

**AİDƏ MÜBARİZ qızı MUSTAFAYEVA**

**QEYRİ-SƏLİS XAOTİK DİNAMİK OBYEKTLDƏ  
İDARƏETMƏNİN SİNTEZİ VƏ TƏHLİLİ**

**3338.01 – “Sistemli analiz, idarəetmə və informasiyanın  
işlənməsi” (sahələr üzrə)**

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim  
edilmiş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**BAKİ – 2017**

Dissertasiya işi Azərbaycan MEA-İdarəetmə Sistemləri İnstitutunda yerinə yetirilmişdir

**Elmi rəhbər:**

t.e.d., prof.S.M.Cəfərov

**Rəsmi opponentlər:**

**Aparıcı təşkilat:**

Sumqayıt Dövlət Universitetinin “İnformatika” kafedrası

Müdafiə \_\_ \_\_\_\_\_ 2017-ci il tarixdə saat \_\_\_\_\_-da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının İdarəetmə Sistemləri İnstitutunda D01.121 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ 1141, Bakı ş., B.Vahabzadə küç., 9.

Dissertasiya ilə İdarəetmə sistemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat «\_\_» oktyabr 2017-ci il tarixində göndərilmişdir.

Dissertasiya şurasının elmi katibi,  
riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru:

**Ə.B.Paşayev**

## DİSSERTASIYA İŞİNİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı.** Təqdim olunan dissertasiya işi müasir Soft Computing texnologiyasının tətbiqilə qeyri-səlis xaotik dinamik obyektlərin idarə edilməsi - tənzimləyicininin avtomatlaşdırılmış sintezi sisteminin qurulmasına həsr olunmuşdur. Xaos nəzəriyyəsində qeyri-xətti dinamik sistemin hərəkətini generasiya edən dinamik qanunauyğunluqları, sistemin zaman üzrə evolyusiyası, verilmiş başlanğıc vəziyyətlər əsasında sistemin cari vəziyyəti və s. öyrənilir.

Qeyd etmək lazımdır ki, dinamik sistemlərdə xaotik proseslər, həm arzu olunan “müsbət”, həm də arzu olunmayan “mənfi” proseslər kimi xarakterizə oluna bilər. İdarəetmə sistemlərində keçid proseslərində xaotik (qeyri-requlyar) hərəkətlər müşahidə olunduqda onunla mübarizə etməyə çalışırlar. Bu zaman AİS-də idarəetmənin strukturunu və ya parametrini, həmçinin tənzimləyicinin strukturunu və ya parametrini dəyişərək, istənilən arzu olunan hərəkətləri aradan qaldırmaq mümkündür. Əgər sistemdə arzu olunan “müsbət” xaos mövcuddursa, onda sistemdə (qeyri-xətti elementləri hesabına) qəsdən qeyri-requlyar hərəkət yaratmağa çalışırlar ki, qarşıya qoyulan məsələnin (məsələn, idarəetmənin optimal qiymətlərinin təyinində) həlli mümkün olsun.

Müasir idarəetmə nəzəriyyəsinin inkişafının bir istiqaməti də xaosun arzu olunan “müsbət” xüsusiyyətlərindən istifadə etməklə qeyri-requlyar hərəkətli dinamik obyektlər üçün elə idarəetmənin, qeyri-səlis *TS (Takagi-Sugeno)* tipli tənzimləyicilərin sintezidir ki, sistemdə tələb olunan keyfiyyət göstəriciləri ödənsin. Buna görə də “Qeyri-səlis xaotik dinamik obyektlərdə idarəetmənin sintezi və təhlili” mövzusu aktualdır.

**Dissertasiya işinin məqsədi** qeyri-müəyyənliyə malik qeyri-requlyar (xaotik) hərəkətli dinamik obyektlər üçün qeyri-səlis tənzimləyicilərin sintezi məsələlərinin analitik və xaos nəzəriyyəsinin elementlərindən istifadə etməklə avtomatlaşdırılmış həlli üsullarının işlənməsidir.

**Əsas tədqiqat məsələləri.** Dissertasiya işində qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll olunmalıdır: - Yalnız giriş-çıxış dəyişənlərinin müşahidələri əsasında qeyri-müəyyənlikli dinamik obyektlər üçün qeyri-səlis identifikasiya üsulunun işlənməsi; - Qeyri-xətti, qeyri-requlyar (xaotik) hərəkətli dinamik obyektlər üçün *TS* tipli qeyri-səlis modellə yazılan tənzimləyicinin analitik sintezi üsulunun işlənməsi; - Qeyri-requlyar hərəkətli çoxəlaqəli dinamik obyektlərin idarə edilməsi üçün robastlığı təmin edən qeyri-səlis *TS* tipli tənzimləyicilərin analitik sintezi üsulunun işlənməsi; - Xaos nəzəriyyəsinin elementlərindən istifadə etməklə qeyri-requlyar hərəkətli dinamik obyektlər üçün idarəetmə sisteminin – tənzimləyicilərin avtomatlaşdırılmış sintezi sisteminin layihələndirmə məsələsinin qoyuluşu və həlli; - Xaos nəzəriyyəsi əsasında

çoxəlaqəli bütün istiqamətlərə hərəkət edən (*BİHE*) mobil robotun idarəetmə sistemi üçün optimal qeyri-səlis *TS* tipli tənzimləyicinin avtomatlaşdırılmış sintezi məsələsinin qoyuluşu və həlli;

**Tədqiqat üsulları.** Dissertasiya işində tədqiqat üsulları kimi sistemli təhlil, avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsi, Soft Computing, o cümlədən qeyri-səlis çoxluqlar və xaos nəzəriyyəsi istifadə edilmişdir.

**Elmi yeniliklər:**

- Etalon modeli çevricilərdən-filtirlərdən istifadə etməklə qeyri-müəyyənlikli, qeyri-requlyar hərəkətli və yalnız giriş-çıkış dəyişənləri müşahidə olunan dinamik obyektlərin identifikasiya üsulu təklif edilmişdir;

- *BİHE* mobil robotun çoxəlaqəli müxtəlif (yerli və baş) əks əlaqəli idarəetmə sisteminin – qeyri-səlis tənzimləyicinin funksional sxemi və alqoritmi təklif edilmişdir;

- Qeyri-müəyyənlikli, qeyri-requlyar, xaoslu (hərəkətli) çoxəlaqəli dinamik obyektlər üçün *TS* tipli qeyri-səlis modellərlə yazılan tənzimləyicilərin analitik sintezinin üsul və vasitələri işlənmişdir;

- Qeyri-müəyyənlikli, qeyri-requlyar hərəkətli bir və çoxəlaqəli dinamik obyektlər - bütün istiqamətlərə hərəkət edən mobil robotun vektor meyarlara: minimal inteqral kvadratik xəyata, rəqslərin sönmə dərəcəsinin maksimumluğuna və keçid prosesində ifrat tənzimləmənin minimumluğuna görə optimal idarəetməni təmin edən intellektual qeyri-səlis *TS* tipli tənzimləyicilərin parametrlərinin, biliklər bazasının qeyri-səlis term çoxluqlarının parametrlərinin xaoslu proses əsasında sintezi sisteminin qurulmasının üsul və vasitələri işlənmişdir.

**İşin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** Təklif edilmiş idarəetmənin sintez üsulları müxtəlif tip qeyri-səlis tənzimləyicilərin, intellektual avtomatik sistemlərin parametrlərinin təyininə, biliklər bazasının yaradılmasında geniş tətbiq oluna bilər. Qeyri-requlyar – xaoslu dinamik obyektin – *BİHE* mobil robotun çoxəlaqəli idarəetmə sisteminin MATLAB mühitindəki təcrübə sınaqları və onların təhlili dissertasiya işinin nəzəri və praktiki əhəmiyyətini təsdiq etmişdir.

**Dissertasiya işinin aprobeşiyası.** İşin əsas nəticələri aşağıdakı elmi konfranslarda müzakirə olunmuşdur: AMEA-nın Aspirantların elmi konfransında, Bakı, iyun, 2009; Fifth International Conference on Soft Computing with words and perceptions in system Analysis, Decision and control. Famagusta, North Cyprus: 2-4, September, 2009; AMEA Aspirantlarının elmi konfransında, Bakı, Elm, may, 2010; Sixth International Conference on Soft Computing with words and perceptions in system Analysis, Decision and control. Antalya, Turkey: 1-2 September, 2011; Mingəçevir Politexnik İnstitutunun yaradılmasının 20-ci ildönümünə həsr olunmuş Respublika Elmi Konfransında, yanvar, 2012; Tenth International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing proceedings. Portugal, 29-30 August, 2012; Seventh

International Conference on Soft Computing, with words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control. Izmir, Turkey, september 2-3, 2013; Dövlətin regional siyasətinin reallaşmasında aran iqtisadi rayonunun rolu: reallıqlar və perspektiv inkişafı. Respublika Elmi-Praktik konfransında, 6-7 dekabr, Mingəçevir, 2013; Heydər Əliyev və Azərbaycanca energetikanın inkişafı. Respublika Elmi konfransında, 28-29 noyabr, Mingəçevir, 2014; Davamlı inkişafın milli modeli və strategiyası. Respublika Elmi Konfransında, 09-12 dekabr, Mingəçevir, 2015; 12<sup>th</sup> International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS 2016, Vienna, Austria, 29-30, August 2016; “Qloballaşma və regional inteqrasiya” mövzusunda Respublika elmi konfransında, Mingəçevir, 2016.

**Publikasiya.** Aparılan tədqiqatlar nəticəsində 24 iş nəşr edilmişdir, o cümlədən, 2-si xarici ölkələrin nüfuzlu elmi jurnallarında, 6-sı Respublika daxilindəki jurnallarda, 6-sı Beynəlxalq və 10-u Respublika Elmi Konfrans materiallarında çap olunmuş məqalələridir. Dərc olunmuş məqalələr AAK-ın tələblərinə uyğundur.

**Dissertasiyanın strukturu.** Dissertasiya işi girişdən, 4 fəsildən, nəticədən, istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiya işi 177 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı daxil olmaqla 130 səhifədən ibarətdir.

## **DISSERTASIYA İŞİNİN QISA MƏZMUNU**

Girişdə dissertasiya işinin aktuallığı, işin məqsədi, tədqiqat məsələləri, alınmış elmi yeniliklər, işin təcrübi əhəmiyyəti, çap olunmuş əsərləri və fəsillərin qısa xülasəsi öz əksini tapmışdır.

**Birinci fəsil** qeyri-müəyyənlikli, qeyri-xətti, qeyri-requlyar xotik hərəkətli dinamik obyektlərdə idarəetmənin sintezi üsulları və vasitələrinin icmalına və tədqiqat məsələlərinin qoyuluşuna həsr olunmuşdur.

Qeyri-müəyyən, qeyri-xətti, qeyri-requlyar hərəkətli dinamik idarəetmə sistemlərinin modelləşdirilməsi və tənzimləyicinin sintezinə aid işlərin kritik tənqidi təhlili əsasında dissertasiya işində həll ediləcək məsələlər təyin edilmişdir.

**İkinci fəsildə** təklif edilmiş qeyri-səlis identifikasiya üsulu istənilən qısa müddətdə qeyri-müəyyənlikli və qeyri-stasionar dinamik obyektlərin parametrlərini kifayət qədər dəqiqliklə qiymətləndirməyə imkan verir. Təklif edilmiş üsulun əsas üstünlüyündən biri də  $n$ -tərtibli obyektin vəziyyət dəyişənlərinin (törəmələri) ölçülməyən halda parametrik identifikasiya aparmağa və adaptiv idarəetmə sisteminin yaradılmasına imkan verir.

**2. Məsələnin ümumi qoyuluşu.** Tutaq ki, qeyri-müəyyənlikli dinamik obyektin hərəkətini ümumi şəkildə qeyri-stasionar əmsallı  $n$ -tərtibli diferensial tənliklə yazılır:

$$\dot{x}(t) = \varphi(\vec{a}(t), x(t), u(t)), \quad (1)$$

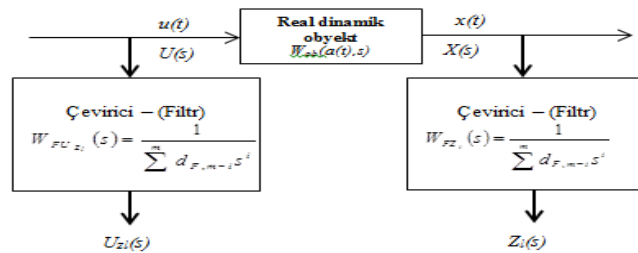
Burada  $a_i(t)$ – qeyri-müəyyənlikli obyektin qeyri-stasionarlıq şəklində təsvir olunan naməlum parametrlərdir.  $u(t)$  və  $x(t)$  – uyğun olaraq obyektin idarəedici – giriş və çıxış dəyişənləridir. İdentifikasiya olunan dinamik obyekt haqqındakı biliklərimiz (aprior informasiyamız) əsasında fərz edirik ki, (1) riyazi modelindəki  $a_i(t)$  parametrləri məhdud oblastlarda qiymətlər alır.

Fərz edirik ki, obyektin qeyri-müəyyənliklərini və qeyri-xəttiliklərini aşağıdakı kimi linqvistik qaydalar şəklində təsvir etmək olar:

**ƏGƏR** giriş  $u \in \tilde{U}_i$ -dirsə və çıxış  $x \in \tilde{X}_i$ -dirsə **ONDA** obyektin riyazi modeli  $\sum_{i=0}^n a_{r,n-i} x^{(i)}(t) = u_r(t)$  kimidir. Bu modeldəki əmsallar naməlum olub, Hurvis şərtini ödəyirlər.

**Məsələnin həlli.** Sonuncunu nəzərə alaraq, obyektin dinamik parametrlərini  $a_{r,i} (i = \overline{1, n})$  qiymətləndirmək üçün real ölçülən (müşahidə olunan) çıxış –  $x(t)$  və giriş  $u(t)$  siqnallarının xətti çevirmələrindən istifadə etmək təklif olunur.

Fərz edirik ki, obyektin giriş dəyişəni  $u(t)$  periodik deyildirlər. (1) və sonuncu ifadəyə əsasən deyə bilərik ki,  $x_{r,l}^{(j-1)}(t)$  və  $u_{r,l}^{(j-1)}$ ,  $(l, j = \overline{1, n+1})$  funksiyaları da qeyri-periodik funksiyalardır. Qeyd edək ki, obyektin çıxış və giriş siqnallarının  $m$  tərtibli xətti çeviricilərin ötürmə funksiyaları  $W_{FZ_l}(s)$  və  $W_{FU_l}(s)$  aşağıdakı şəkil 1-dəki kimi seçmək olar.



Şəkil 1. Obyektin giriş və çıxış siqnallarının çevrilməsinin sxematik təsviri

$Z_l(s)$  və  $U_{Z_l}(s)$  dəyişənləri arasındakı əlaqə aşağıdakı operator ifadələri ilə təyin olunacaqdır:  $Z_l(s) = W_{ob}(a(t), s)U_{Z_l}(s)$

Real dinamik obyektin giriş və çıxış siqnallarının eyni cür operatorlarla –  $W_F(s)$  çevirmələri  $(z^{(j)}(t), j = \overline{1, \dots, n}, u_{z_l}(t))$  əsasında parametrik identifikasiyası elə bütün dəyişənləri  $x(t)$  və  $u(t)$  ölçülən haldakı parametrik identifikasiya ilə eyniyyət təşkil edir.

Qeyd edək ki, çevricilərin – filtirlərin  $W_F(s)$  operatorlarının qütblərinin hamısı sol yarım müstəvidə olması zəruri və kafidir. Çıxışın çevrilmiş dəyişəni ilə girişin çevrilmiş dəyişəni arasındakı əlaqənin - riyazi modelinin xətasını xarakterizə edən  $\gamma_l(t)$  aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\gamma_l(t) = \sum_{i=0}^n b_{n-i}^{M_l}(t) z_l^{(i)}(t) - u_{z_l}(t), \quad l = \overline{1, 2, \dots, m-n}, \quad (2)$$

burada,  $b_j^{M_l}(t)$  ( $j = \overline{0, 1, 2, \dots, n}, l = \overline{1, 2, \dots, m-n}$ ) obyektin modelinin əmsallarıdır.

Parametrik identifikasiyanın yığılan proses olmasını yoxlamaq üçün müsbət təyin olunmuş Lyapunov funksiyasından istifadə edilmişdir. Obyektin çevrilmiş koordinatları  $z^{(i)}(t)$  və xəta  $\gamma_l(t)$  əsasında modelin sazlama (identifikasiya) parametrlərini aşağıdakı kimi təyin olunduğunu qəbul etmək olar:

$$\dot{b}_j^{M_l}(t) = -k_j z_l^{(j)} \gamma_l(t), \quad j = \overline{0, n}, \quad l = \overline{1, 2, \dots, m-n} \quad (3)$$

Burada,  $k_j$  – miqyaslaşdırma əmsalı olub, məhdud müsbət sabitdir.

Lakin bir sıra hallarda obyektin dinamik modelini qiymətləndirərkən (3) özü sazlanan alqoritmdən istifadə etmədən də bilavasitə  $u, u_{z_l}, x, z_l, z_l^{(j)}$  və  $\gamma_l$  dəyişənlərinin  $t = t_l N, N = \overline{0, 1, 2, \dots}$  zaman anlarındakı qiymətlərinin ölçülməsi və ən kiçik kvadratlar üsulu əsasında obyektin diferensial tənlik formasındakı riyazi modelini təyin etmək olar.

**Üçüncü fəsil**də qeyri-xətti, qeyri-requlyar hərəkətli müxtəlif tip dinamik obyektlər üçün tənzimləyicilərin analitik sintezi məsələləri qoyulmuş və həll edilmişdir. Bir sıra qeyri-müəyyənlikli, qeyri-requlyar (xaotik) hərəkətli dinamik obyektlər, məsələn, robotlar ümumi şəkildə qeyri-xətti və ya qeyri-səlis diferensial tənlik şəklində yazıla bilər:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &\in f(x(t), u(t), p), y(t) \in \varphi(x(t), u(t)), \\ x &\in R^n, u \in R^n, t \in [t_0, t_N], p \in P \end{aligned} \quad (4)$$

(4) qeyri-səlis diferensial tənlik şəklində yazılan manipulyatorlar və mobil robotların hərəkəti aşağıdakı kimi *TS* tipli qeyri-səlis modellə təsvir oluna bilər:

**Qayda i:**

**ƏGƏR**  $x_1(t) M_1^i$ -dirsə **VƏ**  $x_2(t) M_2^i$ -dirsə **VƏ** ...  $x_n(t) M_n^i$ -dirsə,

$$\text{ONDA} \begin{cases} \dot{x} = A_i x(t) + B_i u(t) \\ y(t) = C_i x(t) \end{cases} \quad (5)$$

(5) ifadəsi ilə təsvir olunan obyektin (məsələn, *BİHE* mobil robotun) idarə edilməsinin bir xüsusiyyəti də ondan ibarətdir ki, sistem həm vəziyyət dəyişənlərinin, həm də çıxış dəyişənlərinin tapşırığının izlənməsini təmin etməlidir. Bu tələbin ödənilməsi üçün idarəetmənin – tənzimləyicinin strukturunu aşağıdakı kimi formalaşdırmaq lazımdır:

**Qayda i:**

**ƏGƏR**  $x_1(t) M_1^i$ -dirsə **VƏ**  $x_2(t) M_2^i$ -dirsə **VƏ** ...  $x_n(t) M_n^i$ -dirsə,

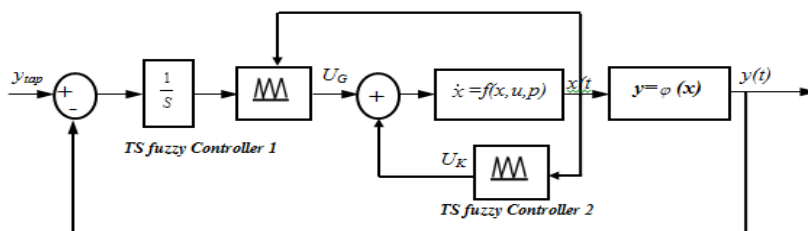
**ONDA**  $u_i = K_i x(t) + G_i e(t), i = 1, q$ .

(6)

Burada  $e(t)$  – obyektin  $y(t)$  çıxış dəyişənləri vektorunun  $y_{tap}(t)$  tapşırıq qiymətlərindən meylətməsi - xətası olub, aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$\dot{e}(t) = y_{tap}(t) - \sum_{i=1}^q \mu_i(x) C_i x(t) \quad (7)$$

**Sintez məsələsinin qoyuluşunu** aşağıdakı kimi formalaşdırmaq olar. Qeyri-müəyyənlikli çoxəlaqəli idarəetmə sisteminin (4)-(7) idarə olunan dəyişənlərə nəzərən astatiklik xüsusiyyətinə malik olması və vəziyyət dəyişənlərinə nəzərən dayanıqlıq dərəcəsinə görə roplastlığın ödənilməsi tələbini nəzərə alaraq, tənzimləyicinin sintezi məsələsini aşağıdakı kimi formalizə etmək olar: (4-7) ifadələrini nəzərə almaqla *TS* tipli qeyri-səlis idarəetmə sisteminin struktur sxemini şəkil 2-dəki kimi təsvir etmək olar.



Şəkil 2. Vəziyyətə və xəyata görə astatik qeyri-səlis *TS* modeli idarəetmə sisteminin ümimiləşdirilmiş struktur sxemi



(2) ifadəsi ilə yazıla bilən qeyri-müəyyənliklərə malik obyekt üçün elə robust *TS* tipli qeyri-səlis tənzimləyicini sintez etmək lazımdır ki, çoxəlaqəli və çoxölçülü qapalı idarəetmə sistemi çıxış koordinatları tapşırıq təsirlərini  $y_{tap}(t)$  (planlaşdırılmış hərəkət trayektoriyasını) yüksək dəqiqliklə izləsin, başqa sözlə xəyata görə astatiklik  $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0$  və  $p$  parametrik

qeyri-müəyyənliklər şəraitində vəziyyət koordinatlarına görə mümkün maksimal dayanıqlıq dərəcəsini ödəsin:

$$J_1^i = \max_{K, G} (-\operatorname{Re}(\lambda^i(A_i(p), K_i, G_i))) = \delta_i + \max_{K, G} (-\operatorname{Re}(A_i, K_i, G_i)) \quad (8a)$$

$$J_2^i = \min_{K, G} \|e(A_i, K_i, G_i)\| \quad (8b)$$

$$J_3^i = \max_{K, G} \left\{ m^i = \frac{\left| (-\operatorname{Re}(\lambda^i(A_i(p), K_i, G_i))) \right|}{\left| I_m(\lambda^i(A_i(p), K_i, G_i)) \right|} \right\} 8 \quad (8c)$$

$$K_i \in K, G_i \in G, i = \overline{1, \dots, q}.$$

Burada,  $\delta_i > 0, \forall i \in \overline{1, q}$  – hər bir linqvistik qaydaya uyğun olan halda sistemin dayanıqlıq dərəcəsinin mümkün maksimal qiymətini xarakterizə edir.

**Məsələnin həlli.** İdarəetmə sisteminin arxitekturasını nəzərə alaraq, hər bir linqvistik qayda üçün aşağıdakı kimi xarakteristik tənlik tərtib edilir:

$$D_i(\lambda) = (s + \lambda_{li}) \dots (s + \lambda_{ni}) = (s + \delta_i + \lambda_{li}) \dots (s + \delta_i + \lambda_{ni}), \quad i = \overline{1, q}$$

*BİHE* mobil robotun hərəkətinin dayanıqlılığının ödənilməsi şərtlərindən robust *TS* tipli qeyri-səlis tənzimləyicinin  $K^i$  və  $G^i, i = \overline{1, q}$  parametrlərini (səzləmə əmsalları matrislərini) analitik olaraq təyin etmək olar. Bir sıra sadə çevirmələr aparıldıqdan sonra *BİHE* mobil robotu aşağıdakı kimi qeyri-müəyyənlikli qeyri-xətti modellə yazmaq olar:

**Qayda  $i$ :**

$$\text{ƏGƏR } \dot{\varphi}_w(t) \text{ } M^i \text{ ətrafındadırsa, ONDA } \begin{cases} \dot{x} = A_i x(t) + B_i u(t) \\ y(t) = C_i x(t). \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{Burada, } A_1 = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & a_3 \end{bmatrix}, A_2 = \begin{bmatrix} a_1 & -a_2 d & 0 \\ a_2 d & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & a_3 \end{bmatrix}, A_3 = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 d & 0 \\ -a_2 d & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & a_3 \end{bmatrix}, \\ B_1 = B_2 = B_3 = B_c = E_{3 \times 3}, C_1 = C_2 = C_3 = C_c = E_{3 \times 3},$$

Burada  $a_1, a_2, a_3$  – əmsalları *BİHE* mobil robotun fiziki və həndəsi parametrlərindən asılı olaraq, aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$a_1 = -2J / (mr^2 + 2I_w), \quad a_2 = 2I_w / (mr^2 + 2I_w), \quad a_3 = -4cL^2 / 4I_wL^2 + I_w r^2.$$

burada,  $m, L, r, I_w, c, I_w$  – realizə edilmiş idarə etmə obyektinin parametrləridir. Parametrik qeyri-müəyyənlik əsasən (9) modelindəki  $a_2 \dot{\phi}(t) = a_2 d$  ilə bağlıdır.

Obyektin strukturuna əsasən  $x_3$  koordinatı bilavasitə digər koordinatlardan asılı olmadığına görə sistemin xarakteristik tənliyi bir dörd tərtibli, digəri isə iki tərtibli tənliklə təsvir olunur:

$$\begin{aligned} s^4 + s^3[k_{1\bar{v}} + k_{22\bar{v}} - 2a_1] + s^2[(k_{1\bar{v}} - a_1)(k_{22\bar{v}} - a_1) - 2g_{1\bar{v}} + (a_2 d + \Delta a_{2i})^2 - k_{12\bar{v}}^2] \\ + s[2a_1 g_{1\bar{v}} - (k_{1\bar{v}} + k_{22\bar{v}})] + g_{1\bar{v}}^2 = 0, \\ s^2 + s k_{33i} - g_{33i} = 0, \quad i = \overline{1, q} \end{aligned} \quad (10)$$

Xarakteristik tənliyi (10) şəklində yazılan sistemdə köklərin paylanması parametrlərindən asılılıq ifadələrini təklif olunmuş analitik sintez üsulu ilə təyin edirik. Məsələn iki variantda, yəni xarakteristik tənliyin köklərinin mənfə həqiqi və kompleks olduğu hallar üçün analitik şəkildə həlli məqsədə uyğundur.

Sistemin parametrik  $D(\lambda) = 0$  xarakteristik tənliklərinin və onun uyğun  $\dot{D}(\lambda), \ddot{D}(\lambda)$  törəmələrinin;  $\dot{\phi}(\lambda) = 0$  köklərlə ifadə olunmuş uyğun xarakteristik tənliyin və onun uyğun  $\dot{\phi}(\lambda), \ddot{\phi}(\lambda)$  törəmələrinin bərabərliyi şərtlərindən vəziyyət dəyişənlərinə və xəyata görə olan tənzimləyicilərin  $K^i$  və  $G^i$  parametrlərinin analitik ifadələri təyin olunur.

Birinci variantda, yəni xarakteristik tənliyin köklərinin mənfə və bərabər olduğu halda tənzimləyicinin sazlama parametrlərinin dayanıqlıq dərəcəsi və obyektin parametrlərindən – əmsallarından asılılıqları aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\begin{aligned} J^i + \delta_r = (-k - a_1) / 2, \quad g_{11}^i = (-k_{11}^i - a_1) / 4, \quad i = \overline{1, q} \\ k_{11}^i = k_{22}^i = -2(J^i + \delta^i - a_2^i), \quad g_{22}^i = (-k_{22}^i - a_2^i) / 4 \\ k_{11}^i = k_{22}^i = 0, \quad g_{33}^i = (-k_{33}^i - a_3^i)^2 / 4 \end{aligned} \quad (11)$$

İkinci variantda, sistemin xarakteristik tənliyin köklərinin kompleks olduğu hal üçün uyğun analitik ifadələr dissertasiyada verilmişdir.

Sintez edilmiş robust tənzimləyicinin texniki proqram realizasiyası və modelləşdirilməsi *Matlab* mühitində *Fuzzy Logic Toolbox* və *Simulink* paketindən istifadə edərək qurulmuşdur. (9) ifadəsinə əsasən *BİHE* mobil robotun *Simulink* paketinin köməyi ilə obyektin modeli qurulduqdan sonra qeyri-səlis *TS* modeli tənzimləyicilərin *Fuzzy Logic Toolbox* paketi

əsasında realizasiya edilir. Nəticədə vəziyyətə görə kontrollerin və xəyata görə qeyri-səlis altsistemlərin strukturu yaradılır.

Qeyd edək ki, (6)-dakı kimi riyazi modellə yazılan tənzimləyicinin strukturu aşağıdakı kimi təyin olunur:

**Qayda i:**

$$\text{ƏGƏR } x_3(t) = \dot{\varphi}_w(t) \text{ } M_1^i \text{-dirsə, ONDA } u^i = K^i x(t) + G^i e(t), \quad (12)$$

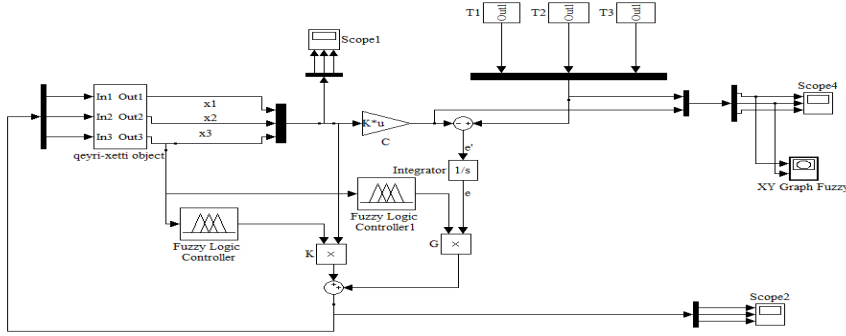
Vəziyyətə və xəyata görə qeyri-səlis TS tipli tənzimləyicilərin sazlama parametrlərinin matrisləri üçün aşağıdakı qiymətləri təyin edilmişdir:

$$K^1 = \begin{bmatrix} -21.9 & 0 & 0 \\ 0 & -21.9 & 0 \\ 0 & 0 & -20.1 \end{bmatrix}, K^2 = \begin{bmatrix} -27.9 & 20.6 & 0 \\ -20.6 & -27.9 & 0 \\ 0 & 0 & -28.6 \end{bmatrix}, K^3 = \begin{bmatrix} -27.9 & 20.6 & 0 \\ -20.6 & -27.9 & 0 \\ 0 & 0 & -28.6 \end{bmatrix}$$

$$G^1 = \begin{bmatrix} 239 & 0 & 0 \\ 0 & 239 & 0 \\ 0 & 0 & 201 \end{bmatrix}, G^2 = G^3 = \begin{bmatrix} 196 & 0 & 0 \\ 0 & 196 & 0 \\ 0 & 0 & 196 \end{bmatrix}$$

Qeyd edək ki, kompüter modelləşdirməsi zamanı tapşırıq təsirləri  $T_1 = 2 \sin(\omega_1 t)$ ,  $T_2 = 2 \cos(\omega_2 t)$ ,  $T_3 = \exp(-10t) + 0.3t$  başlanğıc vəziyyət kimi  $(x_1(0), x_2(0), x_3(0)) = (3, 3, 1)$  götürülmüşdür.

Beləliklə, *BİHE* mobil robotun qeyri-səlis idarəetmə sisteminin – tənzimləyicinin “S”- modeli şəkil 3-də təsvir edilmişdir. Təklif edilmiş TS tipli qeyri-səlis tənzimləyicinin parametrik sintezinin analitik üsulu qeyri-xətti obyektlərin, məsələn *BİHE* mobil robotun, vəziyyət koordinatlarına və çıxış dəyişənlərinə nəzərən dayanıqlığa görə robastlığı, idarəetmə prosesində yüksək dinamik dəqiqliyi və cəld işləməni təmin edir.



Şəkil 3. *BİHE* mobil robotun qeyri-səlis idarəetmə sisteminin S- modeli

**Dördüncü fəsildə** Xaos nəzəriyyəsinin elementlərindən istifadə etməklə qeyri-xətti və qeyri-requlyar hərəkətli dinamik obyektlər üçün idarəetmə sisteminin-tənzimləyicilərin avtomatlaşdırılmış sintezi sisteminin layihələndirmə məsələsinin həllinə baxılmışdır.

**Birinci altfəsildə** fərz edirik ki, qeyri-xətti dinamik obyekt mövcuddur və bir idarəedici və bir idarə olunan çıxış dəyişənli tənliklərlə ifadə olunur. Bu tip dinamik obyektlər üçün tənzimləyicinin sintez məsələsi standart (və ya qeyri-standart)  $P$ ,  $PI$ ,  $PID$  tənzimləmə qanunları əsasında

$$u(t) = k_p x(t) + k_i \int_0^t x(t) dt + k_D \dot{x}(t)$$

həll edilir. İdarəetmə qanununda  $k=(k_p, k_i, k_D)$   $k$ -nın elə parametrlərinin tapılması tələb olunur ki, sistem başlanğıc  $x_0$  vəziyyətindən  $x_f$  vəziyyətinə keçid prosesində keyfiyyət meyarı - inteqral kvadratik xətanın minimumluğu və requlyar hərəkətin dayanıqlığı təmin edilsin:

$$J[k, x] = \int_0^{T_M} x^2(t) + \tau(\dot{x}(t))^2 dt \rightarrow \min \quad (13)$$

Tənzimləyicinin avtomatlaşdırılmış sintezi sisteminin layihələndirilməsi aşağıdakı mərhələlərə uyğun yerinə yetirilir:

*Birinci mərhələdə* qapalı AİS-in kompüter simulyasiyası üçün onun riyazi - diskret rekkurent modeli yaradılır. *İkinci mərhələdə* xüsusi seçilmiş xaosik ədədlər generatoru üçün verilmiş  $k_p \in [0, k_{p1}]$ ,  $k_i \in [0, k_{i1}]$ ,  $k_D \in [0, k_{D1}]$  intervallarından  $k_{pm}$  ( $m=1, 2, 3..M$ ) sazlama parametrləri xaosik şəkildə dəyişdirilir (dissertasiyada əmsalların xaosik olaraq dəyişdirilməsi prosesinin alqoritmi verilmişdir).

Generasiya nömrəsi və tənzimləyicinin sazlama parametrlərinin son iki qiyməti qeyd olunaraq, tənzimləyicinin sazlanmış parametrlərinə mənimsənilir. *Üçüncü mərhələdə* AİS-in modelləşdirilməsi və  $t_h$  intervalında (13) ifadəsinə uyğun  $J_m$  inteqral kvadratik meyarının qiyməti hesablanır. Yəni,  $k_p^{opt} = k_{pj}$ ,  $j \in [1, m]$  tənzimləyicinin generasiya olunmuş sazlanma parametrlərindən ən yaxşısı seçilərək – optimal hesab olunur.

Beləliklə, tənzimləyicinin sintez məsələsinin həll olunması başa çatmış olur. Qeyd edək ki, sintez üçün verilmiş bu alqoritm böyük sayda eksperimentlərin keçirilməsinə imkan verir. Ancaq optimallaşdırma zamanı bu eksperimentlərdən ən yaxşı ikisini yadda saxlamaq vacibdir. Təklif olunmuş tənzimləyicinin avtomatlaşdırılmış sintezi sistemində  $P$  və ya  $PI$ , həmçinin  $PD$  və ya  $PID$  idarəetmə qanunlarından biri seçilə bilər. Dissertasiyada konkret qeyri-xətti obyekt üçün  $PID$  tənzimləyicinin parametrləri və keçid prosesləri təsvir edilmişdir.

Tənzimləyicinin avtomatlaşdırılmış sintezi sisteminin funksional sxemini realizə edən proqram vasitələri müxtəlif strukturlu – xətti, qeyri-xətti tənzimləyicinin sintezi məsələsini effektiv həll etməyə imkan verir.

Yuxarıda qeyd olunan qeyri-səlis tənzimləyicilərin parametrik sintezi məsələsinin məlum analitik üsullar əsasında vektor meyarına görə həlli çox çətin və ya praktiki olaraq qeyri-mümkündür.

**İkinci altfəsildə** vektor meyarına görə qeyri-requlyar – xaotik hərəkətli çoxəlaqəli dinamik obyektlər üçün müxtəlif əks əlaqəli qeyri-səlis *TS* tipli tənzimləyicilərin parametrik sintez məsələsi xaos prosesi əsasında işlənmişdir.

**Məsələnin qoyuluşu.** Qeyri-requlyar hərəkətli qeyri-səlis tənzimləyicilərin parametrik sintezi məsələsinin həlli xaos nəzəriyyəsinin tətbiqlə həyata keçirilmişdir. Qeyri-xətti obyekt, yəni *BIHE* mobil robot üçün idarəetmə qanunu iki tip tənzimlənən kəmiyyətin yəni, çıxış dəyişənlərinin və vəziyyət dəyişənlərinin (sürətin) xətasına görə əks əlaqəli intellektual qeyri-səlis *TS* tipli tənzimləyici sinfində seçilir.

Seçilmiş tənzimləyicinin sinfini və idarəetmə sisteminin keyfiyyət göstəricilərinə olan tələblərini nəzərə alaraq, mobil robotun idarəetmə qanunu (12)-dəki kimi *TS* tipli qeyri-səlis modelə həyata keçirilir:

Fərz edək ki, tənzimləyicinin üç  $K^i$  vəziyyət dəyişənləri,  $G^i$  xəta, və  $M^i$  qeyri-səlis termlər çoxluğunun sazlanmış matrislər çoxluğu mövcuddur.

Elə  $K_{opt}^i, G_{opt}^i$  optimal matrislərin tapılması tələb olunur ki, çıxış koordinatının və faza dəyişənlərinin xətasına görə  $M_{opt}^i$  parametrin qeyri-səlis linqivistik qaydalar çoxluğu idarəetmə sistemində sistemin başlanğıc  $x_0, y_0$  vəziyyətindən son  $x_f, y_f$  vəziyyətinə keçidi zamanı inteqral kvadratik xətası minimum olsun, sönmə rəqslərinin maksimum dərəcəliliyi və keçid prosesinin minimum ifrat tənzimlənməsi təmin olunsun.

$$J_1[K, G, M] = \int_0^{t_f} e^2(t) dt \rightarrow \min_{K, G, M} \quad (14)$$

$$J_2[K, G, M] = \frac{e^{2\min}(t)}{e^{1\min}(t)} \rightarrow \max_{K, G, M} \quad (15)$$

$$J_3[K, G, M] = \frac{y_3(t) - y(t)}{y_3(t)} \rightarrow \min_{K, G, M} \quad (16)$$

$$K_i \in K, G_i \in G, M_i \in M$$

$K^i, G^i$  tənzimləyicinin parametrlərinin və  $M^i$  qeyri-səlis termlər çoxluğunun sintezi şəkil 4-də göstərilmiş ümumiləşdirilmiş sxemə uyğun olaraq iterativ prosedura şəklində həyata keçirilir.

Tənzimləyicinin  $K^i$  vəziyyət dəyişənlərinə,  $G^i$  xəyata və  $M^i$  qeyri-səlis term çoxluğuna görə parametrlərinin avtomatlaşdırılmış sintezi məsələsinin həlli üçün aşağıdakı kimi həyata keçirilir.

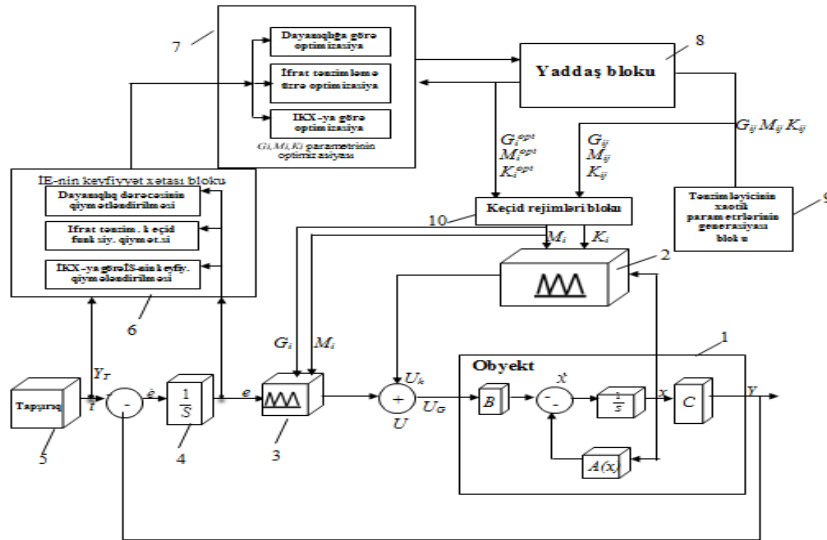
*Birinci mərhələdə* (9) və (12) ifadələrinə əsasən qeyri-xətti obyektin riyazi (rekurrent) modeli tərtib olunur. *İkinci mərhələdə*  $T_h$  – hər bir eksperimentin müşahidə vaxtı (keçid prosesləri vaxtından 2-5 dəfə artıq), başlanğıc və son vəziyyətləri, keyfiyyət meyarının başlanğıc qiymətləndirilməsi seçilir. *Üçüncü mərhələdə*  $G_{ij}$  meylətməyə - xəyata,  $K_{ij}$  vəziyyət dəyişənlərinə və  $M_{ij}$  qeyri-səlis termlər çoxluğuna görə tənzimləyici üçün  $3 \times 3$  ölçülü matris – xaotik ədədlər generatoru seçilir.

Qeyri-səlis  $TS$  tənzimləyicinin sazlanmış parametrlərinin qiymətləri, yəni,  $G_{ij}$ ,  $K_{ij}$  və  $M_{ij}$  qeyri-səlis termlər çoxluğu, 9 qiymətlər bloku ilə 10 blokunun girişini birləşdirən çeviricinin köməyilə verilir. 9 blokunda  $G_{ij}$ ,  $K_{ij}$  və  $M_{ij}$  matrisinin xaotik ədədləri generasiya olunur. Xaotik ədədlərin ardıcıl generasiyası müxtəlif başlanğıc şərtlərlə verilən loqistik funksiyanın köməyilə aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

$$z_{ijm+1} = (1 + a_{ijm})z_{ijm}(1 - \sqrt{z_{ijm}}), i, j = \overline{1, \dots, 9}$$

$$k_{ijm} = K_{ij}z_{ijm}, g_{ijm} = G_{ij}z_{ijm}, \forall a_{ij} \in [5.72, 5.75]$$

Eksperimentlərdə idarəetmə sisteminin keyfiyyət göstəriciləri  $J_1$ ,  $J_2$ ,  $J_3$  vektorları 6 blokunun köməyilə (14)-(16) düsturlarına uyğun hesablanır.



Şəkil 4. Xaos nəzəriyyəsinin elementlərindən istifadə etməklə qeyri-səlis tənzimləyicilərin modelləşdirilmiş avtomatik sintezi sistemi

$J_{1m}, J_{2m}, J_{3m}$  ( $m=1,2,3$ ) keyfiyyət göstəriciləri vektorunun qiymətləri 7 optimallaşdırma blokuna ötürülür. Bu blokda keçid proseslərinin keyfiyyət göstəriciləri vektorunun ən yaxşı – optimal qiyməti  $J_1^{opt}, J_2^{opt}, J_3^{opt}$  müəyyənləşdirilir və eksperimentin nömrəsi yadda saxlanılır. Tənzimləyicinin sazlanmış parametrlərinin qiymətləri, yəni,  $G_{ij}$ ,  $K_{ij}$  və  $M_{ij}$  qeyri-səlis termlər çoxluğu uyğun olaraq,  $K_i^{opt}, G_i^{opt}, M_i^{opt}$  və  $D = D^*$  şəklində təyin olunur.

Növbəti mərhələdə  $J_{1n}^{opt}, J_{2n}^{opt}, J_{3n}^{opt}$   $n=(1,2,3)$  keyfiyyət meyarları vektorunun optimal qiymətləri təyin olunur. Beləliklə, təklif olunmuş qeyri-səlis tənzimləyicilərin parametrlərinin avtomatik sintezi sisteminin texniki realizasiyası zamanı vəziyyət və çıxış dəyişənləri üçün başlanğıc qiymətlər kimi aşağıdakılar götürülmüşdür:

$$y_{10}=2, y_{20}=2.1, y_{30}=0.40; x_{10}=1.5, x_{20}=2, x_{30}=0.2.$$

Aparılan imitasiyalı eksperimentləri nəticəsində qeyri-səlis tənzimləyicinin parametrlərinin optimal qiymətləri aşağıdakı kimi təyin olunmuşdur:

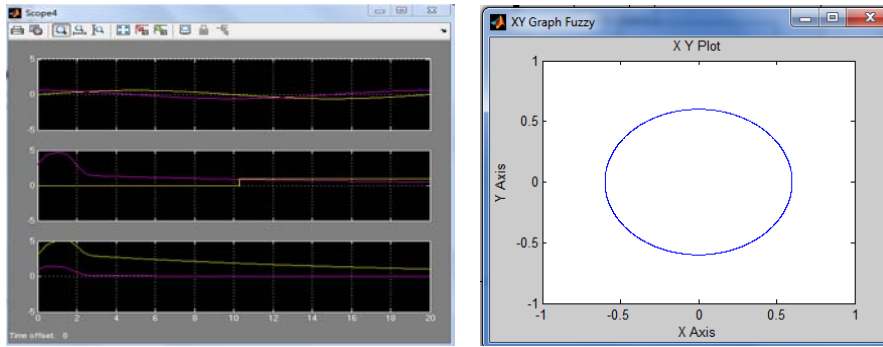
$$K_1^{opt} = \begin{bmatrix} -17.61 & 2.61 & 0 \\ 3.71 & -15.21 & 3.91 \\ 1.82 & -1.33 & -29.9 \end{bmatrix}, K_2^{opt} = \begin{bmatrix} -21.61 & -1.92 & 1.15 \\ 1.11 & 26.98 & -3.71 \\ 2.91 & 3.87 & -26.81 \end{bmatrix}$$

$$K_3^{opt} = \begin{bmatrix} -14.58 & 0.29 & 1.67 \\ -1.26 & -19.9 & 0.78 \\ -0.97 & -0.96 & -20.9 \end{bmatrix}, G_1^{opt} = \begin{bmatrix} -199.2 & -0.58 & -0.12 \\ 0.98 & 202.1 & 1.18 \\ 1.88 & 0.062 & 221.2 \end{bmatrix}$$

$$G_2^{opt} = \begin{bmatrix} 201.3 & 0.812 & 1.67 \\ -1.28 & 196.1 & 0.68 \\ 2.33 & 1.17 & 211.7 \end{bmatrix}, G_3^{opt} = \begin{bmatrix} 198.1 & 0.68 & 1.71 \\ -2.08 & 189.9 & -1.41 \\ -2.61 & 2.04 & 209.2 \end{bmatrix}$$

$$M_1^{opt} = (-1.5, -1.5, 0.3), M_2^{opt} = (-1.5, -0.5, 1.5), M_3^{opt} = (0.2, 1.5, 1.5)$$

Sintez edilmiş idarəetmə sisteminin modelləşdirməsinin nəticələri keçid prosesləri və faz trayektoriyası şəkil 5a və b-də verilmişdir.



a) keçid prosesləri

b) faz trayektoriyası

Şəkil 5. BİHE mobil robotun idarə olunmasının keçid prosesləri və faz trayektoriyası

Daha sonra, eyni başlanğıc şərtlərə görə məlum və təklif olunmuş üsula görə sintez olunmuş sistemin keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi aparılmışdır. Eksperimental tədqiqatların nəticəsi göstərdi ki, *BİHE* mobil robotun idarəetmə sisteminin sintezi təklif edilmiş üsulla idarə edilməsi məlum üsullar ilə müqayisədə daha səmərəlidir. Belə ki, məlum üsullar ilə sintez olunmuş idarəetmə sisteminin səmərəli fəaliyyətinin göstəricisi kimi məsələnin inteqral kvadratik xətası  $0.2605$  təşkil edirdisə, təklif olunmuş xaos proses əsasında avtomatlaşdırılmış sintez üsulunda isə bu rəqəm  $0.2113$  endirilmişdir. Bu da idarəetmə sisteminin inteqral kvadratik xətaya görə keyfiyyət göstəricisinin  $18.8\%$  yaxşılaşdığını göstərir.



## İŞİN ƏSAS ELMİ NƏTİCƏLƏRİ

Dissertasiya işində alınmış elmi nəticələr kimi aşağıdakıları qeyd etmək olar:

1. Müxtəlif tip qeyri-müəyyənliyə malik qeyri-xətti, qeyri-requlyar hərəkətli xaoslu dinamik obyektlərdə idarəetmənin sintezi üsullarının və vasitələrinin tədqiqinə həsr olunmuş elmi ədəbiyyatın tənqidi təhlili əsasında bu sahənin qanunverici dərəcədə işlənmədiyini müəyyənləşdirilmiş və bunun əsasında dissertasiyada həll ediləcək məsələlər təyin olunmuşdur;

2. Etalon modeli çevricilərdən-filtirlərdən istifadə etməklə qeyri-müəyyənlikli, qeyri-requlyar hərəkətli və yalnız giriş-çıxış dəyişənləri müşahidə olunan dinamik obyektlərin identifikasiya üsulu təklif edilmişdir;

3. *BİHE* mobil robotun çoxəlaqəli müxtəlif (yerli və baş) əks əlaqəli idarəetmə sisteminin – qeyri-səlis tənzimləyicinin funksional sxemi və algoritmi təklif edilmişdir;

4. Qeyri-müəyyənlikli, qeyri-requlyar, xaoslu (hərəkətli) çoxəlaqəli dinamik obyektlər üçün *TS* tipli qeyri-səlis modellərlə yazılan tənzimləyicilərin analitik sintezinin üsul və vasitələri işlənmişdir;

5. Qeyri-müəyyənlikli, qeyri-requlyar hərəkətli bir və çoxəlaqəli dinamik obyektlər - bütün istiqamətlərə hərəkət edən mobil robotun vektor meyarlara: minimal integral kvadratik xəyata, rəqslərin sönmə dərəcəsinin maksimumluğuna və keçid prosesində ifrat tənzimləmənin minimumluğuna görə optimal idarəetməni təmin edən intellektual qeyri-səlis *TS* tipli tənzimləyicilərin parametrlərinin, biliklər bazasının qeyri-səlis term çoxluqlarının parametrlərinin xaoslu proses əsasında sintezi sisteminin qurulmasının üsul və vasitələri işlənmişdir.

Təklif edilmiş bu üsullar əsasında sintez edilmiş müxtəlif tip qeyri-səlis tənzimləyicilərin, dinamik sistemlərin texniki realizasiyası və kompüter modelləşdirilməsi və onların təhlili, müxtəlif sahələrdə, məsələn, neftayırmada və robototexnikada, İKT-dəki sınaq tətbiqləri dissertasiya işinin elmi nəticələrinin təsdiqini və praktiki əhəmiyyətli olduğunu göstərmişdir.

## **DİSSERTASIYA MÖVZUSU ÜZRƏ PUBLİKASIYALAR**

1. Abbasova A.M. Qeyri-xətti determinik sistemlərdə xaos hərəkatın identifikasiyası Magistrantların IV Respublika Elmi Konfransı, Sumqayıt, 2004, s.52

2. Abbasova A.M. Benzin istehsalında zaman sıralarının xaos nəzəriyyəsi əsasında təhlili. Magistrantların V Respublika Elmi Konfransı, Sumqayıt, 2005, s.30-31

3. Abbasova A.M. İntellektual nəqliyyat robotun modelləşdirilməsi zamanı qeyri-səlis xaos nəzəriyyəsinin rolu. Bakı: Elm və Cəmiyyət jurnalı, BSU 4/2006, s. 69-73

4. Mustafayeva A.M. Qeyri-xətti xaos sistemlərdə tənzimləyicinin sintezi. AMEA Aspirantlarının elmi konfransının materialları, Bakı: Elm, 2009, 114-118

5. Zeynalov E.R., Mustafayeva A.M., Jafarov P.S., Zeynalova L.M., Jafarov S.M., "Identification of fuzzy models of nonlinear dynamic objects with observability of input and output". Fifth International Conference on Soft Computing with words and perceptions in system Analysis, Decision and control. Famagusta, North Cyprus: 2-4 september, 2009, p. 302-305

6. Mustafayeva A.M. Xaos hərəkatlı dinamik idarəetmə obyektinin qeyri-səlis modelinin identifikasiyası. AMEA Aspirantlarının elmi konfransının materialları. Bakı: Elm, 2010, s. 110-113

7. Jafarov P.S., Zeynalov E.R., Jafarov S.M., Mustafayeva A.M., "The analytical method of synthesis of a controller with a fuzzy TS model for control of a flexible joint robot arm". Sixth International Conference on Soft Computing with words and perceptions in system Analysis, Decision and control. Antalya, Turkey: 1-2 september, 2011, p.107-113

8. Нусратов О.К., Джафаров П.С., Зейналов Э.Р., Мустафаева А.М., Джафаров С.М. "Аналитический метод синтеза регулятора с нечеткой TS моделью для управления манипулятором робота с гибким соединением". Теоретический и прикладной научно-технический журнал. Мехатроника, Автоматизация, Управление №8, август, 2011, с. 10-14

9. Джафаров С.М., Мустафаева А.М., Джафаров П.С., Зейналов Э.Р., "Идентификация нечеткой модели нелинейных объектов при наблюдаемости лишь входа и выхода". Mingəçevir Politexnik İnstitutunun yaradılmasının 20-ci ildönümünə həsr olunmuş Respublika Elmi Konfransının materialları, 2012, s. 89-96

10. Mustafayeva A.M. Qeyri-müəyyənlik şəraitində qeyri-xətti dinamik obyektlərin qeyri-səlis modelinin qurulması. Mingəçevir Politeknik İnstitutunun yaradılmasının 20-ci ildönümünə həsr olunmuş Respublika Elmi Konfransının materialları, 2012, s. 161-163

11. Zeynalov E.R., Jafarov P.S., Mustafayeva A.M., Jafarov S.M. "The methods of analytic synthesis of controllers for dynamic objects described by fuzzy differential equations". Tenth International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing proceedings. Portugal: 29-30 August, 2012, p.85-95

12. E.R.Zeynalov, P.S.Cəfərov, A.M.Mustafayeva, S.M.Cəfərov "Xaotik hərəkətli qeyri-xətti idarəetmə obyektinin giriş-çıxış müşahidələri əsasında qeyri-səlis modelinin təyini". Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri. İnformatika və idarəetmə problemləri. Bakı: Elm, 2013, №3, s. 38-43

13. Zeynalov E.R., Mustafayeva A.M., Jafarov P.S., Jafarov S.M. Design of a system of an automated synthesis of controllers on the base of the chaos theory. Seventh International Conference on Soft Computing, with words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control. Izmir, Turkey, september 2-3, 2013, p.395-403

14. E.R.Zeynalov, A.M.Mustafayeva, P.S.Cəfərov, S.M.Cəfərov. Проектирование системы автоматизированного синтеза регулятора в САУ на основе теории хаоса. Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri. İnformatika və idarəetmə problemləri. Bakı: Elm, 2013, №6 s. 139-146

15. Mustafayeva A.M. Xaotik hərəkətli qeyri-xətti dinamik obyektlərin idarə edilməsi üçün qeyri-səlis TS tipli tənzimləyicinin sintezi. Dövlətin regional siyasətinin reallaşmasında aran iqtisadi rayonunun rolu: reallıqlar və perspektiv inkişafı. Respublika Elmi-Praktik konfransının materialları, 6-7 dekabr Mingəçevir, 2013, s. 156-158

16. Mustafayeva A.M. Xaotik proses əsasında AİS-də tənzimləyicilərin avtomatlaşdırılmış sintezi məsələsinin həlli və texniki-proqram realizasiyası. Azərbaycan Dövlət Memarlıq və İnşaat Universiteti, Nəzəri və Tətbiqi Mexanika. Bakı: Elm, 2014, №2(34) s. 47-54

17. Mustafayeva A.M. Qeyri-səlis TS modeli əsasında qeyri-xətti dinamik obyektlər üçün idarəetmənin-tənzimləyicinin sintezi metodu. Heydər Əliyev və Azərbaycanda energetikanın inkişafı. Respublika Elmi konfransının materialları 28-29 noyabr, 2014, Mingəçevir, s. 127-129

18. Mustafayeva A.M. Mürəkkəb qeyri-xətti dinamik obyektlərin idarə olunmasında qeyri-xəttiliyin aşkarlanması. Davamlı inkişafın milli modeli və strategiyası. Respublika Elmi Konfransının materialları 09-12 dekabr, 2015, Mingəçevir, s.124-127

19. P.S.Cəfərov, E.R.Zeynalov, A.M.Mustafayeva, S.M.Cəfərov. Qeyri-requlyar hərəkətli dinamik obyekt, BİHE mobil robotu üçün robast idarəetmənin-tənzimləyicinin analitik sintezi. Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri. İnformatika və idarəetmə problemləri. Bakı: Elm, №3, may, 2016 s.49-57

20. Jafarov S.M., Zeynalov, Mustafayeva A.M. Synthesis of robust controller – regulators for E.R.omnidirectional mobile robot with irregular movement.12<sup>th</sup> International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, Procedia Computer Science 102, ICAFS 2016, 29-30 August 2016, Vienna, Austria, p.469-476

21.Jafarov S.M., Zeynalov E.R., Mustafayeva A.M. Synthesis of the optimal fuzzy T-S controller for the mobile robot using the chaos theory. 12<sup>th</sup> International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, Procedia Computer Science 102, ICAFS 2016, 29-30 August 2016, Vienna, Austria, p.302-308

22.A.M. Mustafayeva. Qeyri-xətti dinamik obyektlərdə köklərin paylanması üsulu ilə optimal tənzimləyicinin sintezi və tədqiqi. “Qloballaşma və regional inteqrasiya” mövzusunda Respublika elmi konfransının materialları, Mingəçevir, 2016, s.327-330

23.S.M.Cəfərov, A.S.Əliyeva, A.M.Mustafayeva. Yalnız giriş və çıxışı müşahidə olunan qeyri-müəyyənlikli dinamik obyektlərin identifikasiyası. Azərbaycan Dövlət Memarlıq və İnşaat Universiteti, Nəzəri və Tətbiqi Mexanika. Bakı: Elm, may, 2017, s.72-79

24.С.М.Джафаров, П.С. Джафаров, Мустафаева А.М. Автоматический синтез оптимального нечеткого T-S регулятора для системы управления мобильным роботом с применением теории хаоса. Мехатроника, Автоматизация, Управление, Том 18, №9, 2017, с. 617-622

**Müştərək müəlliflərlə yerinə yetirilən işlərdə müəllifin şəxsi rolu:**

[5,6,22,23] işlərində - modelin qurulması, [9-12,14-18] – işlərində alqoritmin qurulması və hesablama eksperimentlərinin aparılması, [19,20,21,23,24] – işlərində qeyri-xətti dinamik obyektlərin Matlab mühitində S modelinin qurulması.

**АИДА МУБАРИЗ кызы МУСТАФАЕВА**  
**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ НЕЧЕТКИХ**  
**ХАОТИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**Резюме**

Движения ряда промышленных и движущихся динамических объектов управления являются нерегулярными – хаотическими. Поэтому весьма актуальным является разработка и исследование методов построения САУ и систем автоматизированного синтеза нечетких регуляторов на основе применения парадигм “Soft Computing”-а, в частности теории хаоса и нечетких множеств.

Основной целью диссертационной работы является разработка аналитических методов и методов автоматизированного решения задачи синтеза нечетких регуляторов с использованием элементов теории хаоса для динамических объектов с нерегулярными (хаотическими) движениями.

Решением задач, вытекающих из выше поставленной цели, в диссертации получены следующие новые научные результаты: - разработан метод нечеткой идентификации динамического объекта с нерегулярным движением с использованием эталонных преобразователей – фильтров, подключаемых на вход и выход объекта; - предложена многосвязанная функциональная схема и алгоритмы нечетких регуляторов с различными обратными связями для мобильного робота; - разработан аналитический метод и средства синтеза параметров нечетких TS регуляторов для многосвязного динамического объекта с нерегулярным – хаотическим движением; на основе использования хаотического процесса разработаны методика и средства автоматизированного синтеза параметров и термов нечетких множеств, база знаний интеллектуальных нечетких TS регуляторов, обеспечивающих вектора критерий качества (минимума интегральной квадратной ошибки, максимума степени затухания и минимума перерегулирования) для односвязного и многосвязного динамического объекта с нерегулярными – хаотическими движениями.

Предложенные методы синтеза управления могут быть использованы для определения параметров и баз знаний различных нечетких регуляторов при создании систем управления динамическими объектами с нерегулярными - хаотическими движениями. Проведенные машинные эксперименты системы управления мобильного робота с использованием программных средств MATLAB-а показали научную и практическую значимость результатов, полученных в данной диссертационной работе.

**AIDA MUBARIZ qızı MUSTAFAYEVA**  
**ANALYSIS AND CONTROL SYNTHESIS IN FUZZY**  
**CHAOTIC DYNAMIC OBJECTS**

**Summary**

The movements of a number of industrial and moving dynamic control objects are irregular - chaotic. Therefore, it is very important to develop and study methods for constructing automatic control systems and systems for automated synthesis of fuzzy controllers based on the application of the paradigms of "Soft Computing", in particular, theories of chaos and fuzzy sets.

The main goal of the thesis is the development of analytical methods and methods for the automated solution of the problem of synthesis of fuzzy controllers using elements of chaos theory for dynamic objects with irregular (chaotic) motions.

By solving problems arising from the above goal, the following new scientific results were obtained in the thesis: a method for fuzzy identification of a dynamic object with irregular motion was developed using reference converters - filters connected to the input and output of the object; a multiply connected functional scheme and algorithms of fuzzy controllers with different feedbacks for the mobile robot are proposed; an analytical method and means for synthesizing parameters of fuzzy TS controllers for a multiply connected dynamic object with irregular - chaotic motion; based on the use of a chaotic process, a methodology and tools for the automated synthesis of parameters and terms of fuzzy sets have been developed, the knowledge base of intelligent fuzzy TS regulators providing vectors for the quality criterion (minimum of the integral square error, maximum damping and minimum overshoot) for a simply-connected and multiply connected dynamic object with non- chaotic movements.

The proposed methods of control synthesis can be used to determine the parameters and knowledge bases of various fuzzy controllers when creating control systems for dynamic objects with irregular chaotic motions. Carried out machine experiments of the control system of the mobile robot using the MATLAB software showed the scientific and practical significance of the results obtained in this dissertational work.

**АИДА МУБАРИЗ КЫЗЫ МУСТАФАЕВА**

**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ НЕЧЕТКИХ  
ХАОТИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**3338.01- Системный анализ, управление и обработка  
информации (по отраслям)**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертационной работы, представленной на соискание  
ученой степени доктора философии по техническим наукам

**Баку – 2017**