AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

ÇIXIŞA NƏZƏRƏN STABİLİZASİYA MƏSƏLƏLƏRİNİN ZAMAN VƏ TEZLİK HESABLAMA ÜSULLARI İLƏ HƏLLİ

İxtisas: 3338.01–Sistemli analiz, idarəetmə və informasiyanın işlənməsi(optimal idarəetmə üzrə)

Elm sahəsi: Riyaziyyat

İddiaçı: **ŞƏRQİYYƏ ARAZ QIZI FƏRƏCOVA**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2022

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində Tətbiqi Riyaziyyat Elmi-Tədqiqat İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: AMEA-nın həqiqi üzvü,professor
Fikrət Əhmədəli oğlu Əliyev

Elmi məsləhətçi: riyaziyyat elmləri doktoru,dosent
Nailə İsmayıl qızı Vəliyeva

Rəsmi opponentlər:

riyaziyyat elmləri doktoru,professor
Yaşar Topuş oğlu Mehrəliyev

riyaziyyat elmləri doktoru,dosent
İlqar Qüdrət oğlu Məmmədov

riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru,dosent
İdrak Mirzəbaba oğlu Əsgərov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən BFD 2.17/2 Birdəfəlik Dissertasiya şurası

Birdəfəlik Dissertasiya şurasının sədri:
AMEA-nın həqiqi üzvü,f.r.e.d,professor
____________________ **Məhəmməd Fərman oğlu Mehdiyev**

Birdəfəlik Dissertasiya şurasının elmi katibi: f.r.e.n.dosent
_____________ **Zakir Fərman oğlu Xankişiyev**

Elmi seminarın sədri: r.e.d.dosent
_____________ **Əli Baqdaş oğlu Ramazanov**

İŞIN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Optimal idarəetmə nəzəriyyəsi müasir riyaziyyatın aparıcı sahələrindən biridir. O, kifayət qədər mürəkkəb riyazi məsələlərin geniş spektrinin həlli ilə bağlıdır, elm və texnikanın bir çox sahələrində mühüm tətbiqlərə malikdir. Bu, bir tərəfdən əhəmiyyətli riyazi mürəkkəbliklə səciyyələnən, digər tərəfdən isə praktikada geniş rast gəlinən çoxölçülü xətti obyektlərin texnoloji rejiminin optimal stabilləşdirilməsi problemlərinə aiddir.

Optimal idarəetmənin problemləri sırasında hər hansı prosesin optimal stabilləşdirmə məsələləri mühüm yer tutur. Belə stabilləşdirmə məsələləri geniş sahələri əhatə edir. Qeyd etmək lazımdır ki, optimal stabilləşdirmə problemlərinin tədqiqat üsulları dayanıqlıq nəzəriyyəsinin klassik metodları ilə uyğunlaşır. Xüsusi halda, optimal idarəetmə nəzəriyyəsinin əsas məsələlərindən biri olan dinamik proqramlaşdırma metodu mahiyyət etibarı ilə variasiya hesabı metodları ilə Lyapunov funksiyası metodunun birləşməsidir. Lyapunov metodunun daha da təkmilləşdirilməsi optimal stabilləşdirmə məsələlərinin həllinin effektiv üsullarının tapılmasına imkan vermişdir. Larin V.B., Əliyev F.Ə. , Vəliyeva N.İ. və s. işlərində stasionar sistemlərin hərəkətinin optimal stabilləşdirilməsi üçün bir sıra mühüm nəticələr alınmışdır. Müasir texnologiyanın yaradılmasında idarəetmə və optimallaşdırma problemləri, məsələn kimyəvi proseslərin idarə edilməsi problemləri , qaz qaldırıcı ilə neft hasilatı və borulu nasos qurğusu (minimum enerji istehlakı maksimum xammal və s.), robot sistemləri , kosmik gəmilərin idarə edilməsi və s. mühüm rol oynayır. Bu sahələrdə həm xətti həm də xətti olmayan idarəetmə problemləri olan bir çox nəzəri tədqiqatların olmasına baxmayaraq, yeni texnologiyaların yaradılması üçün ədədi alqoritmlərin işlənilməsinə daha çox diqqət yetirilmişdir. Optimallaşdırma və idarərtmə problemlərinin həlli üçün metod və ya alqoritmlərin hazırlanması onların bəzi praktiki problemləri həll edə biləcəyi anlamına gəlmir. Yəni konkret problemlərin həllində onların işlək olmasını yoxlamaq üçün müvafiq proqramların, məsələn

MATLAB, MATHEMATICS və s. riyazi proqram paketlərindən istifadə edilməlidir. Məlumdur ki, optimal idarəetmə məsələlərinin analitik həllini qurmaq çox çətindir. Buna görə onların həlli üçün müxtəlif təqribi və ədədi üsullara xüsusi diqqət yetirilmişdir. Məsələlərin xüsusiyyətindən asılı olaraq təklif olunan alqoritmlərdən hər hansı biri tətbiq olunur. Çıxışa nəzərən statistik tənzimləyici məsələsinin həlli, iki qeyri-xətti matris tənliklərinin həllinə gətirilir və bu tənliklərin həlli də çox mürəkkəbdir. Bu tənliklərin həlli üzərində hələ də bir çox tədqiqat işləri aparılır. Bu onunla bağlıdır ki, yeni məsələlər meydana çıxdıqca həmin tənliklərə tələbat çoxalır. Məsələn son zamanlar pilotsuz uçuş aparatlarının hərəkəti ilə bağlı optimal stabilləşdirmə məsələləri Rikkati və Silvestr tənliyinin həllinə gəlir. Bu tənliklərin çox öyrənilməsinə baxmayaraq bəzi çatışmazliqlar qalmaqdadir. Tətbiq baxımından bu işlər aktualdır və çox böyük əhəmiyyətə malikdir.

Dissertasiya işi giriş hissəsindən və üç fəsildən ibarətdir.

Birinci fəsildə periodik halda çıxışa nəzərən optimal tənzimləyicilərin qurulması üçün kəsilməz və diskret hal üçün həll metodları təklif olunub. Birinci fəslin birinci paraqrafında obyektin hərəkəti zamanın müxtəlif hissələrində həm sonlu fərq münasibətləri ilə həm də differensial tənliklər sistemi ilə təsvir olunan stabilləşmə məsələsi araşdırılıb və həll alqoritmi verilib. İkinci paraqrafda çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin diskret hal üçün həll metodları işlənib. Üçüncü paraqrafda xətti periodik idarə olunan (kəsilməz və diskret) sistem üçün əks əlaqə daxilində periodik sistemlərin stabilizasiyası alqoritminin qurulması (idarə olunan obyektin faza koordinatlarının qiymətləndirilməsi sistemi) araşdırılıb. Obyektə təsir edən səs və həyəcanlanmanın intensivliyini xarakterizə edən bəzi matrislərin vasitəsi ilə filtrdə baş verən keçid prosesinin xarakterinə təsir edən alqoritmlər verilib və onlara müvafiq olaraq proqram təminatı yaradılıb.

Dissertasiya işinin ikinci fəslində ayrılmayan üçnöqtəli sərhəd şərtli optimizasiya məsələsi nəzərdən keçirilib. Bu məsələnin həlli üçün müxtəlif üsullar, o cümlədən qovma üsulu təklif edilib. Bu məsələnin həllinin qazlift üsulu ilə neft quyularının istismarı prosesində optimal tənzimləyicilərin qurulmasına tətbiqi araşdırılıb. İkinci fəslin birinci paraqrafında daxili və son nöqtələrdə ayrılmayan üçnöqtəli sərhəd şərtli optimizasiya məsələsi nəzərdən keçirilib, müvafiq kəsilməz məsələnin həlli üçün qovma üsulu təklif edilib. Üçüncü paraqrafda qurulmuş riyazi modeldən istifadə etməklə və düz xətlər metodunu tətbiq etməklə xətti-kvadratik optimal idarəetmə məsələsi alınır ki, buna da ilkin məsələdən fərqli olaraq optimal idarəetmə məsələsinin məlum həll metodlarını tətbiq etməklə həll alqoritmi verilib.

Üçüncü fəsildə çıxışa nəzərən optimal tənzimləyicilərin qurulması məsələsinin həlli üçün, cəbri Rikkati, Silvester tənliklərinin həll metodları işlənib hazırlanmışdır. Normal vəziyyətdə diskret BHH (Bevis–Hall–Hartwig) tənliyini həll etmək üçün Matlab mühitindəki xətti matris bərabərsizliklərinin hesablanmasi proseduru bazasinda alqoritm təklif olunur. Alınan nəticə misal üzərində analiz olunaraq təklif olunan üsulun effektivliyi göstərilir. Birinci paraqrafda BHH matris tənliyinin klassik Steyn tənliyinə gətirilməsindən fərqli olaraq, xətti matris bərabərsizliklər (LMI) əsasında həll alqoritmi verilib. Göstərilir ki, BHH tənliyini həll etmək ücün təklif olunan LMI alqoritmi məlum üsullara nisbətən daha sadə və rahat realizə olunur. Nəticələr misallar üzərində göstərilib. İkinci paraqrafda diskret Rikkati tənliyinin ümumi halda stabilləşdirici- yəni qapalı sistemin matrisinin bütün məxsusi ədədləri vahid radiuslu dairənin daxilində yerləşirsə, və anti stabilləşdirici - yəni qapalı sistemin matrisinin bütün məxsusi ədədləri vahid radiuslu dairənin xaricində yerləşirsə, həlləri araşdırılıb. Sonsuz qüvvət sırası üsulu ilə cəbri Rikkati tənliyinin həm kəsilməz və həm də diskret halda sürətli iterasiya sxemi verilib. Müxtəlif halları əhatə edən misallar üzərində iterativ sxem yoxlanılıb.

Tədqiqatın obyekti və predmeti. Tədqiqatın obyekti və predmeti çıxışa nəzərən stabilləşdirmə məsələləri, daxili və son nöqtələrdə ayrılmayan üçnöqtəli sərhəd şərtli optimallaşdırma məsələləridir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi çıxışa nəzərən stabilləşdirmə məsələlərinin zaman və tezlik hesablama üsullarının işlənməsindən, daxili və son nöqtələrdə ayrılmayan üçnöqtəli sərhəd şərtli optimallaşdırma məsələsinin həll alqoritmlərinin hazırlanmasından və alınmış nəticələrin neftin qazlift üsulu ilə çıxarılmasına tətbiq edilməsindən ibarətdir.

Göstərilən məqsədə nail olmaq üçün aşağıda məsələlərin həlli təklif edilmişdir:

- Kəsilməz halda çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin həll metodu;
- Diskret halda çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin həll metodu;
- Diskret halda çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin iterativ həll metodu;
- Daxili və son nöqtələrdə ayrılmayan üçnöqtəli sərhəd şərtli optimizasiya məsələsinin həlli üçün qovma üsulu;
- Üçnöqtəli sərhəd şərtli optimal idarəetmə məsələsinin həllinin neftin qazlift üsulu ilə çıxarılmasına tətbiqi;
- BHH Silvestr tənliyinin həlli üsulu;
- Rikkati tənliyinin həll metodu.

Tədqiqatın metodları. Qoyulmuş məsələlərin həlli üçün optimallaşdırma üsulları, ədədi üsullar, diffferensial tənliklər nəzəriyyəsindən, qazlift üsulundan istifadə olunmuşdur.

Müdafiəyə çıxarilan əsas müddəalar. Dissertasiya işində aparılmış tədqiqatların və alınmış nəticələrin elmi yenilikləri aşağıdakılardan ibarətdir:

- ✓ Kəsilməz halda çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin həll metodunun işlənməsi;
- ✓ Diskret halda çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin həll metodunun işlənməsi;
- ✓ Diskret halda çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin iterativ həll metodunun işlənməsi;
- ✓ Daxili və son nöqtələrdə ayrılmayan üçnöqtəli sərhəd şərtli optimizasiya məsələsinin həlli üçün qovma üsulunun işlənməsi;

- ✓ Üçnöqtəli sərhəd şərtli optimal idarəetmə məsələsinin həllinin neftin qazlift üsulu ilə çıxarılmasına tətbiq edilməsii;
- ✓ BHH Silvestr tənliyinin həlli üsulunun işlənməsi;
- ✓ Rikkati tənliyinin sürətli iterativ həll üsullarını işlənməsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Kəsilməz halda çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin həll metodu işlənmişdir;

Diskret halda çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin həll metodu işlənmişdir;

Diskret halda çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin iterativ həll metodu verilmişdir;

Daxili və son nöqtələrdə ayrılmayan üçnöqtəli sərhəd şərtli optimizasiya məsələsinin həlli üçün qovma üsulu işlənib;

Üçnöqtəli sərhəd şərtli optimal idarəetmə məsələsinin həllinin neftin qazlift üsulu ilə çıxarılmasına tətbiq edilmişdir;

BHH Sylvestr tənliyinin həlli üsulu işlənib;

Rikkati tənliyinin həll metodu işlənmişdir.

Dissertasiya işinin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. İşin praktiki əhəmiyyəti alınmış elmi-nəzəri nəticələrin digər elm sahələrində, o cümlədən neftçıxarma sənayesində tətbiq edilə bilməsindən ibarətdir. Dissertasiya işinin əsas nəticələri neftin səmərəli üsullarla istismarı üzrə qrant layihələrin yerinə yetirilməsində istifadə olunmuşdur.

Aprobasiyası və tətbiqi. İşin əsas elmi-nəzəri və praktiki nəticələri aşağıdakı konfranslarda məruzə edilmiş və müzakirə olunmuşdur:

– The 5th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, 27-29 August, 2015, Baku, Azerbaijan;

– Bakı Dövlət Universiteti Tətbiqi Riyaziyyat Elmi-Tədqiqat İnstitutunun elmi seminarı;

– The VI congress of the TWMS, October 2-5, 2017, Astana, Kazakhstan;

– Proceedings of the 6th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA 2018);

– Proceedings of the 7th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA 2020).

Müəllifin şəxsi töhvəsi. Alınmış bütün nəticələr və təkliflər müəllifə aiddir.

Müəllifin nəşrləri. Dissertasiyanın əsas nəticələri müllifin 11 elmi işində dərc edilmişdir. Bu işlərin siyahısı avtoreferatın sonunda verilmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Bakı Dğvlət Universitetinin nəzdində Tətbiqi Riyaziyyat Elmi-Tədqiqat İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi:

Dissertasiya işinin ümumi həcmi-210360 işarə (titul səhifəsi – 470 işarə, mündəricat – 960 işarə, giriş – 17931 işarə, birinci fəsil-68000 işarə, ikinci fəsil -78000 işarə, üçüncü fəsil-44000 işarə, nəticə-822 işarə). İstifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı 152 addadır.

İŞIN MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin aktuallığı şərh edilmişdi, aparılan tədqiqatın əsasları vurğulanmışdı, elmi yeniliyi və işin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti əks olunmuşdu, dissertasiya işinin məqsədlərinə nail olmaq üçün müdafiəyə çıxarılan müddəalar göstərilmişdi, işin məzmunu və strukturu və o cümlədən, müdafiəyə çıxarılan axtarılan nəticələr təsvir edilmişdi.

Birinci fəsil çixişa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin həll üsuluna həsr olunub.

Birinci fəslin birinci paraqrafında obyektin hərəkəti zamanın müxtəlif hissələrində həm sonlu fərq münasibətləri ilə həm də diferensial tənliklər sistemi ilə təsvir olunan stabilləşmə məsələsinin həlli nəzərdən keçirilib.

Tutaq ki, $(k-1)\tau < t < k\tau,\, k = 1,2,...,$ intervalında idarəetmə obyektinin hərəkəti aşagıdakı diferensial tənliklər sistemi ilə ifadə olunur

$$\dot{x} = Ax + Bu \qquad (1.1.1)$$

$t = k\tau$ anında isə sonlu fərq münasibətləri ilə

$$x(k\tau + 0) = Nx(k\tau - 0) + Mv(k) \qquad (1.1.2)$$

təsvir olunur.

Elə kəsilməz və impulsiv idarəetmə strategiyasını tapmaq tələb olunur ki,

$$u(t) = f(x(t)), v(k) = \varphi(x(k\tau - 0)) \quad ,$$

obyekt+requlyator qapalı sistemi asimtotik dayanıqlı olsun və aşagıdakı kvadratik funksionala minimum (keyfiyyət kriteriyası) qiymət versin:

$$I(t_0) = \int_{t_0}^{\infty} (x'Qx + u'Ru)dt + \sum_{k=1}^{\infty} v'(k)Cv(k) \; . \qquad (1.1.3)$$

Burada $A, B, R = R' > 0, \; Q = Q' \geq 0$-matrisləri t dəyişəninə nəzərən τ periodludur, $N, M, C = C' > 0$-matrisləri isə sabitdirlər. x, u- uyğun ölçülü faza kordinatlari və idarəetmə təsirinin vektorlarıdır.

XKQ (Xətti Kvafratik Qauss)- məsələsinin həllindən istifadə edərək (1.1.3) funksionalının minimumunu kvadratik formanın axtarılması metodundan istifadə etməklə alırıq

$$\min_{u,v} I(t_0) = x'(t_0)S(t_0)x(t_0) .$$

burada $(k-1)\tau < t < k\tau$ aralığında olduqda

$$u = -R^{-1}B'Sx, \qquad (1.1.4)$$

$t = k\tau$ aralığında isə

$$v(k) = -(M'S(k\tau + 0)M + C)^{-1} M'S(k\tau + 0)Nx(k\tau - 0). \qquad (1.1.5)$$

düsturu ilə tapılır.

S matrisi $(k-1)\tau < t < k\tau$ aralıgında aşagıdakı differensial Rikkati tənliyindən tapılır

$$-\dot{S} = SA + A'S - SBR^{-1}B'S + Q. \qquad (1.1.6)$$

Bu matrisin $t = k\tau$ anındakı sıçrayışı aşagıdakı ifadə ilə

$$S(k\tau - 0) = N'\{\, (S(k\tau + 0) - S(k\tau + 0)M\left(C + M'S(k\tau + 0)M\right)^{-1} \times \qquad (1.1.7)$$
$$\times M'S(k\tau + 0)\,\}N.$$

Deməli idarəetmənin optimal strategiyasını müəyyən etmək üçün elə periodik (τ - periodlu) S matrisini tapmaq lazımdır ki, (1.1.6) , (1.1.7) tənliklərini ödənsin və (1.1.1) , (1.1.2), (1.1.4), (1.1.5) sistemləri asimtotik dayanıqlı olsun.Bu məsələnin həlli üçün alqoritm təklif olunub.

Birinci fəslin ikinci paraqrafı periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin diskret halda həlli metoduna baxılıb və alqoritm təklif olunub.

Diskret periodik sistem üçün tənzimləyicilərin analitik konstruksiyası məsələsini tədqiq edək.

Tutaqki, obyektin hərəkəti

$$x(i+1) = \psi(i)x(i) + \Gamma(i)u(i),\ i = 0,1,2,\ldots \qquad (1.2.1),$$

sonlu fərqlər sistem tənliyi ilə verilmişdir.

Tələb olunurki $x(0) \neq 0$ şərti daxilində uyğun idarəetmə (requlyator tənliyi) strategiyasını

$$u(i) = f(x(i)) \qquad (1.2.2)$$

seçməklə (1.2.1) və (1.2.2) sisteminin dayanıqlığı təmin olunsun ($\lim\limits_{i\to\infty}(i) = 0$) və kvadratik funksional

$$I = \sum_{i=0}^{\infty}\left[x'(i)Q(i)x(i) + u'(i)R(i)u(i)\right]. \qquad (1.2.3)$$

minimum qiymət alsın.

Burada $x(i), u(i)$- faza kordinatlari və idarəetmə təsirinin vektorları, $\psi(i), \Gamma(i), Q(i) = Q'(i) \geq 0, R(i) = R'(i) > 0$, p periodlu matrislərdir, yəni $\psi(i+p) = \psi(i)$, $\Gamma(i+p) = \Gamma(i)$, periodiklik şərti ödənilir.

Məlumdur ki, (1.2.2) optimal requlyatorun idarəetməsi aşağıdakı şəkildədir :

$$u(i) = -\left[\Gamma'(i)S(i+1)\Gamma(i) + R(i)\right]^{-1} \Gamma'(i)S(i+1)\psi(i)x(i). \quad (1.2.4)$$

Optimal idarəetmə qanununda simmetrik S matrislər ardıcıllığı aşağıdakı rekurent münasibətdən təyin olunur

$$S(i) = \psi'(i)[S(i+1) - S(i+1)\Gamma(i) + R(i) + \Gamma'(i)S(i+1)\Gamma(i))^{-1}\Gamma'(i)S(i+1)\psi(i) + Q(i)\ ]. \quad (1.2.5)$$

Deməli (1.2.4) idarəetmə qanununu təyin etmık üçün (1.2.5) münasibətini ödəyən $S(i)$ matris ardıcıllıgından birini tapmaq zəruridir.

Məsələnin şərtindəki matrislər periodik olduğundan prosesin başlanğıc anını p indeksi qədər sürüşdürsək $(i = p, p+1, ...)$, idarəetmənin strategiyası dəyişməyəcək. Ona görə axtarılan matrislər ardıcıllığı $S(i+p) = S(i)$ periodiklik şərtini ödəməlidir.Müəyyən çevirmələr aparmaqla

$$\psi(i,n+1) = \psi(i+n)(E + D(i,n)Q(i+n))^{-1}\psi(i,n),$$
$$\psi(i,0) = E,$$
$$D(i,n+1) = \psi(n+i)[(E + D(i,n)Q(i+n))]^{-1}D(i,n)\psi'(n+i) +$$
$$+\Gamma(n+i)R^{-1}(n+i)\Gamma'(n+i),$$
$$D(i,0) = 0,$$
$$Q(i,n+1) = Q(i,n) + \psi'(i,n) + Q(n+i)[\ E + D(i,n)Q(i+n)\ ]^{-1}\psi(i,n),$$
$$Q(i,0) = 0.$$

diskret cəbri Rikkati tənliyi aşağıdakı şəkildə olacaq

$$S(i) = \psi'(i,p)\{S(i) - S(i)D(i,p)[(D(i,p))'S(i)D(i,p) + +(U(i,n))^{-1}\ ]^{-1}(D(i,p))'S(i)\ \}\psi(i,p) + Q(i,p). \quad (1.2.6)$$

Teorem 1. Əgər (1.2.6) tənliyinin, obyekt+requlyator qapalı sistemin vektor fəzasının dəyişməsini təyin edən

$$[E + D(i,p)S(p+i)]^{-1}(\psi(i,p)),$$

matrisinin, məxsusi ədədləri vahid radiuslu dairənin daxilində yerləşən həlli varsa, onda (1.2.1), (1.2.4) tənliklər sistemi asimtotik dayanıqlıdır və uyğun olaraq bu $S(i)$ qiymətləri axtarilan periodik ardıcıllığı ifadə edir.

Bu fəslin üçüncü paraqrafında xətti periodik idarə olunan (kəsilməz və diskret) sistem üçün əks əlaqə daxilində periodik sistemlərin stabilizasiyası alqoritminin qurulması (idarə olunan obyektin faza koordinatlarının qiymətləndirilməsi sistemi) göstərilir.

Birinci fəslin dördüncü paraqrafında çıxışa nəzərən əks əlaqəli xətti-kvadratik periodik optimal requlyator məsələsinin həll alqoritmi verilib. Bu tip məsələlərin həllinə Bittanti S.H. , Levine W.S., Athans M. , Aliev F.A., Safarova N.A. işlərində baxılmışdır. Peres P.L.D. , Geromel J.C. işlərində qabarıq proqramlaşdırma aparatı, Aliev F.A., Larin V.B işlərində isə qoşma qradientlər metodlarından istifadə olunur. Gösterilən işlərde hər dəfə Lyapunov tənliyi həll olunur, bu isə bir çox hallarda həllin dəqiqliyinə mənfi təsir göstərə bilər. Bu paraqrafda çıxışa nəzərən optimal requlyator məsələsinin həlli üçün iterasiya alqoritmi tətbiq olunur ki, hər addimda Lyapunov matris cəbri tənliklərini həll etmək tələb olunmur.

İkinci fəsil. Bu fəsildə daxili və son nöqtələrdə ayrılmayan üç nöqtəli sərhəd şərtli optimizasiya məsələsi nəzərdən keçirilir. Sərhəd şərtlərinin qeyri-standart olması üzündən çatışmayan sərhəd şərtlərinin müəyyən edilməsi üçün Laqranj çoxhədlisinin başlanğıc verilənlərindən istifadə edilir.

İkinci fəslin birinci paraqrafında müvafiq kəsilməz məsələnin həlli üçün qovma üsulu təklif edilir, yəni Rikkati matris diferensial tənliklərinin həllindən, həmçinin xətti matris diferensial tənliklərinin həllindən istifadə edilir.

Bu üsul digərlərindən onunla fərqlənir ki, bu yanaşmada ilkin sistemin ölçüsünü artırmaq lazım olmur.

Məlumdur ki, neftin çıxarılması (Алиев Ф.А., Ильясов М.Х., Джамалбеков М.А), habelə robotların işləməsi (Ларин В.Б.) zamanı proqram trayektoriyasının tapılması üçün əsas üsullardan biri üçnöqtəli sərhəd şərtli optimallaşdırma məsələsinin həllindən (Алиев Ф.А., Муталлимов М.М.) istifadə olunmasıdır. Adətən bir çox hallarda sərhəd şərtləri ya tam ayrılmayan şəkildə verilir, ya da ki bəzi nöqtələrdə ayrılan sərhəd şərtləri verilir. Belə məsələlər qazlift üsulu ilə neft çıxarılması prosesində yəni quyunun qaldırıcı borusunda olan qaz-maye qarışığının yerin üstünə çıxarılması üçün vurulan qazın həcminin seçilməsi zamanı meydana gəlir. Başlanğıc verilənlərin tam, daxili və son nöqtələrdə ayrılmayan sərhəd şərtlərinin verildiyi hal xüsusi maraq kəsb edir.

Fərz edək ki, obyektin $[0,\tau)$, $(\tau,T]$ intervallarında hərəkət tənliyi idarə olunan qeyri stasionar

$$\dot{x} = Fx + Gu + v \,, \tag{2.1.1}$$

xətti diferensial tənliklər sistemi təsvir edilir, burada həll

$$x(0) = x^0 \,, \tag{2.1.2}$$

başlanğıc şərtini və τ, T nöqtələrində uyğun olaraq $x(\tau)$, $x(T)$ koordinatları

$$Ax\ (\tau) = Bx(T) \,. \tag{2.1.3}$$

ayrilmayan sərhəd şərtlərini ödəməlidir.

Kvadratik funksionalı aşağədakı kimi quraq:

$$J = \frac{1}{2} x'(T) S_f x(T) + \frac{1}{2} \int_0^T [x'(t) R x(t) + u'(t) C u(t)] dt \,, \tag{2.1.4}$$

burada $S_f = S_f^{'} < 0,\ R = R' > 0,\ C = C' > 0$, uyğun ölçülü verilmiş matrislərdir,ştrix işarəsi isə transponirə əməliyyatını göstərir.

Beləliklə, (2.1.1) - (2.1.3) məsələsinin elə həllini tapmaq tələb olunur ki, (2.1.4) fuksionalına minimum qiymət versin.

İndi (2.1.1)-(2.1.4) məsələsinin həll alqoritmini ifadə edək.

1. $F,\ G, R,\ C, S_f,\ A, B$ matrisləri və $v(t), x^0$ vektorları verilir.

2. Koşi məsələsi həll olunaraq $(\tau + 0, T]$ intervalında $S(t), N(t), \omega(t)$ funksiyaları tapılır.

3. $\begin{cases} S(\tau+0)=S(\tau-0) \\ N(\tau+0)=N(\tau-0)-A' \\ \omega(\tau+0)=\omega(\tau-0) \end{cases}$

münasibətindən $S(\tau-0), N(\tau-0), \omega(\tau-0)$ müəyyən edilir. Bu başlanğıc qiymətlərdən istifadə etməklə $(0,\tau-0]$ intervalında $S(t), N(t), \omega(t)$ funksiyaları tapılır.

4. $\begin{cases} \dot{n}(t)=N'(t)M(t)N(t), \quad n(T)=0 \\ \dot{W}(t)=N'(t)[M\omega(t)-v(t)],\ W(T)=0 \end{cases}$

tənliyini həll edərək $n(t),\ W(t)$ funksiyalarını $n(\tau-0)=0, W(\tau-0)$ şərti daxilində $(0,\tau), \tau+0, T)$ intervalında tapırıq.

5. Cəbri tənliklər sistemindən $\lambda(0), x(\tau), \gamma$ müəyyən edirik.

6. $\dot{x}(t)=\big(F(t)-M(t)S(t)\big)x(t)-M(t)N(t)\gamma+\big(v(t)-M(t)\omega(t)\big).$

tənliyini $x(0)$ başlanğıc şərti daxilində həll edib $x(t)$ funksiyasını tapıriq.

7. $u(t)=-C^{-1}(t)G'(t)S(t)x(t)-C^{-1}(t)G'(t)N(t)\gamma-C^{-1}(t)G'(t)\omega(t)$

düsturuna əsasən axtarılan $u(t)$ idarəetməsini müəyyənləşdiririk.

İkinci fəslin ikinci paraqrafında daxili və son nöqtələrdə ayrılmayan üçnöqtəli sərhəd şərtli diskret optimal idarəetmə məsələsinin həll alqoritmi təklif edilir. Göstərilir ki, belə sərhəd şərtli məsələlər bir sıra praktiki məsələlərə, o cümlədən, neft quyularının qazlift üsulu ilə istismarı zamanı tətbiq oluna bilər.

u idarəedicisi hissə-hissə sabit funksiya və F, G, υ, R, C sabit matrislər olarsa, (2.1.1)-(2.1.4) kəsilməz optimal idarəetmə məsələsi asanlıqla

$$x_{i+1}=\psi_i x_i+\Gamma_i u_i+v_i,\ \ i=0,1,...,s-1,\ s,s+1,...,l-1 \qquad (2.2.1)$$

$$x_0 = \overline{x} \qquad (2.2.2)$$

$$Ax_s = Bx_l \qquad (2.2.3)$$

diskret məsələsinə gətirilir ki, burada da ψ_i, Γ_i, v_i matrisləri aşağıdakı kimi təyin olunurlar

$$\psi_i = e^{F\Delta}, \quad v_i = F^{-1}(e^{F\Delta} - E)\upsilon, \quad \Gamma_i = (\int_0^{\Delta} e^{F\xi} d\xi)G.$$

$$J = \frac{1}{2} x_l' S_f x_l + \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{l-1} \left[x_i' R_i x_i + u_l' C_i u_i \right] \qquad (2.2.4)$$

Kəsilməz halda olduğu kimi (2.2.1-2.2.4) məsələsinin həlli analoji olaraq tapıla bilər:

Bu halda

$$\lambda(T) = S(T)x(T) + N(T)\gamma + \omega(T)$$

$\dot{x}(t) = \left(F(t) - M(t)S(t)\right)x(t) - M(t)N(t)\gamma + \left(\nu(t) - M(t)\omega(t)\right).$ şəkilində tapılır

və S_S, N_S ω

$$S_s = R_s + \psi_s' S_{s+1} \left(E + M_s S_{s+1}\right)^{-1} \psi_s \qquad (2.2.5)$$

$$N_s = A' + \psi_s' \left[E - S_{s+1} \left(E + M_s S_{s+1}\right)^{-1} M_s \right] N_{s+1} \qquad (2.2.6)$$

$$\omega_s = \psi_s' \left[E - S_{s+1} \left(E + M_s S_{s+1}\right)^{-1} M_s \right] \omega_{s+1} + \psi_s' \omega_{s+1} \left(E + M_s S_{s+1}\right) \nu_s \qquad (2.2.7)$$

münasibətlərindən tapılır.

İkinci fəslin üçüncü paraqrafında üçnöqtəli sərhəd şərtli optimal idarəetmə məsələsinin həll alqoritmi və neftin qazlift üsulu ilə çıxarılmasına tətbiqi məsələləri araşdırılıb. Bu paraqrafda daxili və son nöqtələri ayrılmayan üçnöqtəli sərhəd şərtli optimal idarəetmə məsələsi araşdırılır və sərhəd şərtlərinin bu şəkildə verilməsi bir çox konkret məsələnin olması, o cümlədən neftçıxarmada qazlift üsulunun tətbiqi ilə əlaqədardır. Qazlift üsulu ilə quyunun istismarı zamanı onun iş rejimini araşdırmaq və idarə etmək üçün hesablama alqoritmi hazırlanmışddır.

Qazlift prosesinə uyğun optimal idarəetmə məsələsinin qoyuluşu üçün, neft quyularının qazlift üsulu ilə istismarının riyazi modelini yaratmaq zəruridir. Qazlift prosesinin əsas məsələlərindən biri qaldırıcının dibində yaranan qaz-maye qarışığının debet şəklində tam həcmdə çıxarılmasıdır. Praktika göstərir ki, yaranan qaz-maye qarışığının yalnız təxminən 37%-i quyudan debet şəklində çıxarılır. Minimal həcmdə vurulan qaz vasitəsi ilə maksimal debet əldə etmək üçün təklif olunur ki, qaldırıcının əvvəlində və sonunda qaz-maye qarışığının həcmləri bərabər olsun (yəni, dövrülük şərtinin ödənilməsi tələb olunur), bu isə o deməkdir ki, qarışma zonasından quyunun çıxışına verilən QMQ tam olaraq ötürülür.

Bu paraqrafda qurulmuş riyazi modeldən istifadə etməklə və düz xətlər metodunu tətbiq etməklə xətti-kvadratik optimal idarəetmə məsələsi alınır ki, buna da ilkin məsələdən fərqli olaraq optimal idarəetmə məsələsinin məlum həll metodlarını tətbiq etmək olar. Düz xətlər metodunun əsasında o fərziyyə durur ki, nasos-kompressor boruları müəyyən uzunluqlu sonlu sayda parçalardan ibarət olur ki, hər birində də adi diferensial tənliklər alınır. Burada idarəedici parametr kimi vurulan qaz, minimallaşdırılan funksional kimi vurulan qaz və quyunun debetindən asılı olan funksional götürülür. Beləliklə, optimal idarəetmə məsələsi vurulan qaz həcminin minimallaşdırılmasından və quyunun debetinin maksimal qiymətinin alınmasından ibarətdir.

Quyuların kəsilməz qazlift üsulu ilə istismarı zamanı qaz arası kəsilmədən vurulur. Qabarçıqlı maye-qaz strukturlar üçün qazlift quyusunun işinin riyazi modeli təqribən aşağıdakı xüsusi törəməli diferensial tənliklər sistemi ilə təsvir olunur, yəni qazlift prosesi

$$\begin{cases} \dfrac{\partial P}{\partial t} = -\dfrac{c^2}{F}\dfrac{\partial Q}{\partial x} & t \geq 0, \\ \dfrac{\partial Q}{\partial t} = -F\dfrac{\partial P}{\partial x} - 2aQ & x \in [0,2l] \end{cases} \tag{2.3.1}$$

sistemi ilə ifadə olunur, burada $t \geq 0,\ x \in [0,2L]$, L- quyunun dərinliyi, F - x oxu boyu yerləşən nasos-kompressor borularının en kəsiyinin sahəsi, c – qazda və ya qaz-maye qarışığında (QMQ) işıq sürəti, a - hidravlik müqavimət, P və Q uygun olaraq izafi təzyiqi və mayenin həcminin dəyişmə sürətidir.

Qeyd edək ki, (2.3.1) tənliyindəki F, c, a əmsalları aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$F = \begin{cases} F_1 & x \in (0, L) \\ F_2 & x \in [L, 2L] \end{cases};\quad c = \begin{cases} c_1 & x \in (0, L) \\ c_2 & x \in [L, 2L] \end{cases};\ a = \begin{cases} a_1 & x \in [0, L) \\ a_2 & x \in [L, 2L] \end{cases}$$

Tutaq ki,quyudakı L uzunluqlu boru N - sayda l $\left(k = \overline{1, N}\right)$ uzunluqlu hissədən ibarətdir. Əgər hər parcada

$$\frac{\partial P}{\partial x} \approx \frac{P_k - P_{k-1}}{l} \text{ və } \frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{Q_k - Q_{k-1}}{l},\ l = \frac{L}{N},\ k = \overline{1,2N}$$

münasibətini qəbul etsək, onda (2.3.1) sistemini adi diferensial tənliklər sistemi şəklində yazmaq olar

$$\begin{aligned} \frac{dP_k}{dt} &= -\frac{c^2}{Fl}(Q_k - Q_{k-1}) \\ \frac{dQ_k}{dt} &= -\frac{F}{l}(P_k - P_{k-1}) - 2aQ_k \end{aligned} \quad k = \overline{l,2N}\,. \tag{2.3.2}$$

Qaldırıcının dibində sərf olunan qazın həcmi və təzyiqini

$$\tilde{P}_N = P_n + P_{Pl}\ ,\quad \tilde{Q}_N = Q_n + Q_{Pl} \tag{2.3.3}$$

şəkildə göstərmək olar.

Əgər (2.3.3) ifadələrini (2.3.2) tənliklərində nəzərə alsaq, onda bu prosesi qaldırıcıda xarakterizə edən aşağıdakı tənlikləri alarıq, yəni $k = \overline{N+1,2N}$ hissəsinə uyğun oblastda

$$P_k(t_0) = P_k^0,\ \ Q_k(t_0) = Q_k^0 \qquad k = \overline{0,2N} \tag{2.3.4}$$

Beləliklə, birinci tərtib adi diferensial tənliklər sistemi üçün Koşi məsələsi alınır.

(2.3.2)-(2.3.4) məsələsini aşağıdakı matris şəklində göstərmək olar:

$$\dot{x} = Fx + Gu + \vartheta,\ \ x(0) = x^0, \tag{2.3.5}$$

$$Q_N(\tau) = Q_{2N}(T), \quad \tau < T \; . \tag{2.3.6}$$

(2.3.6) şərtləri faktiki olaraq qaz-maye qarışığının itkisiz olaraq qaldırıcıda cıxarılmasını təmin edir.

$$x = [P_1, Q_1, ..., P_N, Q_N, P_{N+1}, Q_{N+1}, ..., P_{2N}, Q_{2N}]'$$

$$x^0 = [P^0{}_1, Q_1{}^0, ..., P_N{}^0, Q_N{}^0, P^0{}_{N+1}, Q^0{}_{N+1}, ..., P^0{}_{2N}, Q^0{}_{2N}]'$$

işarə edək.

(2.3.1),(2.3.4) məsələsinin elə həllini tapmaq tələb olunurki

$$J = \frac{1}{2} x'(\tau) S_f x(\tau) + \frac{1}{2} \int_0^T \left[x'(t) R x(t) + u'(t) C u(t) \right] dt$$

funksionalına minimum versin. Alqoritmi təklif edə bilərik:

1. x^0, $c, L, a, R, C, S_f, T, \tau$ verilir.

2. G, F, υ funksiyaları müəyyənləşdirilir.

3. $H = \begin{bmatrix} F & -GC^{-1}G' \\ -R & -F' \end{bmatrix}$ tapılır.

4. $\begin{bmatrix} H_{11}^1 & H_{12}^1 \\ H_{21}^1 & H_{22}^1 \end{bmatrix}$ və $\begin{bmatrix} H_{11}^2 & H_{12}^2 \\ H_{21}^{'2} & H_{22}^{'2} \end{bmatrix}$ matrisləri formalaşır:

$$e^{H\tau} = \begin{bmatrix} H_{11}^1 & H_{12}^1 \\ H_{21}^1 & H_{22}^1 \end{bmatrix}, \qquad e^{H(T-\tau)} = \begin{bmatrix} H_{11}^2 & H_{12}^2 \\ H_{21}^{'2} & H_{22}^{'2} \end{bmatrix},$$

5. e vektoru və M matrisi formalaşdırılır:

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -E & E & 0 & 0 & A' \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -S_f & -E & B' \\ 0 & A & 0 & 0 & -B & 0 & 0 \\ -H_{12}^1 & E & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -H_{22}^1 & 0 & E & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -H_{11}^2 & 0 & -H_{12}^2 & E & 0 & 0 \\ 0 & -H_{21}^2 & 0 & -H_{22}^2 & E & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

6. $Mz = e$ tənliyi həll edilərək Z vektoru tapılır:

$$z' = [\lambda(0), x(\tau), \lambda(\tau-0), \lambda(\tau+0), x(T), \lambda(T), \nu],$$

7. z vektorundan $x(0), \lambda(0)$ kəmiyyətləri tapılır.

8. $$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F & -GC^{-1}G' \\ -R & -F' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix};$$ diferensial tənliklər sistemi $[0\tau), (\tau T)$ intervallarında həll edilərək $x(t), \lambda(t)$ funksiyaları müəyyən edilir.

9. $u = -C^{-1}G'\lambda$, düsturundan axtarılan u, $x(\tau), \lambda(0)$ idarəedici təsirləri tapılır.

Üçüncü fəsildə Normal vəziyyətdə diskret BHH tənliyini həll etmək üçün Matlab mühitindəki xətti matris bərabərsizliklərinin hesablanmasi proseduru bazasinda alqoritm təklif olunur. Eyni zamanda cəbri Rikkati tənliyinin həll alqoritmi verilir. Alınan nəticə misal üzərində analiz olunaraq təklif olunan üsulun effektivliyi göstərilir. Üçüncü fəsilin birinci paraqrafında, BHH (Bevis–Hall–Hartwig) – matris tənliyinin klassik Steyn $X - A\overline{X}B = C$ tənliyinə gətirilməsindən fərqli olaraq, xətti matris bərabərsizliklər (LMI) əsasında həll alqoritmi verilir. Göstərilir ki, BHH tənliyini həll etmək ücün təklif olunan LMI alqoritmi məlum üsullara nisbətən daha sadə və rahat realizə olunur. Nəticələr misallar üzərində göstərilir.

BHH Silvestr tənliyinə baxaq.

$$X - A\overline{X}B = C \qquad (3.1.1)$$

(3.1.1) tənliyini

$$X - (A\overline{A})X(\overline{B}\ B) = C + A\overline{C}\,B \qquad (3.1.2)$$

Steyn tənliyinə gətirilərək MATLAB sisteminin standart dlyap.m proseduru tətbiq olunmaqla həll etmək olar.

Burada A, B əmsalları qoşma normal matrislərdir,yəni

$$AA^* = A^*A,\ \ BB^* = B^*B\ .$$

A və B matrisləri uyğun olaraq $m\times m$ və $n\times n$ ölçülü, C və axtarılan X -matrisləri isə $m\times n$ ölçülüdürlər. LMI-alqoritmini tətbiq etməklə (3.1.2) prosedurunu ləğv edərək bilavasitə (3.1.1) tənliyini həll etmək olar.

Əvvəlcə fərz edək ki (3.1.1) tənliyindəki A, B və C kompleks matrislərdir və

$$A = A_1 + iA_2,\ \ B = B_1 + iB_2,\ C = C_1 + iC_2,\ \ X = X_1 + iX_2$$

şəkildə ifadə olunur. Onda (3.1.1) tənliyinin həqiqi və xəyali hissələrinin bərabərliyindən aşagıdakı cəbri tənlikləri alırıq

$$\begin{aligned} X_1 - A_1X_1B_1 - A_1X_2B_2 + A_2X_1B_2 - A_2X_2B_1 &= C_1 \\ X_2 - A_1X_1B_2 + A_2X_2B_1 - A_2X_1B_1 - A_2X_2B_2 &= C_2 \end{aligned} \qquad (3.1.3)$$

$$\begin{aligned} n_1 &= X_1 - A_1X_1B_1 - A_1X_2B_2 + A_2X_1B_2 - A_2X_2B_1, \\ n_2 &= X_2 - A_1X_1B_2 + A_2X_2B_1 - A_2X_1B_1 - A_2X_2B_2, \\ K_1 &= n_1 - C_1, \\ K_2 &= n_2 - C_2, \end{aligned} \qquad (3.1.4)$$

işarə etrsək $\begin{bmatrix} \Pi_i & K_i \\ K_i' & I \end{bmatrix} > 0,\ \ i = 1, 2, ..., k,\ \ \Pi_i = \Pi_i'$ matris bərabərsizliyinə əsasən (3.1.1) tənliyinin həllini aşağıdakı bərabərsizliklərdən tapa bilərik

$$X_1 \ge 0,\ X_2 > 0,\ Y > 0$$

$$T_1 = C_2 - X_2 + A_1X_2B_1 - A_2X_1B_1 - A_1X_1B_2 - A_2X_2B_2$$

$$T_2 = C_1 - X_1 - A_1X_1B_1 - A_2X_2B_1 + A_2X_1B_2 - A_1X_2B_1$$

Üçüncü fəsilin ikinci paraqrafında cəbri Rikkati tənliyinin kəsilməz və diskret halda effektiv həll üsulu təklif olunub. Eyni zamanda Rikkati tənliklərinin stabilləşdirici və anti stabilləşdirici həlləri və sonsuz qüvvət sırası metodu ilə həlli araşdırılıb. Çoxlu sayda misallarla həll alqoritmi Matlab riyazi proqramlar paketində yoxlanılıb və proqram təminatı yaradılıb.

Aşağıdakı cəbri kəsilməz Rikkati tənliyinə baxaq

$$SF + F'S - SGC^{-1}G'S + R = 0 \qquad (3.2.1)$$

burada F, G uyğun olaraq $n \times n$ və $m \times m$ ölçülü matrislərdir və (F, G) matris cütü stabilləşdiricidir, $R = R' \geq 0$, $C = C' > 0$ uyğun olaraq $n \times n$ və $m \times m$ öiçülü kvadrat matrislər, (F', $R^{1/2}$) dedektə olunmuş cütdür. Mənfi olmayan $S = S' \geq 0$ (($F - GC^{-1}G'S$) məxsusi qiymətlər sol yarımmüstəvidə yerləşir) həllini tapmaq üçün aşağıdakı üsuldan istifadə edilmişdır.

Nyuton-Rafson alqoritmindən istifadə edərək, iterativ həll alqoritmini (3.2.1) tənliyinə tətbiq edək. (3.2.1)tənliyinin həlli müəyən çevirmələr aparmaqla Lyapinov tənliyinin həllinə gətirməklə həll olunur. İlk olaraq aşağıdakı Lyapunov tənliyinin həllinə baxılıb.

$$F'S + SF = -Q \qquad (3.2.2)$$

Lyapinov tənliyində F və Q verilmiş sabit matrislərdir, $S = S'$ simmetriklik şərtini ödəyən axtarılan matrisdir. Bu tənliyin həlli üçün sonsuz sıra üsulu tətbiq olunub. Bu əsasən matrisin ölçüsü böyük olanda və F matrisinin məxsusi ədədləri sol yarımmüstəvidə yerləşəndə tətbiq olunur.

$u = (E - F)^{-1}; \psi = u(E + F)$ və $R = 2u'Qu$ işarələmələri qəbul etsək onda (3.2.2) tənliyi

$$S - \psi'S\psi = Q \qquad (3.2.3)$$

diskret Lyapinov tənliyinə gətirilir.

Əgər (3.2.2) tənliyində F matrisinin məxsusi ədədləri sol yarımmüstəvidə yerləşirsə, onda (3.2.3)-da ψ matrisinin məxsusi ədədləri vahid radiuslu dairənin daxilində yerləşər.Onda

$$Y = R + (\psi')R\psi + (\psi')^2 R\psi^2 + (\psi')^3 R\psi^3 + \dots \qquad (3.2.4)$$

sırası yığılır və o (3.2.3) tənliyinin həllidir.
Bunun üçün iterasiya sxemi aşağıdakı kimi qurulur.

$$Y_0 = R$$

$$Y_{k+1} = Y_k + (\psi')^{2k} Y_k \psi^{2k} \qquad (3.2.5)$$

$$Y_k = \sum_{i=1}^{2k} (\psi')^{i-1} R\psi^{i-1}, \; k = 0,1,\dots$$

İterasiya sxemindən görünür ki, k-nın qiyməti artdıqca sıranın cəmlənən hədlərinin tərtibi ikiqat artır. (3.2.3) tənliyinin iterativ sxemi

$$S_i = \psi' S_{i+1}\psi + Q \qquad (3.2.6)$$

Teorem 2. Əgər (3.2.6) iterasiya sxemində ψ matrisinin xarakteristik ədədləri vahid dairənin daxilində yerləşirsə, onda (3.2.6) tənliyinin S_i həlli $i \to \infty$ (3.2.3) tənliyinin yeganə həlli $i = 2; 2^2; 2^3; \dots 2^k$ qiymətlərində S həllinə yığılır.

Bu cür iterasiya sxemi diskret cəbri Rikkati tənliyinə tətbiq edilərək həll sxemi qurulub.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

Dissertasiya işində aparılmış tədqiqatlar nəticəsində aşağıdakı əsas nəticələr alınmışdır:

- ✓ Çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin kəsilməz hal üçün həll metodu təklif edilmiş və hesablama alqoritmi işlənmişdir;
- ✓ Çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin diskret hal üçün həll metodu təklif edilmiş və hesablama alqoritmi işlənmişdir;
- ✓ Diskret halda çıxışa nəzərən periodik optimal stabilləşdirmə məsələsinin iterativ həll metodu işlənmişdir;
- ✓ Daxili və son nöqtələrdə ayrılmayan üçnöqtəli sərhəd şərtli optimizasiya məsələsinin həlli üçün qovma üsulu hazırlanmış və buna uyğun hesablama alqoritmi işlənmişdir;
- ✓ Üçnöqtəli sərhəd şərtli optimal idarəetmə məsələsinin həllinin neftin qazlift üsulu ilə çıxarılmasına tətbiq edilmiş və müvafiq hesablama alqoritmi işlənmişdir;
- ✓ BHH Silvestr tənliyinin həlli üsulu işlənmişdir;
- ✓ Rikkati tənliyinin sürətli iterativ həll metodu işlənmişdir.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı elmi əsərlərdə dərc edilmişdir:

1. Велиева Н.И., Сафарова Н.А., Фараджева Ш.А. Итеративный алгоритм для решения задачи оптимальной стабилизации дискретной периодической системы по выходу // Proceedings of IAM, 2014, V.3, N.2, с.196-204.
2. Safarova N.A., Vəlieva N.I., Faradjova Sh.A. Approximation algorithm to the solution of the optimal stabilization problem for discrete periodic output systems. The 5th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, 27-29 August, 2015, Baku, Azerbaijan, pp.276-279.
3. Велиева Н.И., Муталлимов М.М., Фараджева Ш.А. Алгоритм решения задачи оптимального управления с трехточечными

граничными условиями с применением к добыче нефти газлифтным способом. Proceedings of IAM, V.5, N.2, 2016, pp.143-155.
4. Велиева Н.И., Муталлимов М.М., Фараджева Ш.А. Метод прогонки для решения задачи оптимизации с трехточечными краевыми условиями при неразделенности во внутренних и конечных точках. Proceedings of IAM, V.6, N.1, 2017, pp.36-45.
5. Aliev F.A., Safarova N.A., Velieva N.I., Faradjova Sh.A. Effective algorithm to the solution of feedback stabilization problem for periodic linear discrete-time systems. The VI congress of the TWMS October 2-5, 2017 Astana-Kazakhstan, p.296.
6. Mutallimov M.M., Amirova L.I., Aliev F.A., Faradjova Sh.A., Maharramov I.A. Remarks to the paper: sweep algorithm for solving optimal control problem with multi-point boundary conditions. TWMS J. Pure Appl. Math. V.9, N.2, 2018, pp.243-246.
7. Mutallimov M.M., Amirova L.I., Aliev F.A., Faradjova Sh.A. New sweep algorithm for solving optimal control problem with multi-point boundary conditions. Proceedings of the 6th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA 2018), pp.288-290.
8. Фараджева Ш.А. Алгоритм решения задачи дискретного оптимального управления с неразделенным граничным условием во внутренних и конечных точках,Вестник Бакинского Университета,серия физ. мат. наук, №3,2018, стр.86-95.
9. Фараджева Ш.А. LMI метод решение дискретного ВНН-уравнения в нормальном случае. Proceedings of IAM, V.8, N.1, 2019, pp.106-110.
10. Aliev F.A., Larin V.B., Velieva N.I., Gasimova K.G., Faradjova Sh.A. Algorithm for solving the systems of the generalized sylvester-transpose matrix equations using LMI. TWMS J. Pure Appl. Math. V.10, N.2, 2019, pp.239-245.

11. Aliev F.A., Larin V.B., Velieva N.I., Gasimova K.G., Farajova Sh.A. LMI method for solving BHH equations. Proceedings of the 7th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA 2020), Vol. 1, pp.95-97.

Dissertasiyanın müdafiəsi **27 sentyabr 2022**-ci il tarixində **11^{00}-da** Bakı Dövlət Universitetində fəaliyyət göstərən BFD 2.17/2 Birdəfəlik Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1148, Bakı şəhəri, Akademik Zahid Xəlilov küçəsi 23.

Dissertasiya işi ilə Bakı Dövlət Universitetinin kitabxanasında tanış olaq olar.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyası Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat _____ **iyul 2022-ci il** tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 28.06.2022
Kağızın formatı: 60x84 1/16
Həcm: 38907
Tiraj: 100