathrm{g}_1, \mathrm{g}_2) - \hat{u}(x)]^2 \mathrm{d}\Omega,$$

burada $u(x, T; \vartheta, \mathrm{g}_0, \mathrm{g}_1, \mathrm{g}_2)$ –uyğun olaraq seçilmiş $\mathrm{g}_0(\mathrm{x}), \mathrm{g}_1(t), \mathrm{g}_2(t)$ başlanğıc-sərhəd funksiyalarına və $\vartheta(t)$ idarəetmənin mümkün qiymətlərinə görə (53), (56)-(58) məsələsinin həlli; $\hat{u}(x)$ – qızdırma prosesinin son zaman anındakı arzu olunan temperatur paylanmasını xarakterizə edən verilmiş funksiyadır.

Fər edək ki, lövhənin faza vəziyyətinin qiymətləri

$$\underline{u} \le u(x, t; \vartheta, \mathrm{g}_0, \mathrm{g}_1, \mathrm{g}_2) \le \overline{u},\ (x, t) \in \Omega, \qquad (62)$$

bərabərsizliyini, aşağıdakı bütün mümkün idarəetmələr və başlanğıc-sərhəd funksiyaları üçün ödəyir:

$$\vartheta(t) \in V,\ \mathrm{g}_0(\mathrm{x}) \in G_0, \mathrm{g}_1(t) \in G_1, \mathrm{g}_2(t) \in G_2. \qquad (63)$$

Bütün mümkün $[\underline{u}, \overline{u}]$ temperatur qiymətlər çoxluğunu verilmiş $u_k,\ k = 0,1, \dots, m,$ başlanğıc qiymətlərlə m sayda temperatur intervallarına bölürük:

$$[\underline{u}, \overline{u}] = \bigcup_{k=1}^{m} [u_{k-1}, u_k)\,,\ u_0 = \underline{u},\ u_m = \overline{u}. \tag{64}$$

İdarəetmələrin hissə-hissə sabit qiymətləri bu və ya digər temperatur aralığına aid olan temperaturdan asılı olaraq seçiləcəkdir.

Fərz edək ki, idarəetmə hissə-hissə sabit funkiya şərtini ödəyir:

$$\begin{gathered} \vartheta^j(t) = \vartheta^j_{i_1,i_2,\dots,i_N} = \text{const},\ i_s = 1,2,\dots,m; \\ s = 1,2,\dots,N;\ \ j = 1,2,\dots,L. \end{gathered} \tag{65}$$

Bu halda müşahidə olunan nöqtələrdə cari vəziyyətin qiyməti aşağıdakı bərabərsizliyə uyğundur:

$$\begin{gathered} u_{i_s-1} \le u(\tilde{x}^s, t; \vartheta(t), \mathrm{g}_0, \mathrm{g}_1, \mathrm{g}_2) \le u_{i_s}, \\ i_s = 1,2,\dots,m;\quad s = 1,2,\dots,N. \end{gathered} \tag{66}$$

N-ölçülü faza fəzasında (66) $u(\tilde{x}^s, t)$, $s = 1,2,\dots,N$, vəziyyəti ümumi sayı m^N-ə bərabər olan N-ölçülü paralelepipedi təsvir edir.

Aydındır ki, (65) idarəetməsi (59) kimi əks əlaqəni ifadə edir, belə ki, (65) halında lövhənin qızdırılması prosesində mənbə idarəetmələrinin gücünün qiyməti müşahidə nöqtələrində vəziyyətlər yığımı (66) faza paralelepipeddən birindən digərinə keçdiyi halda baş verir.

Baxılan lövhənin qızdırılması prosesinin hissə-hissə sabit funksiyalar sinfində əks alaqə ilə idarə edilməsi məsələsi $L \times m^N$-ölçülü

$$\begin{gathered} \vartheta = \left(\vartheta^j_{i_1,i_2,\dots,i_N}\right),\ i_s = 1,2,\dots,m,\ s = 1,2,\dots,N, \\ j = 1,2,\dots,L. \end{gathered} \tag{67}$$

vektorunun optimallaşdırılmasından ibarətdir.

Zonal idarəetmələrin sintezi üçün optimallaşdırılan parametrlərin fəzasında funksionalın qradiyentinin düsturu alınmışdır.

Dissertasiyanın **altıncı fəsli** 4 paraqrafdan ibarət olmaqla interaktiv və şərtsiz optimallaşdırma proqram paketləri ilə idarə olunan avtomatik sistemlərə əsaslanan mürəkkəb məsələlərin alqoritm və proqram təminatının hazırlanmasına həsr olunub. Çoxprosessorlu (çoxnüvəli) kompüter sistemlərindən istifadə etməklə mürəkkəb məsələlərin həllinin hesablama prosesinin idarə edilməsi üçün üsul və alqoritmlərin analizi aparılmışdır. Müəllif tərəfindən hazırlanmış interaktiv sistem və şərtsiz optimallaşdırma ilə idarə olunan avtomatik sistemlər qrafik istifadəçi interfeysinə malikdir. Sistemin yaradılmasında obyektyönümlü proqramlaşdırma yanaşmasından istifadə edilmişdir. Sistemlər gələcəkdə genişləndirilmə imkanlarını nəzərə alaraq modul prinsipi əsasında yaradılmışdır və hesablamaların paralelləşdirilməsi alqoritmlərindən istifadə olunur. İşlənib hazırlanmış sistemlər geniş optimallaşdırma proqramları kitabxanası ilə təchiz olunmuşdur ki, onlarda nəzərdə tutulmuş interaktiv servis istifadəçiyə məsələnin kompüterdə həlli prosesini idarə etmək, hesablamaların cari nəticələrindən asılı olaraq tətbiq olunan üsullar ardıcıllıqlarından ən rasionalını seçmək, zərurət yarandıqda metodların parametrlərində düzəliş etməklə həll olunan məsələlərin qoyuluşlarını dəyişdirmək imkanı verir. Qeyd edək ki, ötən əsrin 70-ci illərindən başlayaraq müxtəlif məktəblərdə proqram təminatı paketlərinin idarə olunması üçün intellektual alqoritmlərin hazırlanması işi aparılır. Burada məsələn, Y.Q. Evtuşenkonun şərtsiz optimallaşdırma (“DISO”) və optimal idarəetmə (“DISOPT”) interaktiv sisteminin hazırlanması (hazırlamış) məktəbini, habelə K.R. Ayda-zadənin vektor optimallaşdırma («DIVO») və qlobal optimallaşdırma («GLOPT») məsələlərinin həlli üçün idarəetmə sistemləri hazırlamış məktəbini qeyd etmək lazımdır.

Məlumdur ki, konkret məsələlərin həlli üçün ədədi optimallaşdırma üsullarından istifadə edərkən böyük həcmdə hesablamalar aparılmalıdır. Buna görə də optimallaşdırma üsullarının geniş tətbiqi yalnız nisbətən yaxınlarda (son vaxtlar), müasir güclü yüksək sürətli kompüter sistemlərinin yaradılması sayəsində mümkün olmuşdur. Müxtəlif sinif məsələlər üçün ədədi həll üsullarının çoxluğuna baxmayaraq konkret məsələnin parametrlərinin müəyyən qiymətlərində ən effektiv həll üsulunun seçilməsi çoxlu sayda müqayisə eksperimentləri tələb edir. Son istifadəçilər, bir qayda olaraq, bu cür eksperimentlərin aparılmasında çətinlik çəkirlər, çünki müxtəlif ədədi üsulların tətbiq sahəsi haqqında biliklər tələb olunur və nəticələrin düzgün müqayisəli təhlili çox vaxt aparır. Ədədi üsulun keyfiyyəti bir çox amillərlə xarakterizə olunur: üsulun yığılma oblastı, yığılma sürəti, bir iterasiyanın icra müddəti, üsulun həyata keçirilməsi (realizasyası) üçün tələb olunan maşın yaddaşının həcmi, həll olunan məsələnin sinfi və s. Optimallaşdırma məsələləri də çox müxtəlifdir: onların arasında hamar və qeyri-hamar, kiçik və böyük ölçülü, yarğan tipli, unimodal və çoxekstremal və s. Tamamilə aydındır ki, universal bir üsul axtarışı deyil, müxtəlif üsulların ağlabatan birləşməsi (məqbul kombinasiyası) qoyulmuş optimallaşdırma məsələsini ən yüksək səmərəliliklə həll etməyə imkan verəcəkdir. Optimallaşdırma prosesinin idarə edilməsi, adətən, istifadəçi hesablama ssenarisini (süjetini, gedişatını) əvvəlcədən təyin etdikdə, yəni onun istifadə etdiyi metodların ardıcıllığını, onların parametrlərini təyin etdikdə, bu məlumatları kompüterə daxil etdikdə və nəticələri yalnız bütün hesablamalar tamamlandıqdan sonra qəbul etdikdə statik olaraq idarə olunur. Bu yanaşma, bir qayda olaraq, əhəmiyyətli dərəcədə böyük ölçüdə hesablamalara səbəb olur, çünki məsələnin formalaşdırılmasında hesablama prosesinin gedişatını əvvəlcədən proqnozlaşdırmaq çətindir. İstifadəçi hesablamalar prosesində cari nəticələr haqqında məlumat aldıqda, üsulun parametrlərini dəyişdirdikdə, bir optimallaşdırma üsulundan digərinə məqsədyönlü və şüurlu keçid etdikdə hesablamaların interaktiv rejimdə idarə edilməsi daha məqsədəuyğundur. Dialoq sistemləri və avtomatik idarəetmə sistemləri müxtəlif praktiki problemlərin həlli üçün universal alət yaratmağa imkan verir.

Çoxölçülü şərtsiz optimallaşdırma məsələləri sinfi üçün iki yanaşma təklif olunur ki, bunlar müasir çoxprosessorlu (çoxnüvəli) kompüter sistemlərindən istifadə etməklə mövcud (əlçatan) tətbiqi proqram paketlərinin istifadəsinin asanlaşdırılması məqsədi daşıyır. Bu yanaşmalardan biri özündə son istifadəçinin dialoq rejimində (interaktiv rejimdə) optimallaşdırma proqram paketi ilə aktiv işini ehtiva edir. Digər yanaşma xüsusi işlənib hazırlanmış idarəetmə proqramlarının köməyilə avtomatik rejimdə paketlərin idarə olunmasını nəzərdə tutur.

Ardıcıl (təknüvəli) arxitektura üçün tətbiq özlüyündə vacibdir və çoxprosessorlu və ya çoxnüvəli arxitekturalar üçün tətbiqlərin əsas bloku kimi qəbul edilə bilər. Aşağıda belə arxitekturalarda optimallaşdırma məsələlərinin həlli üçün alqoritmin (realizasiyasının) həyata keçirilməsinin mümkün sxemlərindən biri ətraflı təsvir edilmişdir. Tutaq ki, M_1, M_2, …, M_k – şərtsiz optimallaşdırma proqram paketindəki alqoritmlərdən ibarət optimallaşdırma üsullarının siyahısı olsun. Əgər, ümumiyyətlə, məqsəd funksiyasının strukturu haqqında heç nə məlum deyilsə, xarakteristikasına görə heterogen (qarışıq, müxtəlifcinsli) (müxtəlif xarakterli, xüsusiyyətlərə malik) üsulların siyahıya daxil edilməsi məqsədəuyğundur. Məqsəd funksiyası haqqında müəyyən məlumat olduqda siyahı da problem yönümlü ola bilər, məsələn, məlumdur ki, funksiya qabarıq, kvadratik, yarğan tipli, diferensiallanmayandır və s. Problemin həllinin gedişi hər biri təlim və iş addımlarından ibarət olan mərhələlərlə həyata keçirilir. Bu mərhələlərdən birincisi mövcud alqoritmlər siyahısından lokal səmərəli alqoritmi müəyyən etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Bundan sonra iş mərhələsi həyata keçirilir ki, bu da yalnız birinci mərhələdə müəyyən edilmiş alqoritmdən istifadə edərək məsələnin həllindən ibarət olur. Həm təlim, həm də iş addımlarına müəyyən zaman kvantları verilir. Təlim mərhələsində iki variantdan istifadə etmək olar.

1. Üsulların lokal səmərəliliyini müəyyən etmək üçün eyni x^0 nöqtəsindən optimallaşdırma aparılır. Bu halda, maşın vaxtı bir qədər israf olunur var və təlim yalnız lokal səmərəli alqoritmin müəyyən edilməsi üçün istifadə olunur;
2. Öyrənmə (Təlim) vaxtı yalnız səmərəli alqoritmi tapmaq üçün deyil, həm də minimum nöqtəyə keçmək üçün istifadə olunur, çünki hər bir növbəti alqoritmi öyrətmək üçün başlanğıc deyil, cari nöqtə istifadə olunur.

İkinci variant, optimallaşdırma prosesində təlim vaxtının aktiv (fəal) olması səbəbindən daha qənaətcil və daha sürətli olur. Təlim mərhələsində ilkin siyahıdan olan bütün alqoritmlər M_1, M_2, …, M_k verilmiş ilkin zaman kvantında özünü sübut etmək imkanına malikdir. İstisnalar, təlim mərhələsində iki dəfə ardıcıl (dalbadal) ən az səmərəli olan üsullardır. Onlara zaman kvantı verilmir və müvəqqəti olaraq siyahıdan çıxarılır. Başlanğıc zaman kvantının dəyəri minimallaşdırılan funksiyanın növündən, daha dəqiq desək, məqsəd funksiyasının bir dəfə hesablanması üçün hesablama sisteminin sərf etdiyi vaxtdan və onun dəyişənlərinin sayından asılıdır: $\tau = \tau(n, \theta)$, burada θ – məqsəd funksiyasının bir dəfə hesablanması üçün sərf olunan vaxt, n isə – həll olunan optimallaşdırma məsələsinin ölçüsüdür. Nəticədə öyrənmə mərhələsində ən səmərəli alqoritm aşkarlanır ki, bu da iş mərhələsində istifadə olunur. İş mərhələsinin müddəti $T_i = T_i(n, \theta, \tau)$ aşağıdakı kimi seçilir:

$$T_0 = \alpha\tau, T_i = \delta_i T_{i-1} + T_0, \alpha > 1. \qquad (68)$$

Burada α qiyməti məqsəd funksiyasının mürəkkəbliyindən və ölçüsündən asılıdır və apriori seçilir. Sınaqların (təcrübələrin) α-nın müxtəlif qiymətlərində aparılması arzuolunandır. Eyni üsul iki ardıcıl mərhələdə ən səmərəli olarsa, $\delta_i = 1$. Əks halda $\delta_i = 0$, yəni hər hansı bir üsul bir neçə ardıcıl mərhələdə ən səmərəli olarsa, iş mərhələsinin müddəti arta bilər. Bu o deməkdir ki, bu məqsəd funksiyasını minimallaşdırmaq üçün məhz minimum vaxtda optimal nöqtəyə çatan metod tapıldı və buna görə də belə bir vəziyyət üçün (ümumi desək, ideal vəziyyət üçün) əlavə təlim keçirməyin mənası yoxdur. Üsulların lokal səmərəlilik qiymətlərini hesablamaq üçün aşağıdakı düsturdan istifadə olunur:

$$E_i = \frac{|f(x^{k+1}) - f(x^k)|}{|f(x^k)| + \epsilon} + \frac{\|x^{k+1} - x^k\|}{\|x^k\| + \epsilon} \qquad (69)$$

Burada E_i – i-ci alqoritmin lokal səmərəliliyi, x^{k+1}, x^k – i-ci alqoritmdən istifadə etməklə əldə edilən başlanğıc və son nöqtələr, $f(x^{k+1}), f(x^k)$ – bu nöqtələrdə məqsəd funksiyasının qiymətləri, $\|\cdot\|$ – Evklid norması, ϵ – kiçik müsbət ədəddir. Əgər funksiyanın qiyməti zaman kvantında azalmayıbsa, belə alqoritmin lokal səmərəliliyi 0 hesab olunur. Əgər təlim mərhələsində siyahıdakı bütün üsullar sıfır səmərəlilik tapıbsa (göstəribsə), sonrakı axtarış dayanır, prosedur sonlanır. Bu vəziyyət üsulların siyahısı verilmiş (qoyulmuş, cari) məsələnin həllinə yönəlmədikdə mümkündür (məsələn, funksiya yarğandır, siyahı koordinat üzrə enmə və qradiyent üsullarından ibarətdir). Beləliklə, siyahıya müxtəlif xarakterli üsulların daxil edilməsi belə halların qarşısını almağa kömək edəcəkdir. Qeyd edək ki, üsulun lokal sıfır səmərəliliyi onun işləməsi zamanı cəbri kəsilmə meydana gəldiyi halda da üsulda görünə bilər. Sistemin proqram koduna istisnaların işlənməsini daxil etməklə, bu halda siyahıdan i-ci üsuldan növbəti, $i+1$-ci üsula keçidi təmin etmək lazımdır və i-ci üsul ayrılmış zaman kvantını tamamlamır və $E_i = 0$ lokal səmərəlilik qiymətini alır. Təklif olunan prosedurdan çıxış meyarı üsullardan birində axtarışın dayandırılması şərtinin yerinə yetirilməsidir. Bu vəziyyətdə, taymerdən məcburi bir fasilə (kəsilmə) deyil, üsulun və bütövlükdə bütün prosedurun təbii dayandırılması baş verir. Nəticədə istifadəçi axtarışın gedişi haqqında yığılmış məlumatı alır ki, buraya iş mərhələlərində işləmiş optimal üsullar silsiləsi, ümumi həll axtarış müddəti, habelə məqsəd funksiyasının qiymətləri, koordinatlar və təlim mərhələlərində əldə edilən lokal səmərəlilik qiymətləri daxildir.

İndi çox axınlı yanaşmanı nəzərdən keçirək: ortaq yaddaşa çıxışı olan bir neçə müstəqil təlimat axını paralel şəkildə yerinə yetirilir. Ən sadə icra variantı yuxarıda təsvir olunan ardıcıl alqoritmin əməliyyatlarını axınların müstəqil şəkildə yerinə yetirdiyi yanaşma kimi görünür. Aşağıda optimallaşdırma alqoritminin hər bir mərhələsində avtomatik seçimlə şərtsiz optimallaşdırma məsələlərinin həlli strategiyası təklif olunur. Fərz edək ki, şərtsiz optimallaşdırma proqram paketində olan M_1, M_2, …, M_k alqoritmlərindən ibarət optimallaşdırma üsullarının siyahısı var. Şərtsiz optimallaşdırma məsələsinin həlli mərhələlərlə həyata keçirilir. Hər mərhələdə aşağıdakı hərəkətlər (addımlar) həyata keçirilir.

1. İlkin addımda, bütün mövcud şərtsiz optimallaşdırma alqoritmlərinin M_1, M_2, …, M_k siyahısından bir neçə alqoritm M_{s_1}, M_{s_2}, …, M_{s_N} təsadüfi seçilir, onların N sayı sistemdə quraşdırılmış nüvələrin sayına bərabər seçilir. Qeyd edək ki, N dəyəri sistemdə quraşdırılmış CPU nüvələrinin sayının misli kimi də qəbul edilə bilər (məsələn, $2N$, $3N$, və s.).
2. Üsulların lokal səmərəliliyini müəyyən etmək üçün optimallaşdırma eyni başlanğıc x^0 nöqtəsindən həyata keçirilir və işləmiş hər bir alqoritmin lokal səmərəliliyini aşkar etmək üçün istifadə olunur. Bu addım yalnız səmərəli

alqoritmləri tapmaq üçün deyil, eyni zamanda minimum nöqtəyə keçmək üçün də istifadə olunur, yəni optimallaşdırma prosesində "iş addımı vaxtı" aktivdir. “İş addımı” mərhələsində ilkin M_{s_1}, M_{s_2}, …, M_{s_N} siyahısından bütün alqoritmlər verilmiş ilkin zaman kvantı ərzində işləmək imkanına malikdirlər.

3. İş addımı mərhələsində ən səmərəli alqoritmlər müəyyən edilir. İş addımının müddəti T_i (68) düsturuna əsasən seçilir və bir neçə ardıcıl mərhələdə hər hansı bir üsul ən səmərəli olduğu halda arta bilər. Bu o deməkdir ki, bu məqsəd funksiyasını minimallaşdırmaq üçün məhz minimum vaxtda optimal nöqtəyə çatan üsul tapıldı və buna görə də belə bir vəziyyət üçün, ümumiyyətlə, ideal hal üçün alqoritmlər seçməyə davam etmək mənasızdır.
4. Üsulların lokal səmərəlilik dəyərləri E_i (69) düsturu ilə hesablanır. Ən aşağı səmərəlilik aşkarlanan işçi alqoritmlərin yarısı siyahısından çıxarılır. Eyni zamanda, bu alqoritmlərdə “aşağı səmərəlilik bayrağını” qaldırılır. Təlim mərhələsində siyahıdakı bütün üsullar sıfır səmərəlilik tapıbsa, sonrakı axtarış dayandırılır və optimallaşdırma məsələsinin həlli proseduru sonlandırılır. Bu vəziyyət metodların siyahısı verilmiş məsələnin həllinə yönəldilmədikdə mümkündür. Qeyd edək ki, metodun lokal sıfır səmərəliliyi onun işləməsi zamanı cəbri kəsilmə meydana gəldiyi halda üsulda da görünə bilər. Bu halda, cari üsul ona ayrılan zaman kvantını tam başa çatdırmır və 0-a bərabər olan lokal səmərəlilik qiymətini alır.
5. İşçi alqoritmlər siyahısına əvvəlki addımda xaric edilən sayda digər alqoritmlər əlavə edilir. (İşçi alqoritmlər siyahısına əvvəlki addımda xaric edilən alqoritmlər qədər yeniləri əlavə edilir.) Siyahıya yalnız aşağı səmərəlilik bayrağı ən kiçik qiymət alan alqoritmlər daxildir (yenidən onlar təsadüfi seçilir). İş alqoritmlərinin yeni siyahısı formalaşdıqdan sonra 2-5-ci addımlar təkrarlanır.

Yuxarıda təsvir edilən prosedurda siyahıdakı bütün üsullar müəyyən edilmiş zaman kvantı keçdikdən sonra məcburi şəkildə kəsilir, hər hansı bir üsul (üsullar) üçün başlanmış növbəti iterasiya sona qədər tamamlanmaya bilər. Bu prosedurun mümkün modifikasiyası bütün üsullara başlanmış iterasiyaları tamamlamağa və ya verilmiş vaxt intervalının yaxınlığında (çərçivəsində) tam sayda iterasiya yerinə yetirməyə imkan verməkdir. Sonuncu halda, üsulun lokal səmərəliliyinin hesablanması üçün düsturun bir qədər dəyişdirilməsi zərurəti yaranır. Təsvir edilən prosedurdan çıxış meyarı siyahıdan bütün üsulların sıfır səmərəliliyidir, yəni siyahıdan hər hansı bir alqoritmlə daha sonra optimal nöqtə axtarmaq nəticələri yaxşılaşdırmır. Nəticədə istifadəçi axtarış zamanı yığılmış məlumatı alır, buraya iş mərhələlərində işləmiş üsullar zənciri, həll yolunun axtarışı üçün ümumi vaxt, habelə məqsəd funksiyasının, koordinatlar və bütün mərhələlərdə əldə edilən lokal səmərəlilik qiymətləri daxildir.

Paralel sistemlərdən fərqli olaraq paylanmış sistemlər iyerarxik bir quruluşa malikdirlər: onlar müxtəlifcinsli (heterogen) düyünlərdən ibarətdir ki, hər biri öz növbəsində paralel sistem, yəni yuxarıda baxılan sistemlərdən biri ola bilər. Hesablama prosesinin bu iyerarxiyaya uyğun təşkili zamanı maksimum səmərəliliyin əldə olunduğunu güman etmək təbiidir. Bu yanaşma ilə düyünlərin hər birində hesablamalar verilmiş düyün üçün ən uyğun olan sxem üzrə aparılır. Əslində, paylanmış sistemin düyünlərinin hər birində seçilmiş optimallaşdırma alqoritminin əməliyyatlarını yerinə yetirən ayrıca proqram (tətbiq) – "solver" (həlledici) işlədir. Bir neçə proqram arasında qarşılıqlı əlaqə iyerarxiyanın növbəti səviyyəsində xüsusi mərkəzi idarəetmə prosesi – "nəzarətçi" ("supervizor") vasitəsilə təşkil edilir. Paylanmış hesablama mühitində məsələnin həllinin birinci mərhələsi həlledici nümunələrlə formalaşan hesablama sahəsinin sintezidir. Çox sayda düyünlə tətbiqləri əl ilə işə salmaq kifayət qədər zəhmətli ola (vaxt apara) bilər. Buna görə də, nəzarətçi tərəfindən həlledicilərin işə salınmasının avtomatlaşdırılması imkanını təmin etmək lazımdır. Bu halda, müəyyən bir sistem tərəfindən nəzərdə tutulan uzaqdan işə başlamaq alətləri istifadə olunur, məsələn, SSH, qrid xidmətlər (şəbəkə xidmətləri) və s. Yaradılmış hesablama sahəsi məsələni həll etmək üçün istifadə edilə bilər. Həll prosesi zamanı paylanmış mühitdə tətbiqin icrasının maksimum səmərəliliyini təmin etmək üçün həlledicilər arasında hesablamaları bölüşdürmək lazımdır. Həlledicilər və nəzarətçi arasında məlumat mübadiləsi müəyyən (konkret) bir düyün ilə qarşılıqlı əlaqə üçün nəzərdə tutulmuş vasitələrlə həyata keçirilə bilər. Birbaşa şəbəkə bağlantısı qurmaq mümkün olarsa, məsələn, soket interfeysi kimi TCP/IP protokollarına əsaslanan mübadilə (rabitə) üsullarından istifadə olunur. Bəzi hallarda proqramlarla verilənlər mübadiləsi (əlaqə) yalnız "qrid" aralıq proqram təminatından istifadə edərək fayl köçürmələri vasitəsilə mümkündür. Yükün balanslaşdırılması (tarazlaşdırılması) iki səviyyədə baş verir: yuxarı səviyyədə nəzarətçi hesablama yükünü həlledicilər (solverlər) arasında bölüşdürür, aşağı səviyyədə isə (eyni hesablama düyünü daxilində) həlledici işi müəyyən (konkret) bir hesablama düyünü növü üçün nəzərdə tutulmuş üsullar arasında bölüşdürür.

Yuxarıda təklif olunan axtarış alqoritminin hər iki yanaşması istifadə olunan üsulların öz-özünə öyrənilməsi hesabına konkret məsələnin həlli üçün mövcud siyahıdan avtomatik olaraq səmərəli yüksək sürətli optimallaşdırma üsulunu seçməyə imkan verir.

Əlavədə şəkillər, cədvəllər və hazırlanmış proqram təminatının əsas modullarının mətnləri verilmişdir.

NƏTİCƏ

Dissertasiya işində həm toplanmış, həm də paylanmış parametrlərli sistemlər üçün parametrik identifikasiya və idarəetmə parametrlərinin sintezinin bəzi sinif məsələlərinin ədədi həll üsulları, alqoritmlər və proqram təminatı işlənib hazırlanmış və tədqiq edilmişdir. Bu məsələləri həll etmək üçün həm identifikasiya, həm də idarəetmə təsirləri üçün «zonal parametrlər» anlayışının nəzərə alınmasından ibarət vahid yanaşma istifadə edilmişdir.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri bunlardır:

- Adi törəməli qeyri-xətti diferensial tənliklər sistemləri ilə təsvir edilən, ümumi halda toplanmış parametrli qeyri-xətti obyektlərin dinamik parametrik identifikasiyası məsələlərinin həlli üçün ədədi həll üsulları təklif edilmiş və əsaslandırılmışdır.
- Kəsilən adi törəməli diferensial tənliklərin sistemi ilə təsvir edilən dinamik prosesin vəziyyətindən asılı olaraq keçid səthlərini təyin etmək üçün tərs məsələlər sinfinin ədədi həllinə yanaşma təklif olunur.
- Müxtəlif növ giriş/çıxış əks əlaqəsi və zonal idarəetmə funksiyalarının müxtəlif sinifləri üçün qeyri-xətti adi diferensial tənliklər sistemləri ilə təsvir olunan başlanğıc şərtləri və obyektin parametrləri qeyri deqiq verilmiş optimal idarəetmənin sintezi məsələlərinin ədədi həll etmək üçün yanaşma təklif olunur.
- Dinamik prosesləri idarə etmək üçün qərar qəbuletmə sistemləri üçün riyazi modelin parametrik identifikasiyası və rejimlərin optimallaşdırılması mərhələlərini birləşdirən yanaşma təklif olunur.
- Riyazi modellərin qeyri-xətti əmsallarının müəyyən edilməsi və paylanmış parametrli konkret obyektlərə münasibətdə idarəetmənin sintezi məsələləri işdə təklif olunan yanaşmalardan istifadə etməklə həll olunur.
- Hiperbolik tənliklər sistemi ilə təsvir edilən boru kəmərinin xətti hissəsində karbohidrogen xammalının hərəkət rejimlərindən asılı olan hidravlik müqavimət əmsalının müəyyən edilməsi məsələsinin ədədi həll üsulu təklif olunur.
- Paylanmış parametrli obyektlər üçün, müəyyən nöqtələrdə obyektin faza vəziyyətinin davamlı nəzarəti əsaslanaraq sərhəd şəraitində vaxt gecikməsi ilə istilik prosesi nümunəsində idarəetmə təsirlərinininnin sintezinə yanaşma təklif edilmişdir.
- Çubuq və lövhənin istilik prosesləri məsələlərinin nümunəsində, obyektin müəyyən nöqtələrində faza vəziyyətinin davamlı nəzarəti əsasında paylanmış parametrləri olan obyektlər üçün toplanmış mənbələrin idarəetməsinin sintezinə yanaşma təklif olunur.
- Çoxprosessorlu/çoxnüvəli arxitekturaya malik müasir kompüter sistemlərində paralel hesablamalardan istifadə etməklə

məhdudiyyətsiz optimallaşdırma proqram paketinin interaktiv və avtomatik idarə edilməsi əsasında mürəkkəb optimallaşdırma məsələlərinin həlli üçün riyazi və proqram təminatı yaradılmışdır. Hazırlanmış sistemlər optimallaşdırma alqoritmlərinin geniş kitabxanası ilə təchiz edilmişdir.

Sonda müəllif öz elmi məsləhətçisi, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor, AMEA-nın müxbir üzvü K.R. Ayda-zadəyə işə yetirdiyi daimi diqqətə və dəyərli məsləhətlərinə görə dərin minnətdarlığını bildirir.

Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı əsərlərdə dərc edilmişdir:

1. Guliyev, S.Z. Synthesis of zonal control of lumped sources for the heat conduction process // – Baku: Azerbaijan Journal of High Performance Computing, – 2020. vol.3, no.2, – p.207-222.
2. Guliyev, S.Z. Optimization of zonal feedback parameters when controlling the rod heating process // International Conference "Modern Problems of Mathematics and Mechanics" devoted to the 60th anniversary of the Institute of Mathematics and Mechanics, – Baku: – October 23-25, – 2019, – p.216-218.
3. Кулиев, С.З. Управление процессом нагрева стержня с зональными параметрами обратной связи // Материалы IX Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы «Прикладная математика и фундаментальная информатика», посвященной 80-летию со дня рождения академика РАН Ю.Г. Евтушенко, – Омск: Издательство ОмГТУ, – 2019. т.3. №1, – с.77-80.
4. Guliyev, S.Z., Meherrem, Sh., Gucoglu, D.H. Numerical Solution of Linear-Quadratic Optimal Control Problems for Switching Systems // – Hungary: Miskolc Mathematical Notes, – 2018. vol.19, no.2, – p.1023-1033.
5. Кулиев, С.З. Синтез зональных управлений для одной задачи нагрева с запаздыванием в неразделенных краевых условиях // – Киев: Кибернетика и Системный Анализ, – 2018. т.54, №1, – с.124–136.

Guliyev, S.Z. Synthesis of zonal controls for a problem of heating with delay under nonseparated boundary conditions // Cybernetics and Systems Analysis, Springer, – 2018. v.54, – p.110-121.
6. Guliyev, S.Z. Numerical solution of a zonal feedback control problem for the heating process // 18th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability (TECIS-2018), – Baku: – September 13-15, – 2018, – p.251-256.
7. Guliyev, S.Z. Numerical solution of a zonal feedback control problem for the heating process // IFAC Papers Online 51-30, Elsevier, – 2018, – p.251-256.
8. Guliyev, S.Z. Controlling optimization software packages with the application of parallel computing // – Baku: Azerbaijan Journal of High Performance Computing, – 2018. vol.1, no.1, – p.113-125.
9. Кулиев, С.З. Численный метод решения задачи и оптимизации размещения и режимов работы скважин нефтепромысла // Материалы второй Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли», посвященной 25-летию Института нефти и газа СКФУ, – Ставрополь: – 2018, – с.280-285.
10. Guliyev, S.Z. On a zonal feedback control problem for the heating process // International conference dedicated to the 90th anniversary of academician Azad Mirzajanzade, – Baku: – December 13-14, – 2018.
11. Кулиев, С.З. Оптимизация зональных параметров обратной связи при управлении процессом нагрева стержня // Материалы четвертой международной научной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики», – Нальчик-Эльбрус: – 22-26 мая, – 2018.
12. Guliyev, S.Z. Numerical solution of a problem of synthesis of zonal values of lumped controls for the heating process // Proceedings of the conference “Operators, Functions, and Systems of Mathematical Physics”, – Baku: – May 21-24, – 2018.
13. Кулиев, С.З., Айда-заде, К.Р. О совмещении процессов математического моделирования и управления объектами //

Информационный бюллетень Омского научно-образовательного центра ОмГТУ и ИМ СО РАН в области математики и информатики, – Омск: – 26 апреля - 4 мая, 2018. т.2, №1, – с.12.

14. Кулиев, С.З. Синтез зонального управления процессом нагрева при нелокальных граничных условиях с запаздывающим аргументом и с незаданными начальными условиями // Материалы международной научной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики и физики», – Нальчик-Трескол: – 17-21 мая, – 2017, – с.121-122.
15. Кулиев, С.З., Гасымов, С.Ю. Решение задачи синтеза сосредоточенных управляющих воздействий в процессе нагрева пластины // Материалы международной научной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики и физики», – Нальчик-Трескол: – 17-21 мая, – 2017, – с.122-123.
16. Кулиев, С.З. О способах управления пакетом программ Седьмая международная молодежная научно-практическая конференция с элементами научной школы «Прикладная Математика и Фундаментальная Информатика», посвященная 60-летию Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН, – Омск: – 2017.
17. Кулиев, С.З., Айда-заде, К.Р. О совмещении этапов параметрической идентификации математических моделей и управления сложными процессами // Труды международной научно-практической конференции «Математические методы и информационные технологии макроэкономического анализа и экономической политики», посвященной празднованию 80-летнего юбилея академика НАН РК Абдыкаппара Ашимовича Ашимова, – Алматы: – 11-12 апреля, – 2017, – с.303-307.
18. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. On methods of controlling optimization software packages with the application of parallel computing // “Proqram mühəndisliyinin aktual elmi-praktiki

problemləri" birinci respublika konfransısın materialları, – Bakı: – 17 may, – 2017, – p.27-29.

19. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. On methods of controlling optimization software packages with the application of parallel computing // Eighth International Conference on Optimization Methods and Applications (OPTIMA-2017), – Petrovac: – 2017, – p.71.
20. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. On methods of controlling optimization software packages with the application of parallel computing // – Ukraine: Mathematical and Computer Modelling, Physical and Mathematical Sciences series, – 2017. no.5, – p.5-9.
21. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Zonal feedback control for a heating problem with delay in boundary conditions // Abstracts of the seventh International Conference "Optimization and Applications" (OPTIMA-2016), – Petrovac: – 2016, – p.21-22.
22. Кулиев, С.З. Синтез зональных управлений для одной задачи нагрева с запаздыванием в краевых условиях // Шестая международная молодежная научно-практическая конференция с элементами научной школы «Прикладная математика и фундаментальная информатика», – Омск: Издательство ОмГТУ, – 2016.
23. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Synthesis of zonal boundary controls for a heating problem with delay // International Workshop "Non-harmonic Analysis and Differential Operators", – Baku: – may 25-27, – 2016.
24. Кулиев, С.З., Айда-заде, К.Р. Задача идентификации коэффициента гидравлического сопротивления трубопровода // – Москва: Автоматика и Телемеханика, – 2016. №7, – с.123-141.

    Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Hydraulic resistance coefficient identification in pipelines // Automation and Remote Control, Pleiades Publishing, – 2016. vol.77, no.7, – p.1225-1239.
25. Кулиев, С.З., Айда-заде, К.Р. Синтез зональных управлений для нелинейных систем с нелинейной обратной связью // –

Киев: Проблемы Управления и Информатики, – 2015. №1, – с.52-65.
Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Zonal control synthesis for nonlinear systems under nonlinear output feedback // Automation and Information Sciences, Begell House Inc., – 2015. vol.47, no.1, – p.51-66.

26. Кулиев, С.З. Численный метод решения коэффициентно-обратной задачи для неустановившегося движения в нефтепроводе // – Минск: Инженерно-Физический журнал, – 2015. т.88, №2, – с.470-480.
Guliyev, S.Z. Numerical method of solution of the coefficient-inverse problem for unsteady motion in an oil pipeline // Engineering Physics and Thermophysics, – 2015. vol.88, no.2, – p.486-496.
27. Кулиев, С.З. Подход к определению коэффициента гидравлического сопротивления участка трубопровода при неустановившемся режиме движения жидкости // – Новосибирск: Сибирский журнал Индустриальной Математики, – 2015. т.18, №1(61), – с.84–94.
Guliyev, S.Z. An approach to determining the hydraulic resistance coefficient of a pipeline section under an unsteady flow regime // Journal of Applied and Industrial Mathematics, – 2015. vol.9, no.2, – p.241-250.
28. Кулиев, С.З. Идентификация коэффициента гидравлического сопротивления участка трубопровода при неустановившемся режиме движения жидкости // – Москва: Математическое Моделирование, – 2015. т.27, № 8, – с.47-62.
29. Guliyev, S.Z. Numerical method of determination of the resistance coefficient as a function of fluid velocity and of point of the pipeline section under unsteady flow regime // Extended abstracts of the fifth international conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA-2015), – Baku: – 2015, – p.324-327.
30. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Feedback control under different types and forms of observations // Extended abstracts of the fifth

international conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA-2015), – Baku: – 2015, – p.230-233.
31. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Zonal control of nonlinear systems with feedback on state and on output // Abstracts of the sixth international conference "Optimization and Applications" (OPTIMA-2015), – Petrovac: – 2015, – p.26-27.
32. Кулиев, С.З., Айда-заде, К.Р. Определение коэффициента гидравлического сопротивления участка нефтепровода при неустановившемся режиме движения // Пятая международная молодежная научно-практическая конференция с элементами научной школы «Прикладная математика и фундаментальная информатика», – Омск: Издательство ОмГТУ, – 23-30 апреля, – 2015.
33. Кулиев, С.З. Зональное управление нелинейной динамической системой при нелинейной обратной связи // – Баку: Известия Национальной Академии Наук Азербайджана, серия физико-технических и математических наук, – 2014. т.34, № 3, – с.140-152.
34. Guliyev, S.Z. Identification of the hydraulic resistance coefficient // Abstracts of the fifth international conference "Optimization and Applications" (OPTIMA-2014), – Montenegro: – 2014, – p.91-92.
35. Кулиев, С.З. Синтез управления в нелинейных системах при различных видах обратной связи и стратегий управления // – Киев: Проблемы Управления и Информатики, – 2013. №4, – с.63-74.
Guliyev, S.Z. Synthesis of control in nonlinear systems with different types of feedback and strategies of control // Automation and Information Sciences, Begell House Inc., – 2013. vol.45, no.7, – p.74-86.
36. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Zonal feedback control for nonlinear systems with nonlinear feedback // Extended abstracts of the fourth conference on Control and Optimization with Industrial Applications, (COIA-2013), – Borovets: – 2013, – p.6.

37. Кулиев, С.З. Задача синтеза зональных управлений для обогревательной системы // Труды четвертой международной конференции «Нелокальные краевые задачи и родственные проблемы математической биологии, информатики и физики», – Нальчик: – 2013, – с.141-144.
38. Кулиев, С.З. Численное определение коэффициента гидравлического сопротивления при неустановившемся режиме движения нефти // Материалы международной научной конференции, посвященной 85-летнему юбилею академика Азада Халил оглы Мирзаджанзаде, – Баку: – 2013, – с.149-150.
39. Кулиев, С.З., Айда-заде, К.Р. О численном решении одного класса обратных задач для разрывных динамических систем // – Москва: Автоматика и Телемеханика, – 2012. №5, – с.25-38. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. On numerical solution of one class of inverse problems for discontinuous dynamic systems // Automation and Remote Control, Pleiades Publishing, – 2012. vol.73, no.5, – p.786-796.
40. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Zonal control of lumped systems on different classes of feedback functions // Third international conference “Optimization Methods and Applications” (OPTIMA-2012), – Costa da Caparica: – September 23-30, – 2012, – p.153-156.
41. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Numerical solution to an inverse problem for quasilinear parabolic equation // Fourth international conference “Problems of Cybernetics and Informatics” (PCI’2012), – Baku: – September 12-14, – 2012, – p.29-31.
42. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Some approaches to solve feedback control problems for nonlinear dynamic systems // Fourth international conference “Problems of Cybernetics and Informatics” (PCI’2012), – Baku: – September 12-14, – 2012, p.25-28.
43. Кулиев, С.З., Айда-заде, К.Р. Численное решение нелинейных коэффициентно-обратных задач для обыкновенных дифференциальных уравнений // – Москва:

Журнал Вычислительной Математики и Математической Физики, – 2011. т.51, №5, – с.858-871.
Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Numerical solution of nonlinear inverse coefficient problems for ordinary differential equations // Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics, Pleiades Publishing, – 2011. vol.51, no.5, – p.803–815.

44. Кулиев С.З. Синтез зональных управлений для нелинейных систем при дискретных наблюдениях // Автоматика и Вычислительная Техника, №6, 2011, стр.49-57.
Guliyev S.Z. Synthesis of Zonal Controls of Nonlinear Systems under Discrete Observations // Journal of Automatic Control and Computer Sciences, Allerton Press, vol.45, No.6, 2011, pp.338-345.
45. Кулиев, С.З. Синтез зональных управлений при дискретных наблюдениях // – Баку: Известия Национальной Академии Наук Азербайджана, серия физико-технических и математических наук, – 2011. т.31, №6, – с.47-55.
46. Кулиев, С.З. Численное решение класса обратных задач для разрывных динамических систем // – Баку: Известия высших технических учебных заведений Азербайджана, – 2011. т.74, №4, – с.71-80.
47. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. On a zonal feedback control problem in distributed systems // Extended abstracts of the second international conference "Optimization and Applications" (OPTIMA-2011), – Montenegro: – 2011.
48. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Zonal feedback control problems for non-linear dynamic systems // Extended abstracts of the second international conference "Optimization and Applications" (OPTIMA-2011), – Montenegro: – 2011.
49. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. Determination of resistance coefficient for pipeline section under non-stationary regime // Abstracts of the fourth congress of the Turkic World Mathematical Society (TWMS), – Baku: – July 5-7, – 2011, – p.359.

50. Guliyev, S.Z. Zonal feedback control in systems with lumped parameters // Abstracts of the fourth congress of the Turkic World Mathematical Society (TWMS), – Baku: – July 5-7, – 2011, – p.371.
51. Guliyev, S.Z., Ismibeyli, R.E. Identification of discontinuity conditions in dynamic systems // Abstracts of the fourth congress of the Turkic World Mathematical Society (TWMS), – Baku: – July 5-7, – 2011, – p.379.
52. Кулиев, С.З. Подход к идентификации коэффициентов нелинейных дифференциальных уравнений // – Баку: Известия Национальной Академии Наук Азербайджана, серия физико-технических и математических наук, – 2010. т.30, №6, – с.15-25.
53. Кулиев, С.З. Подход к идентификации коэффициентов нелинейных динамических объектов с сосредоточенными параметрами // – Киев: Электронное Моделирование, – 2010. т.32, №6, – с.15-30.
54. Guliyev, S.Z., Ismibeyli, R.E. Numerical solution to a parametrical identification problem for quasi-linear equations // The 24th Mini EURO Conference on Continuous Optimization and Information-Based Technologies in The Financial Sector, – Izmir: – 2010, – p.124-130.
55. Guliyev, S.Z., Bagirov, A.H. Solution to a class of inverse problems with respect to discontinuous systems // The 24th Mini EURO Conference on Continuous Optimization and Information-Based Technologies in The Financial Sector, – Izmir: – 2010, – p.113-120.
56. Guliyev, S.Z. On an inverse problem of the determination of switching conditions in discontinuous systems // The third international conference "Problems of Cybernetics and Informatics" (PCI'2010) dedicated to the World Science Day for Peace and Development, – Baku: – 2010, – p.66-69.
57. Guliyev, S.Z. On a parametrical identification problem for non-linear equations // The third international conference "Problems of Cybernetics and Informatics" (PCI'2010) dedicated to the World

Science Day for Peace and Development, – Baku: – 2010, – p.70-73.
58. Кулиев, С.З. Идентификация условий перехода в нелинейных системах // Труды международного Российско-Болгарского симпозиума «Уравнения смешанного типа и родственные проблемы анализа и информатики», – Нальчик: – 2010, – с.138-140.
59. Кулиев, С.З., Хорошко, М.Н. О совмещении этапов параметрической идентификации и оптимизации динамических процессов // – Баку: Известия Национальной Академии Наук Азербайджана, серия физико-технических и математических наук, – 2009. т.29, №3, – с.10-16.
60. Кулиев, С.З. О совмещении этапов параметрической идентификации и оптимизации динамических процессов // – Киев: Электронное Моделирование, – 2009. т.31, №4, – с.3-16.
61. Кулиев, С.З., Айда-заде, К.Р. Численное решение обратной задачи для квазилинейного уравнения теплопроводности // Труды международного Российско-Абхазского симпозиума «Уравнения смешанного типа и родственные проблемы анализа и информатики», – Нальчик: – 2009, – с.27-29.
62. Кулиев, С.З. Подход к идентификации коэффициентов квазилинейных дифференциальных уравнений // Труды международного Российско-Абхазского симпозиума «Уравнения смешанного типа и родственные проблемы анализа и информатики», – Нальчик: – 2009, – с.136-137.
63. Кулиев, С.З., Айда-заде, К.Р. Об одном классе обратных задач для разрывных систем // – Киев: Кибернетика и Системный Анализ, – 2008. т.44, №6, – с.142-152.
Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. On a class of inverse problems for discontinuous systems // Cybernetics and Systems Analysis, Springer, – 2008. vol.44, no.6, – p.915–924.
64. Кулиев, С.З. Об одной задаче оптимизации разрывных систем // – Баку: Известия Национальной Академии Наук Азербайджана, серия физико-технических и математических наук, – 2008. т.28, №6, – с.31-36.

65. Кулиев, С.З., Айда-заде, К.Р. Об одном классе задач идентификации динамических объектов // – Киев: Электронное Моделирование, – 2008. т.30, №4, – с.105-116.
66. Guliyev, S.Z. Optimization problem for discontinuous systems // The second international conference “Problems of Cybernetics and Informatics” (PCI’2008), – Baku: – 2008, vol.3, – p.35-38.
67. Guliyev, S.Z. On numerical solving a class of inverse problems described by discontinuous ordinary differential equations // The second international conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA-2008), – Baku: – 2008, – p.69-70.
68. Guliyev, S.Z., Mamedov, R.S. On a class of inverse problems for discontinuous systems // The fourth international conference “Inverse Problems: Modelling and Simulation”, – Fethiye: – 2008, – p.55-56.
69. Guliyev, S.Z. On a problem of parametrical identification of a dynamical system // Proceedings of the sixth international ISAAC congress, – Ankara: – August 13-18, – 2007, – p.50-51.
70. Кулиев, С.З., Айда-заде, К.Р. Об одной задаче синтеза управления для нелинейных систем // – Рига: Автоматика и Вычислительная Техника, – 2005. №1, – с.15-23.
Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. A task for nonlinear system control synthesis // Automatic Control and Computer Sciences, – 2005. vol.39, no.1, – p.15-23.
71. Guliyev, S.Z., Aida-zade, K.R. About one class of feedback control problems and approach to their solution // The first international conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA-2005), – Baku: – 2005, – p.17-18.

Dissertasiyasının müdafiəsi 15 Aprel 2022-ci il tarixində saat $15^{\underline{30}}$ Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının İdarəetmə Sistemləri İnstitunun nəzdində faəliyyət göstərən ED 1.19 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1141, Bakı şəhəri, Bəxtiyar Vahabzadə küçəsi, 68

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının İdarəetmə Sistemləri İnstitunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının İdarəetmə Sistemləri İnstitunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 12 mart 2022 il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 04.03.2022
Kağızın formatı: A5
Həcm: 77691
Tiraj: 30