

Əlyazması hüququnda

HƏSƏN ƏLİ OĞLU NAĞİYEV

**ÜÇ ÖLÇÜLÜ QEYRİ-XƏTTİ DİNAMİK SİSTEMLƏRİN ƏDƏDİ
ÜSULLARLA KEYFİYYƏT TƏHLİLİ VƏ İDARƏETMƏ
PROSESLƏRİNİN VİZUALLAŞDIRILMASI
(NEFTİN KREKİNGİ PROSESİ NÜMUNƏSİNDƏ)**

İxtisas: 1203.01 - Kompüter elmləri

Texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir

Elmi rəhbər: fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
F.B. İmranov

Rəsmi opponentlər: texnika elmləri doktoru, professor
F.M. Abdullayev
riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru, dos.
E.N. Səbzizyev

Aparıcı təşkilat: AMEA İnformaiya Texnologiyaları İnstitutu

Müdafiə 25 aprel 2014-cü il saat 15⁰⁰-də Milli Elmlər Akademiyasının Kibernetika İnstitutunun D 01.121 Dissertasiya Şurasının iclasında, Bakı şəhəri, B.Vahabzadə küç. ,9 ünvanında keçiriləcək.

Dissertasiya ilə AMEA-nın Kibernetika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat “__” _____ 2014-cü ildə göndərilmişdir.

D 01.121 Dissertasiya Şurasının
Elmi katibi, f.-r.e.n.

Ə.B.Paşayev

DİSSERTASIYA İŞİNİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. A.Puankare və İ.Bendikson tərəfindən əsası qoyulmuş diferensial tənliklərin keyfiyyət nəzəriyyəsi “insan-maşın” idarəetmə sistemlərində idarəetmə prosesinin vizuallaşdırılması üçün metodoloji əsas kimi çox cəlbedicidir. Lakin, bu metodologiyanın idarəetmə praktikasına ilə əlaqələndirilməsi qarşısında ən mühüm maneə kimi keyfiyyət nəzəriyyəsinin müstəvi üçün nəzərdə tutulması, üç və daha artıq sərbəstlik dərəcəsinə malik sistemlərdə isə qavranılması çətin olan stereo obrazlarla rastlaşmaq problemi dayanır. Digər maneə dinamik sistemlərin daxil etdikləri parametrlərin vəziyyətlər fəzasında bifurkasiyalar yaratması ilə bağlıdır. Həyəcanlandırıcı təsir və idarə vektorlarından asılı olaraq diferensial tənliyin müvazinət nöqtələrinin nəinki sayı dəyişilə bilər, bu nöqtələr ətrafında sərbəst hərəkətlər trayektoriyaları da keyfiyyətcə dəyişikliyə məruz qalırlar. Belə olan halda dinamik sistemi daşdığı keyfiyyət əlamətləri əsasında idarəetmək üçün idarə vektorunun sintezi məsələsi ciddi problem qarşısında qalır. Bu problemi dinamik sistemin genişləndirilmiş vəziyyətlər və parametrlər fəzasında çoxobrazlıların approksimasiyası problemi kimi adlandırmaq, zənnimizcə, ifadə səlisliyindən kənarında deyildir. Beləliklə, müasir kompüter texnologiyalarının nailiyyətləri işığında bu problemlərin həllinə yönəldilən hər bir cəhd təbiidir və aktual sayılmalıdır.

Neft emalı katalitik krekinq qurğusunun istilik dinamikasında sıçrayışlı relaksasiyaların, avtogenerasiyaların və dayanıqsız rejimlərin mövcudluğu kimya mühəndisliyində mütəxəssislərə yaxşı məlumdur. Bu effektlərin məhz differensial tənliklər həllinin keyfiyyət təhlili ilə aşkar oluna bilməsi o qədər cəlb edicidir ki, həmin sistemin üç sərbəstlik dərəcəsinə malik olması bu istiqamətdə tədqiqatlara yönələn elmi marağı heç də azalda bilmir. Əksinə, bu maraq üç ölçülü sistemlərin faza fəzasının vizual təhlili və idarə olunması üçün metodoloji əsaslarının inkişaf etdirilməsini, əksər hallarda isə yeni alqoritmlərin yaradılmasını stimullaşdırır.

Tədqiqat işinin məqsədi diferensial tənliklərlə yazılan riyazi modelərin keyfiyyət təhlilinə istinad olunaraq, idarəetmə prosesinin vizual effektlərlə təkmilləşdirilməsi üçün metodoloji əsasların yaradılması və alqoritmik, hə də proqram təminatının işlənməsidir. Bu məqsəd ətrafında aşağıdakı məsələlər kompleks riyazi olaraq tərtib edilməli və həll alqoritmləri işlənilməlidir:

- Üç ölçülü fəzada qeyri-xətti dinamik sistemlərin faza portretlərinin qurulması üçün alqoritmlərin yaradılması;
- Katalitik krekinq prosesi nümunəsində reaktor-regenerator qurğularının üç ölçülü modelinin yaradılması və parametrik identifikasiya olunması;

- Reaktor-regenerator modelinin faza fəzasının topoloji xassələrinin kritik vəziyyətlər analizi baxımından təhlil edilməsi;
- Baxılan modelin faza fəzasında lokal cazibə oblastlarının varlığının yoxlanması;
- Genişləndirilmiş üç ölçülü faza və n ölçülü parametrlər fəzasında separabel səthlərin approksimasiya olunması üçün kompüter alqoritmlərinin yaradılması;
- Dinamik sistemlərin faza fəzasının topoloji xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması ilə nəzarət və idarəetmə proseslərinin vizuallaşdırma alqoritmlərinin işlənməsi.

Aparılmış tədqiqatın elmi yeniliyi aşağıdakılardır:

1. Diferensial tənliklərlə yazılan dinamik sistemlərin faza portretləri əsasında vizual idarə olunma məsələsi ilk dəfə qarşıya qoyulmuş və bununla əlaqədar meydana çıxan məsələlər kompleks müəyyən olunmuşdur.

2. Üç ölçülü faza fəzasında çoxsaylı cazibə sahələrinə malik sistemlərin faza portretlərinin qurulması üçün vətərlər qaydası adlanan üsul təklif olunmuş və onu həyata keçirən proqram kompleksini yaradılmışdır.

3. Üç ölçülü faza portretlərinin müstəvi ekranda canlandırılması üçün stereo effektləri yaradan animasiya ekran rejimləri təklif olunmuşdur.

4. Reaktor-regenerator sənaye qurğularının istilik dinamikasını əks etdirən üç ölçülü modeli qurulmuş, parametrik identifikasiyası və faza fəzasının tam topoloji təhlili yerinə yetirilmişdir.

5. Dinamik sistemin topoloji xassələrinin nəzərə alınmasını həyata keçirən insan-maşın vizual nəzarət və idarəetmə prinsipləri işlənməmiş və müvafiq proqram kompleksləri yaradılmışdır.

Dissertasiya işinin praktiki əhəmiyyəti. Qeyri-xətti modellər əsasında vizual idarə olunma prinsiplərinin və proqram təminatının yaradılması çox saylı sənaye obyektlərinin və proseslərin effektivliyinin yüksəldilməsinə yönəldilmişdir. Neftayırma və neft kimyası proseslərində geniş yayılmış reaktor-regenerator sistemlərinin avtomatik nəzarət və idarə funksiyalarının müasir kompüter texnologiyaları əsasında modernləşdirilməsi üçün elmi-texnoloji baza yaradılmışdır.

İşin aprobasiyası. Dissertasiya işinin materialları aşağıdakı elmi konfranslarda məruzə və müzakirə edilmişdir:

- Azərbaycanca televiziyanın 50, radionun 80 illiyinə həsr edilmiş beynəlxalq elmi-texniki konfransda (Bakı, 2007);

- Akademik M. F. Nağıyevin 100-illik yubileyinə həsr olunmuş elmi konfransında (Bakı, 2008);

- “Tətbiqi riyazi metodlara” həsr olunmuş Beynəlxalq konfransda, (Rusiya Federasiyasının Nalçik şəh., 2008);

- AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun 50 illiyinə həsr olunmuş konfransda, (Bakı-2009);
- AMEA Aspirantların elmi konfransı, (Bakı, 2009);
- “Spektral nəzəriyyə və onun tətbiqləri.” Akademik A.Q. Maqsudovun 80 illik yubileyinə həsr olunmuş Beynəlxalq konfransda, (Bakı-2010);
- “Kibernetika və İnformatikanın Problemləri” - Beynəlxalq konfransında (PCI-2010), Bakı- 2010;
- AMEA Aspirantların elmi konfransı, (Bakı, 2010);
- “Kibernetika və İnformatikanın Problemləri” - Beynəlxalq konfransında (PCI-2010), Bakı- 2012;

Nəşr olunmuş əsərlər. Dissertasiya işinə aid 6 məqalə və 5 konfrans tezisi nəşr etdirilmişdir.

DISSERTASIYA İŞİNİN MƏZMUNU

Birinci fəsildə dinamik sistemlərdə sıçrayışlı relaksasiyalar, müvazinət vəziyyətlərin çoxsaylılığı, topoloji müxtəlifliyi və xarici təsirlərdən yaranan bifurkasiyaları əks etdirən elmi ədəbiyyatın icmalı verilir. Puankare-Bendikson keyfiyyət nəzəriyyəsinin əsas müddələrinin qısa şərhı verilir və qeyri-xətti dinamik sistemlərin trayektoriyalarının struktur bölümünün təsnifatı qeyd edilir. Müstəvidə müvazinət nöqtələrinin çoxsaylılığından yaranan mürəkkəb trayektoriyalara elmi ədəbiyyatdan nümunələr gətirilir. Üç ölçülü dinamik sistemlərin topoloji keyfiyyət analizi probleminin müasir vəziyyəti elmi ədəbiyyata istinadən təhlil edilir. Göstərilir ki, elmi ədəbiyyatda bir sıra nümunələri çıxmaqla yalnız tədris materialı qismində üç ölçülü faza portretlərinə təsadüf oluna bilər. Bir sıra analitik qaydalar şərh edilir. Bu sahədə kompüter qrafikası proqram vasitələrinin əsas rol oynadığı göstərilir və bu məsələ ilə əlaqədar kompüter topoloji keyfiyyət analizi probleminin müasir vəziyyəti araşdırılır.

Bu fəsilə dinamik sistemlərdə sıçrayışlı relaksasiyaların baş verməsini bifurkasiya effektləri ilə əlaqəli nəzərdən keçirən nümunələr göstərilir, idarəetmə problemlərini yaradan səbəblər sadalanır. Dissertasiya işində həll olunacaq problemlər irəli sürülür.

İkinci fəsil neftin krekinqi prosesi nümunəsində sənaye tipli reaktor-regenerator sistemlərinin üç ölçülü istilik dinamikası modelinin qurulmasına həsr olunmuşdur. Sistemin faza dəyişənləri kimi temperatur θ , katalizator səthinə çökmüş və təmizlənmək üçün regeneratora yandırılan koksun qalıq miqdarı ε və adsorbsiya olunmuş karbohidrogenlərin təmizləndikdən sonra qalıq miqdarı

ε_{des} təyin edilir. Koks əmələ gəlmə və yanma reaksiyaları kinetikasi əsasında istilik və maddə balansları tənlikləri tərtib olunur:

$$g_k \frac{d\varepsilon}{dt} = \alpha_1 f_c (\varepsilon_{des} - \varepsilon) - \alpha_2 w(\varepsilon_{des}, \theta) g_k$$

$$g_k \frac{d\theta}{dt} = \alpha_2 \beta_1 g_k w(\varepsilon_{des}, \theta) + \beta_2 f_k - (A + f_k) \theta + A \theta_{cp} + f_k \theta_0$$

$$\tau_{des} \frac{d\varepsilon_{des}}{dt} = \varepsilon + \frac{\alpha_4 d}{n} (th(4\theta_0 - 3.1) + 2.04) - \varepsilon_{des}$$

İdarə edici parametrlər olaraq : f_c – (xammalın kütlə sürəti); f_k – (katalizatorun kütlə sürəti) kimi işarə olunmuşdur. Həyəcanlandırıcı parametrlər olaraq xammalın koks əmələ gətirmə qabiliyyəti, d – kimi işarə olunmuşdur.

Diferensial tənliklər sistemində iştirak edən digər parametrlər bir sıra fiziki və texnoloji parametrlərdir ki, onlar bir qayda olaraq, idarəetmə prosesində dəyişmələrə məruz qalırlar.

Qeyd edilməlidir ki, riyazi model prosesin kinetik asılılıqlarına istinadən qurulmuş olsa da mühüm bir asılılıq empirik yolla əldə edilmişdir. Koks əmələ gəlmə reaksiya sürətinin temperaturdan və xammalın keyfiyyət göstəricisi d -dən asılılığı statistik müşahidələr yolu ilə qiymətləndirilməsi həyata keçirilmişdir. Müxtəlif funksiyalar sınaqdan keçirilmiş və onlar içərisində hiperbolik tangens funksiyası ən effektiv kimi diqqəti cəlb etmişdir:

$$z = d(th(a_1 \theta_0 - a_2) + a_3) = d \cdot (th(4\theta_0 - 3.1) + 2.04) \cdot$$

Həmin aproksimasiya edici funksiya xammalın koksdaşma göstəricisi üçün $d = (.8 - 1.2)$ diapazonu qəbul edilmişdir. Həmin aproksimasiya əldə edildikdən sonra riyazi modelin parametrik identifikasiyası həyata keçirilmişdir.

Üçüncü fəsil üç ölçülü dinamik sistemlərin kompüter faza portretlərinin yaradılma metodologiyasının işlənilməsinə həsr edilmişdir. Hətta müstəvi üzərində iki ölçülü sistemlərin faza portretlərinin qurulma metodikasının lazımı səviyyədə xeyli aşağı olduğunu göstərən dəlillər gətirilir və onların aradan qaldırılma məsələlərinə toxunulur. Üç ölçülü sistemlərin faza portretlərinin qurulması ilə əlaqədə problemlər araşdırılır.

Reaktor-regenerator sistemləri modellərində müvazinət nöqtələrinin koordinatlarının təyin edilməsi üçün effektiv metod təklif olunur. İstilik ayrılma və istilik xaric edilmə əyrilərinin balansına əsaslanan (Van-Heerden diaqramı) bu metod müvazinət nöqtələrinin koordinatlarını və onların parametrlərdən asılı olaraq dəyişməsinə asanlıqla təyin etməyə imkan verir.

Üç ölçülü fəza əyriləri ailəsinin müstəviyə kəsişməz inikası problemi qarşıya qoyulur. Monitora animasion stereo efektin yaradılması məsələsi irəli sürülür və müvafiq olaraq stereo faza portreti anlayışı daxil edilir.

TƏRİF: Faza stereo portreti dedikdə mərkəzi (1) sisteminin müvazinət nöqtələrindən birinə köçürülüş və oxlarından birinə nəzərən

$$\varphi(t) = \alpha_0 t + \alpha_{\max} \sin \frac{t}{T};$$

$$\varphi(t) = \alpha_0 t + \alpha_{\max} \operatorname{dim} \left(\frac{t}{T} \right);$$

zanman qanunu üzrə mürəkkəb fırlanma hərəkəti yerinə tetirən koordinat sistemində təsvir olunmuş üç ölçülü faza portretinin ekran proeksiyası nəzərdə tutulur. Burada α_0, α_{\max} – əlavə koordinat sisteminin müntəzəm və periodik dəyişən sürətli dönmə hərəkətinin parametrlərini, dim – işarəsi isə qismətin kəsr hissəsini ifadə edirlər.

Aşağıda stereo effekti imitasiya edən sistemin çevrilmə düsturları verilmişdir:

$$x(t_i) = x_0 + (x(0) - x_0) \cos \left(\alpha_0 t_i + \alpha_{\max} \sin \frac{t_i}{T} \right);$$

$$y(t_i) = y_0 + (y(0) - y_0) \sin \left(\frac{\pi}{2} + \alpha_0 t_i + \alpha_{\max} \sin \frac{t_i}{T} \right);$$

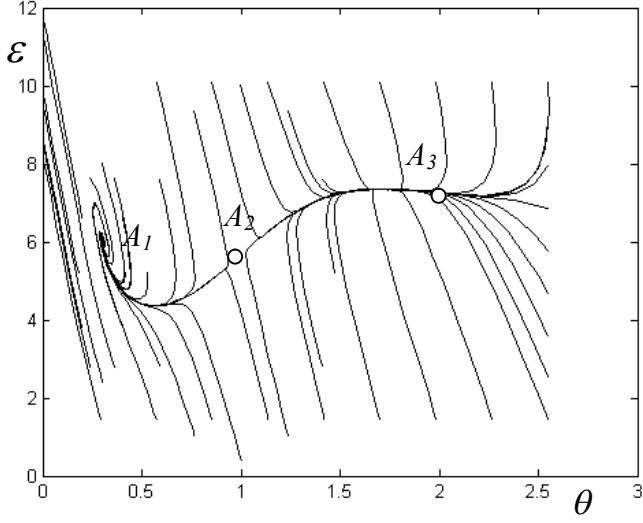
$$z = z(0); \quad t = h \cdot i; \quad i = 0, 1, 2, \dots$$

Qeyd etmək lazımdır ki, bu düsturlardakı $\alpha_0, \alpha_{\max}, h, T$ parametrlərinin qiymətləndirilməsində praktiklik meyarı əsas rol oynayır. Stereo effektin insan-operator qarşısında çatdırılmasında subyektiv amil də mühüm rol oynadığı üçün bu parametrlərin dəyişdirilməsi imkanı müvafiq qrafika redaktorlarında nəzərdə tutulmalıdır. Göstərilən parametrlərin qiymətləndirilməsi üçün həyata keçirilmiş hesablama eksperimentlərində optimal hesab etdiyimiz qiymətlər aşağıda verilmişdir:

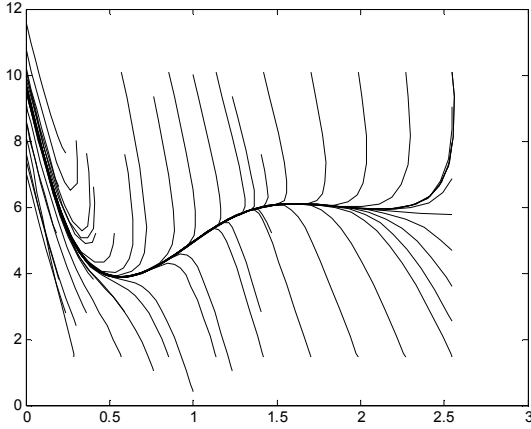
$$\alpha_0 = (0.05 - 0.03), [s^{-1}] \quad h = 0.2, [s]$$

$$\alpha_{\max} = (0.2 - 0.25), [rad]; \quad T = (1.5 - 3), [s]$$

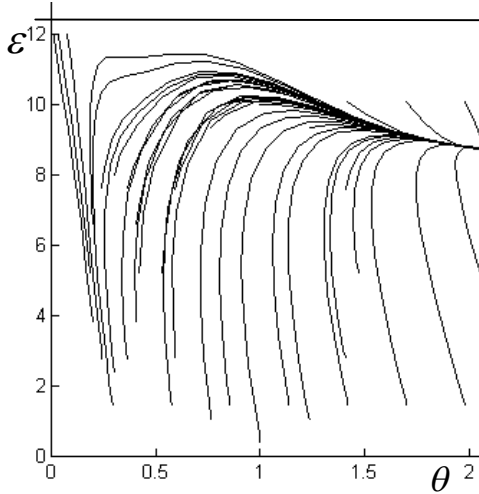
Üçüncü fəslin böyük bir hissəsi reaktor-regenerator sisteminin faza portreləri əsasında xassələrinin öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Təhlil iki və üç ölçülü modellərin müqayisəsi ilə həyata keçirilmişdir.



Şək.1. İki ölçülü modelin üç müvazinət nöqtəli rejimini əks etdirən faza portreti ($d = 1.0$; $f_c = 0.9$; $f_k = 1.2$).



Şək.2. İki ölçülü modelin aşağı temperatura meyilli, lakin müvazinət nöqtəsiz rejimini əks etdirən faza portreti ($d = 0.7$; $f_c = 0.75$; $f_k = 1.0$)

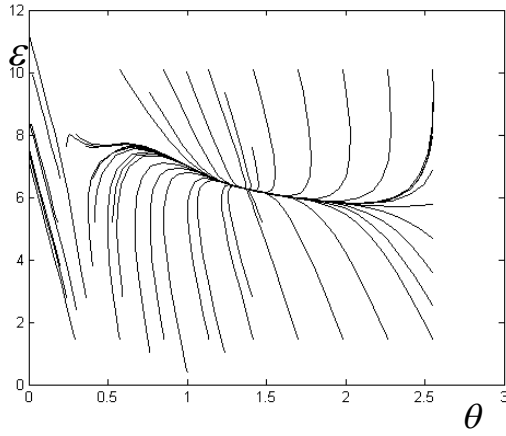


Şək.3. İki ölçülü modelin yuxarı temperatúra meyilli, lakin müvazinət nöqtəsiz rejimini əks etdirən faza portreti ($d = 2.0$; $f_c = 1.0$; $f_k = 1.0$)

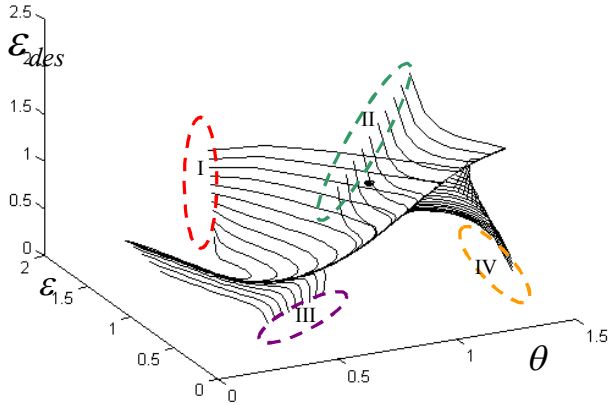
Bu faza portreti məhz koks törətmə qabiliyyəti yüksək olan karbohidrogenlərin emalı, yəni $d = 2.0$ olan rejimləri əks etdirir. Digər parametrlər nominal qiymətlərdə götürülmüşlər.

İdarəetmə problemləri ilə əlaqəli təhlil diqqəti ona yönəldir ki, birinci faza portretinə müvafiq rejim arzuolunmaz (şək 1), sonrakı iki rejim yolverilməz (şək 2, 3) sayılmalıdırlar. Bu cəhət sistemin layihələndirilmə zamanı aparılan hesabatlarda nəzərə alınması çox zəruri olan texniki şərti müəyyən edir. İdarəetmə ilə əlaqədar isə o qənaətə gəlmək olur ki, bu rejimlər faza portretinin görüntü sahəsi çərçivəsində dayanıqsız, texnoloji prosesin texniki şərtləri baxımından isə qəza qabağı vəziyyət kimi qiymətləndirilməlidir. Bu baxımdan arzu olunan hal şək.4-də verilmiş bir müvazinət nöqtəli rejim sayılmalıdır.

Şək.5-də üç ölçülü modelin aşağı temperaturlu, lakin müvazinət nöqtəsiz rejimini əks etdirən faza portreti ($d = 0.7$; $f_c = 0.75$; $f_k = 1.0$) göstərilmişdir.

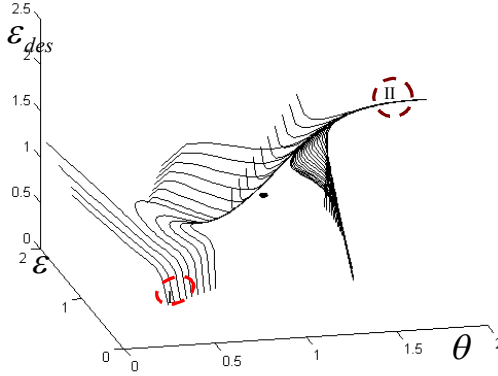


Şək.4. İki ölçülü modelin nominal temperaturlu və normal koks təmizliyini təmin edən, bir müvazinət nöqtəli faza portreti ($d = 1.0$; $f_c = 1.0$; $f_k = 1.0$)



Şək.5. Üç ölçülü modelin aşağı temperaturlu, lakin müvazinət nöqtəsiz rejimini əks etdirən faza portreti ($d = 0.7$; $f_c = 0.75$; $f_k = 1.0$).

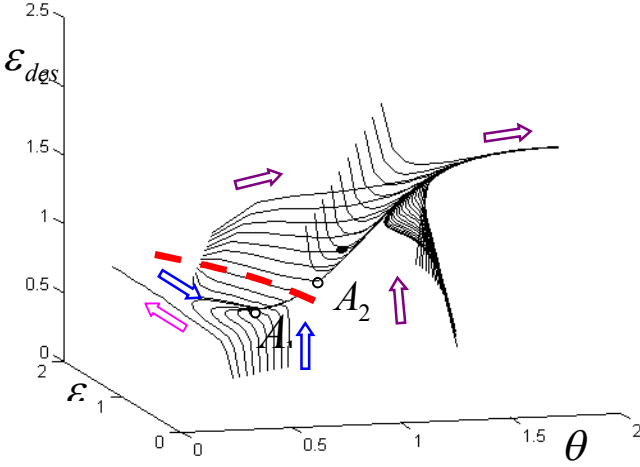
Həmin faza portretində görüntü oblastının bütün nöqtələrindən başlanğıc götürən faza trayektoriyaları aşağı temperaturu və yüksək qalığ koksluluq dərəcəsi ilə xarakterizə olunan oblasta istiqamət götürürlər. Faza portretində dörd xarakterik oblast diqqəti cəlb edir.



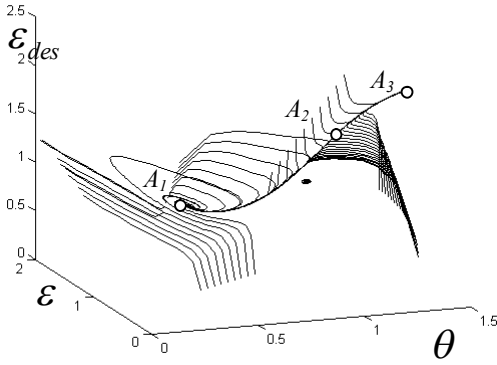
Şək.6. Görüntü sahəsində dayanıqsız, yükək temperatura meylli rejimə müvafiq faza portreti ($d = 2.0$; $f_c = 1.0$; $f_k = 1.0$).

Dissertasiya işində həmin oblastların texnoloji situasiyalarla əlaqələndirilməsi bütün təfərrüatı ilə verilir. Bu prosesin demək olar ki, əksi olan dayanıqsız yükək temperatura meylli rejimin faza portreti şək. 6-da əks olunmuşdur

Şək. 7 və şək.8-də parametrlərin müxtəlif qiymətlərində aşkar olunan faza portretləri göstərilmişdir.



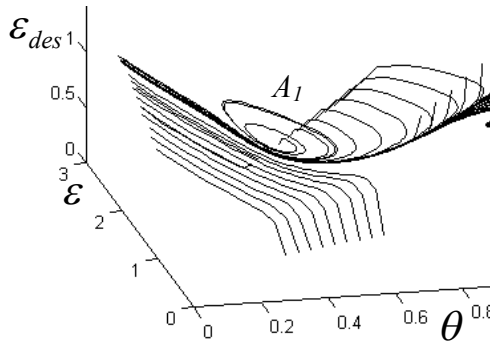
Şək.7. Üç ölçülü modelin görüntü sahəsində iki müvazinət nöqtəsinin olduğu halı əks etdirən faza portreti ($d = 2.0$; $f_c = 1.0$; $f_k = 1.0$; $A = 0.435$).



Şək.8. Üç ölçülü modelin görüntü sahəsində üç müvazinət nöqtəsinin olduğu halı əks etdirən faza portreti ($d = 1.8$; $f_c = 0.92$; $f_k = 1.0$; $A = 0.435$).

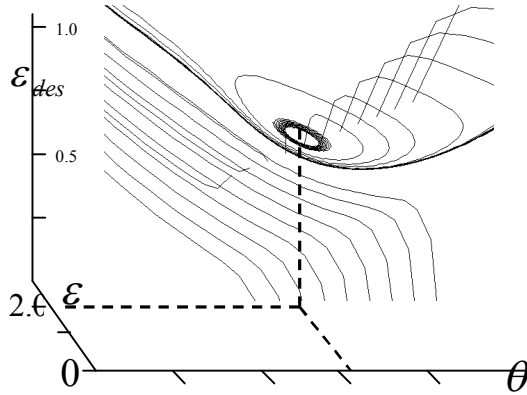
Şək 8-də verilən təsvirdə diqqəti cəlb edən mühüm bir məsələ odur ki, əvvəlkindən fərqli olaraq, bu faza portretində müvazinət nöqtələrinin təkə koordinatlar deyil, həm də topoloji tipi dəyişmişdir. Əgər şək.7-də A_1 müvazinət nöqtəsinin topoloji tipi “düyün” kimi müəyyən olunmuşdursa, şək. 8-də təsvir olunan faza portretində həmin müvazinət nöqtəsi topoloji “fokus”u təşkil edir. Göründüyü kimi, bu müvazinət nöqtəsi dayanıqlıdır, geniş bir oblastın əhatə etdiyi nöqtələrdən başlanğıc götürmüş trayektoriyalar A_1 müvazinət nöqtəsinə sarınmışlar.

Şək.9-da parametrlərin $d = 1.4$; $f_c = 1.42$; $f_k = 9.89$; qiymətlərində formalaşan faza portreti şək. 8 tipli faza portretini keyfiyyətcə dəyişdirir. A_1 ətrafında sönən rəqsi proseslər avtogenerasiya xarakterli keçid prosesləri meydana çıxarmış olur. Başqa sözlə, “dayanıqlı fokus” “dayanıqsız fokusa” çevrilmişdir.



Şək.9. A_1 müvazinət nöqtəsinin “dayanıqsız fokus” olduğu variant ($d = 1.4$; $f_c = 1.42$; $f_k = 9.89$).

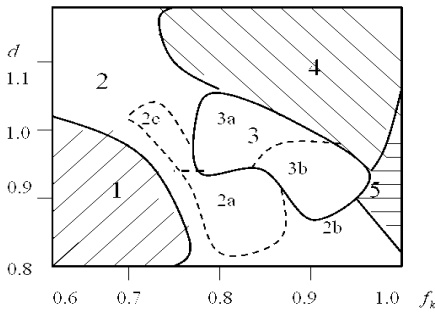
Diferensial tənliklərin keyfiyyət nəzəriyyəsinin müddəalarından biri kimi məlum olan “dayanıqlı” və “dayanıqsız” fokusların bir-birinə keçidində qapalı tsikllərin mövcudluğu şərtinin yoxlanması bir məqsəd olaraq qarşıya qoyulmuş və şək.10-da göstərilmiş faza portreti aşkara çıxarılmışdır.



Şək.10. A_1 müvazinət nöqtəsi ətrafında bir-birini əhatə edən qapalı tsikllərin və “dayanıqsız fokusların” mövcud olması
 $d=1.3$; $f_c=1.22$; $f_k=1.12$.

Aparılan hesablamalar eksperimentləri külliyyatının təhlili göstərir ki, şəkl.7 və şəkl.8 tipli faza portretləri baxdığımız model üçün xarakterikdir. Bir sıra mürəkkəblilər və fərdi əlamətlərin mövcudluğu ümumi struktur əsasında meydana çıxmış olurlar. Ümumiyyətlə, baxılan model üçün görüntü sahəsində aşağıda göstərilən 7 tip faza portreti aşkar olunmuşdur.

Dördüncü fəsil reaktor-regenerator modeli nümunəsində üç ölçülü dinamik sistemlərin faza portretləri çoxluqlarının aproksimasiyası probleminə həsr edilmişdir. Dinamik sistemlərin faza fəzalarının topoloji əlamətlərə görə separat oblastlara ayrılma məsələsi irəli sürülür. Bölünmə həm giriş vektorları fəzasında, eyni topoloji keyfiyyət daşıyan faza portretlərini meydana gətirən oblastları ayırmaq üçün, həm də genişləndirilmiş giriş və faza dəyişənləri fəzasında cazibə sahələrinin hüdudlarını müəyyən etmək məqsədi ilə aparılır.



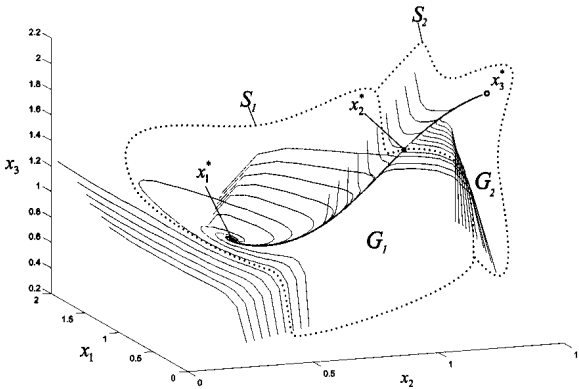
Şək.11. (d, f_k) parametrlər müstəvisinin müvazinət nöqtələrinin topoloji tiplərə bölünməsi diaqramı

- 2a- aşağı temperaturlu müvazinət nöqtsi ətrafında sönən rəqsi proseslərlə müşayət olunan faza portretləri;
- 2b. aşağı temperaturlu müvazinət nöqtsi ətrafında avtogenerasiya rejimli qapalı faza trayektoriyaları;
- 2c- aşağı temperaturlu müvazinət nöqtsi ətrafında sönməyən rəqsi proseslər;
- 3a- “düyün” və “yəhər” tipli müvazinət nöqtəli faza portreti;
- 3b- “fokus” və “yəhər” tipli müvazinət nöqtəli faza portreti;

Ümumən qabarıqlıq şərtini ödəməyən belə separabel oblastların ənənəvi metodlara istinadən approksimasiya olunması çətinliklər yaradır.

Müvazinət nöqtələrinin cazibə və qovma sahələrinin hüdudlarını müəyyən edən qapalı səthlərin qeyd edilmə məsələsi qarşıya qoyulur. Şək.13-də bu səthlər S_1 və S_2 kimi işarə edilmişlər.

Şəkildə x_1 və x_3 cazibə nöqtələri, x_2 isə “yəhər” tipli dayanıqsız müvazinət nöqtəsidir. Bu nöqtələrdən hər biri koordinat başlanğıcı olmaqla onları əhatə edən S_1 və S_2 səthlərinin kompüter qrafiki təsviri üçün trianqulyasiya məsələsi ortaya atılır. Ənənəvi trianqulyasiya alqoritmlərinin müsbət və mənfə cəhətlərinin təhlili verilərək, yeni trianqulyasiya alqoritmı təklif olunur.



Şək.13. İki dayanıqlı müvazinət nöqtələrinin G_1 və G_2 cazibə sahələri və onları ayıran S_1 və S_2 qapalı səthləri.

Bəşinci fəsil avtomatik nəzarət və idarəetmə proseslərinin vizuallaşdırma alqoritmlərinin işlənməsinə həsr edilmişdir. Xarici təsir impulslarının gücü, sistemin sərbəst trayektoriyalarında dreyf və cazibə sahəsinin hüdudlarına təhlükəli yaxınlaşma məsələsi müzakirə olunur. Vizual insan-maşın nəzarəti, həm də avtomatik nəzarət alqoritmləri təklif olunur. Avtomatik nəzarət üçün real vaxt miqyasında aşağıdakı alqoritm təklif olunur:

1. Ölçü siqnalları vericilərindən gələn siqnallar əsasında həyəcanlandırıcı və idarəedici təsirlər təyin edilir və qlobal informasiya blokundan (çoxsəhifəli və ya sonsuz səhifəli faza portretinlə) müvafiq faza portreti monitora göçürülür.
2. Təsviredici nöqtənin koordinatları modelin faza dəyişənləri kimi qəbul edilir. Riyazi model real vaxt rejimində işə buraxılır və sistemin trayektoriyası nəzarət altına götürülür.
3. Təsviredici nöqtənin ayırıcı səthə xeyli dərəcədə yanaşaraq, təhlükəli zolağa daxil olması baş verirsə, səthin həmin hissəsi qeyd edilir.
4. Situasiyanın təhlili blokunda idarə edici təsir siqnalı formalaşdırılır. Əks halda 1-ci bəndə keçid təşkil edilir.

Çox səhifəli faza portretləri əsasında situasiyalar üzrə idarəetmə prinsipi müzakirə olunur və cazibə sahələrinin situasiyalara görə regional bölgələndirmə məsələsi irəli sürülür. Ayırıcı səthlərdə rəngləndirilmiş sahələr prinsipi üzrə idarə strategiyası işlənir. Ayırıcı səthin rəngləndirilməsi alqoritm təklif olunur:

1. Başlanğıc cazibə nöqtəsində yerləşdirilmiş sferik şablonun sıra nömrəsi ilə istiqamətləndirici şüası üzrə kiçikdən başlayaraq h addımları ilə artırılaraq, diferensial tənliyin həlli üçün başlanğıc nöqtələr seçilir. Həmin nöqtələrdən başlanan trayektoriyalar çoxluğu yaradılır.

2. Həmin trayektoriyalar ardıcılığından cazibə sahəsini tərk edən ilk trayektoriya seçilir və onun balanğıc nöqtəsi qeyd edilir.

3. həmin traektoriyanın topoloji təsnifata uyğun qruplaşdırılması yolu ilə fəzalar fəzasında rəngli nöqtələr çoxluğu əmələ gətirilir.

4. Rəngli nöqtələr çoxluqlarının sferik koordinat sistemində qabarıq örtükləri qurulur.

Rəngləndirilmiş ayırıcı səth bölgələrinə kritik yaxınlaşma ilə əlaqədar idarə təsirinin həyata keçirilir. İdarə təsiri ilə yanaşı müxtəlif növ siqnalizasiya vasitələrinin tətbiqi nəzərdə tutula bilər.

Qeyri-xətti dinamik sistemlərin geniş diapazonda idarə məsələsi predikator-korrektor prinsipi üzrə sistemləşdirilir. Metodoloji baza olaraq yenə də

çoxsəhifəli stereo faza portretindən istifadə əsas götürülür. Predikator-korrektor prinsipindən irəli gələn addımlı idarəetmə prosesi nəticə etibarlı ilə sistemi verilmişnöqtədən arzu olunan cazibə sahəsinin ən yaxın nöqtəsinə düşmə strategiyası üzrə qurulur. Vəziyyətlər fəzasında idarə olunan yerdəyişmələrin yaradılması məsələsi meydana çıxır. “İnsan-maşın” idarəedicisi sistemin fəaliyyəti kimi nəzərdə tutulan bu proses iterativ qaydada , yəni idarəetmə vektorunun hər yeni addımda proektəndirilməsi yolu ilə həyata keçirilməsi təklif olunur. Sistemin cari koordinatlarını ifadə edən təsviredici nöqtə ilə növbəti addımda arzu olunan koordinatları birləşdirən vektorun layihələndirilmə məsələsi həll edilir.

Cari idarəetmə vektorunu $\mathbf{u}(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}^a)$; $s = 1, 2, \dots$ kimi ifadə edək və tələb edək ki, dinamik sistemin həmin idarə təsiri altında aldığı sürət ilə layihələndirilən istiqamət arasında minimal fərq əldə edilməsi olsun:

$$\sum_{i=1}^3 \left(\frac{f_i(\mathbf{x}_s, \mathbf{u})}{|\mathbf{f}(\mathbf{x}_s, \mathbf{u})|} - \frac{(x_{si} - x_{si}^a)}{|\mathbf{x}_s - \mathbf{x}_s^a|} \right)^2 \rightarrow \min , \quad (7)$$

harada ki, $\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_s^a$ – sistemin, uyğun olaraq, cari və növbəti addımda arzu olunan koordinatlarını; $\frac{f_i(\mathbf{x}_s, \mathbf{u})}{|\mathbf{f}(\mathbf{x}_s, \mathbf{u})|}$; $i = \overline{1, 3}$ ifadəsi \mathbf{u} - nun təsiri altında meydana çıxan sürət vektorunun faza dəyişənləri fəzasında istiqamətləndirici kosinuslarını ifadə edir.

İdarəetmənin optimalığına gəldikdə isə onu qeyd etməliyik ki, burada meyar müxtəlifliyi özünü xüsusi olaraq göstərir və ona görə də çox kriterili məsələlərin meydana gəlməsinə səbəb yaranır. Faza portretləri çoxluğunda topoloji müxtəlifliyi və texnoloji məntiqi əsas götürərək, aşağıdakı kriterilərin istifadə olunması məqsəduyğun hesab edilə bilər:

- a) İdarə təsirinin effektivliyinin faza portretinin tipinə görə müəyyən edilməsi, məsələn, işçi oblastda bir dayanıqlı stasionar nöqtənin olması daha səmərəli sayılır;
- b) Topoloji tiplərə görə prioritetlərin bölüşdürülməsi yüksəkdən aşağıya doğru belə müəyyən olunur: - düyün, fokus, qapalı trayektoriya;
- c) Araşdırılan stasionar nöqtənin verilmiş poliqonun mərkəzindən olan məsafəsi;
- d) Cazibə sahəsinin tutduğu həcm (üç ölçülü dekart sisteminə həndəsi həcm) genişliyi.

DİSSERTASIYA İŞİNİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ

Dissertasiya işi ilə əlaqədar aparılan tədqiqatlarda aşağıdakı əsas elmi nəticələr əldə edilmişdir:

1. İstehsal proseslərinin real vaxt rejimində “insan-maşın sistemləri” konsepsiyası əsasında avtomatlaşdırılmış idarə edilməsi üçün qeyri-xətti dinamika metodlarının cəlb olunması və idarəetmə prosesinin vizuallaşdırılması məsələsi qarşıya qoyulmuşdur.
2. Qeyri-xətti sistemlərin dinamik təhlilində mühüm əhəmiyyət kəsb edən faza portreti metodunun inkişaf etdirilərək “müstəvidən” üç ölçülü faza fəzasına keçməyin prinsipial əhəmiyyəti katalitik krekinq prosesi əsasında çoxsaylı nümunələrdə nümayiş etdirilmişdir.
3. Katalitik krekinq prosesinin üç ölçülü qeyri-xətti istilik dinamika modeli tərtib edilmiş və onun faza fəzasının tam topoloji təhlili həyata keçirilmişdir.
4. Üç ölçülü faza fəzasında cəzətmə sahələri sərhədlərinin və həmin fəzada təsviredici nöqtənin və onun sürət vektorunun müstəvi ekrana inikasını mümkün edən stereo effektlərin yaradılması məsələsi irəli sürülmüş və stereoeffekt mahiyyəti daşıyan alqoritmlər təklif edilmişdir.
5. Reaktor-regenerator modeli nümunəsində üç ölçülü dinamik sistemlərin faza portretləri çoxluqlarının approksimasiyası üçün çoxsəhifəli faza portreti anlayışı daxil edilmiş və onun qurulması üçün alqoritm təklif edilmişdir.
6. Real vaxt rejimində dinamik sistemin faza fəzasında cazibə sahələrini sərhədlərinə yaxınlaşmaların təyin edilməsi, dayanıqlığın itirilməsi riskinin erkən aşkar edilməsi alqoritm və proqram kompleksi yaradılmışdır.
7. Faza fəzasında sürət vektorunun proektəndirilməsi əsasında insan-maşın vizual idarə məsələsi tərtib edilmiş və həll alqoritmı işlənmişdir.

Dissertasiya işinin nəticələri aşağıdakı nəşrlərdə əks olunmuşdur:

1. Садыхов В.В., Нагиев Г.А. Управление нелинейными динамическими системами третьего порядка с анимационным представлением графических образов в пространстве состояний. Azərbaycanca televiziyanın 50. radionun 80 illiyinə həsr edilmiş Beynəlxalq Elmi-Texniki konfransın Materialları. Bakı-2007, S. 412-415. (11)
2. Nağıyev H.Ə. Reaktor- regenerator sistemlərinin idarəetmə yönümlü riyazi modeli. Akademik M. F.Nağıyevin 100-illik yubileyinə həsr olunmuş elmi konfransının tezisləri. Bakı ,2008, S.313-314

3. Ф.Б.Имранов, Г.А.Нагиев Управление нелинейными системами в пространстве фазовых координат с меняющейся метрикой. //Материалы Международного симпозиума «Уравнения смешанного типа и родственные проблемы анализа и информатики» Ельбрус , 2008, С. 72,73.
4. Nağıyev H.Ə. Neft krekinqi sənaye qurğusunun termiki rejimlərində qəzaaya aparan dinamikasının erkən aşkar edilmə məsələsinə dair. AMEA aspirantların elmi konfransı. 2009, səh. 88-89.
5. İmranov F.B., Nağıyev H.Ə. Reaktor- regeneratorsistemləri riyazi modellərində S şəkilli van-Herden asılılığının mövcudluğu haqqında // SDU-nun ELMİ XƏBƏRLƏRİ Bakı-2008, N-1, səh 46-52.
6. Nağıyev H.Ə. Reaktor- regeneratorsistemlərinin idarəetmə yönümlü riyazi modeli. Akademik M. F.Nağıyevin 100-illik yubileyinə həsr olunmuş elmi konfransının tezisləri.Bakı ,2008, S.313-314
7. İmranov F.B., Nağıyev Ə.H. Qapalı səthlərin 3D qrafik təsvirinin üç ölçülü düyün nöqtələri matrisi əsasında qurulması. // AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun 50 illiyinə həsr olunmuş konfrans. Bakı-2009, səh 167-168.
8. Nağıyev Ə.H. Neft krekinqi sənaye qurğusunun termiki rejimlərində qəzaaya aparan dinamikasının erkən aşkar edilmə məsələsinə dair. // AMEA aspirantların elmi konfransı ,2009, səh 88-89.
9. İmranov F.B., Nağıyev Ə.H. Üç ölçülü dinamik sistemin faza stereo portreti və qeyri xətti obyektlərin idarə olunma prosesinin vizuallaşdırılması. // ”Spektral nəzəriyyə və onun tətbiqləri”, Akademik A.Q. Maqşudovun 80 illik yubileyinə həsr olunmuş Beynəlxalq konfrans. Bakı-2010, səh 184-185.
10. Fariz İmranov, Hasan Nağıev. Multipage phase stereo a portrait of three-dimensional dynamic system and visualisation of process of the control by movement// PCI-2010, The Third International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics” . Vol. 3. P. 77-81.
11. Nağıyev Ə.H Reaktor- regeneratorsistemləri riyazi modellərində S-şəkilli Van-Herden asılılığının mövcudluğu haqqında // Aspirantların elmi konfransı, Bakı, Elm, 2010, S. 121-125.
12. Имранов Ф.Б., Нагиев Г.А. Качественное исследование тепловой динамики реакционно-регенерационных систем с циркулирующим катализатором в трехмерном пространстве состояний. Известия вузов. Химия и химическая технология. - 2011. - Т. 54, No 1. - С. 95-100.

13. Нагиев А.Г.,Имранов Ф.Б.,Нагиев Г.А. Многолистовый фазовый стереопортрет трехмерной динамической системы и визуализация процесса управления объектами с множественностью стационарных состояний. / «Автоматика и вычислительная техника», №1, 2011, С.18-29.
14. Nağıyev H.Ə. Stasionar vəziyyətlər çoxluğuna malik dinamik sistemlər və geniş diapazonda yüksək dayanıqlıq təminatlı idarəetmə strategiyası. «AMEA-nın Xəbərləri» , 2010, №4.
15. Ali Nagiev, Fariz Imranov, Hasan Nagiev . On the separability of the space of inputs to the same type of qualitative phase portraits of systems with a multiplicity of attractors and the solution to the problem of approximation. IV International conference “problems of cybernerics and informatics” PCİ-2012, V.3, Baku, P.119-121.
16. Nağıyev H.Ə. Vizual idarəetmə konsepsiyası ilə əlaqədar dinamik sistemlərin cari koordinatlarının faza fəzasının bir cazibə sahəsindən digərinə köçürülmə məsələsi. “Sumqayıt Dövlət Universitetinin Elmi Xəbərləri”, № 3, 2013, S. 66-68.

İddiəçının həmmüəllif olduğu elmi əsərlərdə şəxsi iştirakı:

1. Qrafik təsvirlərdə animasiya effektlərinin yaradılma mexanizminin işlənməsi və proqramlaşdırılması.
3. Faza fəzasına dəyişən metrika alqoritminin işlənməsi.
5. Reaktor- regeneratör sistemlərinin riyazi modellərinin qurulması və parametrik identifikasiyası.
7. 3D fəzasında trianqulyasiya məsələsinin qoyuluşu və həlli.
9. Üç ölçülü dinamik sistemin faza stereo portretinin qurulma alqoritmlərinin işlənməsi.
10. Reaktor- regeneratör sistemləri riyazi modellərinin giriş vektorları fəzasının separat oblastlara bölünmə məsələsinin alqoritmləşdirilməsi və proqramlaşdırılması.
12. Riyazi modelin qurulması, parametrik identifikasiyası və ədədi üsullarla təhlili.
13. Stereo portret əsasında krekinq modelinin üç ölçülü fəzada vizual idarə alqoritminin işlənməsi .
15. Üç ölçülü dinamik sistemin stereo faza portretinin qurulma alqoritminin işlənməsi və proqram təminatının yaradılması.

ГАСАН АЛИ оглы НАГИЕВ
КАЧЕСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ
НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЧИСЛЕННЫМИ
МЕТОДАМИ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ ПРОЦЕССА КРЕКИНГА НЕФТИ)

РЕЗЮМЕ

Диссертационная работа посвящена изучению важных особенностей динамики нелинейных систем – множественности стационарных состояний, их топологической разнотипности и релаксациям, вызываемым бифуркациями решений моделей управляемых объектов.

Ставится задача визуализация процесса управления, ориентированная на создание человеко-машинных систем, функционирующих в условиях дрейфов параметров и скачкообразных внешних возмущений

Разрабатывается модель тепловой динамики крупномасштабной промышленной реакционно-регенерационной системы с использованием примера процесса крекинга нефти.

Обсуждаются методологические вопросы построения трехмерных фазовых портретов, предлагается метод, основанный на построении хорд, связывающих центры притяжения устойчивых положений равновесия. Прорабатываются методические аспекты применения численных методов и проведения вычислительных экспериментов.

Поднимается вопрос о создании стереоэффектов, решающих проблему отображения потоков трехмерных траекторий на экран монитора. Проводится качественный анализ фазового пространства трехмерной модели реакционно-регенерационной системы.

Разрабатывается задача аппроксимации трехмерного пространства состояний динамических систем, предлагается метод для решения. Выдвигается задача разделения на сепарабельные подобласти. Определяются границы выпуклых сепарабельных качественно однотипных фазовых портретов для модели реакционно-регенерационной системы.

**QUALITATIVE RESEARCH OF THREE-DIMENSIONAL
NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS BY NUMERICAL METHODS
AND VISUALIZATION OF MANAGERIAL PROCESSES (ON THE
EXAMPLE OF PROCESS CRACKING OF OIL)**

THE SUMMARY

Dissertational work is devoted on studying of the important features of dynamics of nonlinear systems - to fast relaxations at small changes of entrance conditions, plurality of stationary conditions, their topological version and бифуркациям, connected with changes of external conditions which are expedient for considering in the course of management visualisation.

The analysis of references on construction of three-dimensional phase portraits of dynamic systems is resulted and the circle of actual problems for research comes to light.

The model of thermal dynamics of large-scale industrial is reactionary-reclaiming system with use of an example of process cracking oil is developed. The model representing systems of the differential equations of the third order, includes process temperature, residual impurity of the catalyst after regeneration and a quality indicator.

It is discussed methodological questions of construction of three-dimensional phase portraits, the method based on construction of chords, steady positions of balance connecting the centres of gravity is offered. Methodical aspects of application of numerical methods and carrying out of computing experiments are studied.

The question of creation of the stereo effects solving a problem of display of streams of three-dimensional trajectories on the screen of the monitor is brought up. The qualitative analysis of phase space of three-dimensional model of is reactionary-reclaiming system is carried out.

The problem of approximation of three-dimensional space of conditions of dynamic systems is developed, the method for the decision is offered. The problem of division into separate subareas is put forward. Convex separate areas for model of is reactionary-reclaiming system are defined. The decision of a problem of a triangulation of convex surfaces of the division is given by the connected visualisation of management.

Algorithms of visualisation of management, in particular the control of preferences, transfer of system from area of an attraction of one positions of balance in area of an attraction of others are developed. Complexes of the programs focused on means of package MATLAB are resulted.

На правах рукописи

ГАСАН АЛИ оглы НАГИЕВ

**КАЧЕСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ
НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ
ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПРОЦЕССА
КРЕКИНГА НЕФТИ)**

Специальность: 1203.01- Компьютерные науки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора
философии по технике

БАКУ – 2014 г.