

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

REAL VAXT REJİMİNDƏ KOMPÜTER SİSTEMİNİN SİMULYASIYASIYASI ƏSASINDA KARBOHİDROGENLƏRİN DEHİDROGENLƏŞDİRİLMƏSİ PROSESLƏRİNİN OPERATİV İDARƏETMƏ MƏSƏLƏLƏRİ

İxtisas: 3337.01 İnformasiya- ölçmə və idarəetmə sistemləri
(Kimya sənayesində)

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Nübar Əlimurad qızı Quliyeva**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2024

Dissertasiya işi Sumqayıt Dövlət Universitetinin Avtomatika və idarəetmə kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: texnika elmləri doktoru, professor
Əli Həsən oğlu Nağıyev

Rəsmi opponətlər: texnika elmləri doktoru, professor
Quluyev Qəmbər Ağaverdi oğlu

texnika elmləri doktoru, professor
Məmmədov Azər Qəhrəman oğlu

texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru,
dosent **Məmmədova Afaq Tofiq qızı**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri: texnika elmləri doktoru, professor

 **Nurəli Adil oğlu Yusifbəyli**

Dissertasiya şurasının
elmi katibi: texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Vahid Qara oğlu Fərhadov

Elmi seminarın sədri: texnika elmləri doktoru, dosent
 **Məzahir Məhəmməd oğlu İsayev**



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Polidispers katalizatorun qaynar təbəqəsində həyata keçirilən karbohidrogenlərin hidrotəmizləmə prosesləri aşağı və qismən orta alkenlər istehsalı üçün əsas üsul olaraq, müxtəlif polimerlərin əldə olunmasında mühüm rol oynayırlar.

Bu proseslər reaktor ilə regenerator arasında katalizator kütləsinin dövranı ilə xarakterizə olunan mürəkkəb texnoloji blokda həyata keçirilirlər. Bu proseslərin idarəetmə obyektləri baxımından spesifik xüsusiyyətləri onlara xas bir sıra cəhətlərdən irəli gəlir ki, bu kritik xassələrin çoxu qeyd olunan iki reaksiya aparatının vəhdət təşkil etməsi ilə, yəni onların maddə və istilik balansını cəhətdən düz və əks əlaqədə olması ilə bağlıdır.

Katalitik dehidrogenləşmə prosesləri nəticəsində katalizator məsamələrini koks ilə bloklanması baş verir. Bu zaman reaksiya mühitində qalma müddəti qədər kiçik müddət ərzində katalizator öz aktivliyini itirir. Məhz bu səbəbdən katalizator məsamələrində toplanmış koksün dövretdirmə texnologiyası əsasında paralel fəaliyyət göstərən digər aparatda $T=650-670^{\circ}\text{C}$ temperaturda yandırılmasına ehtiyac yaranır ki, yanmaya həmçinin məsamələrə adsorbsiya olunmuş xammal və reaksiya məhsulları da məruz qalır. Yanmadan əldə olunan istilik miqdarı sistemin istilik balansının əsas hissəsini təşkil etdiyindən sistem energetik avtonomluq xassəsi kəsb edir.

Aşkardır ki, reaksiya sürətləri, o cümlədən koklaşma reaksiyası sürəti temperaturdan arrenius asılılığında olduğundan reaktorda endotermik, regeneratorada isə ekzotermik reaksiyalar arasında özünəməxsus dinamik əlaqələr meydana çıxır. Bu əlaqə operativ nəzarəti xeyli dərəcədə çətinləşdirir – hər hansı bir aparatda hətta kiçik dəyişiklik sistemin “sönməsi” və ya “qəza alışıması” kimi kritik hallara gətirə biləcək qədər böyük meyletmələrə səbəb ola bilər.

Baxılan prosesin idarəetmə obyektini kimi özəl cəhətləri ilk olaraq bu spesifikadan yaranmışlar ki, bu səbəbdən reaktor və reqeneratordakı proseslər ayrılıqda nəzərdən keçirilə bilmirlər. İdarəetmə məsələsi vəhdət halında ümumsistem dinamikasının nəzərə alınması ilə qarşıya qoyulub, öz həllini tapmalı olur.

Digər spesifik katalizatorun koklaşma dərəcəsinin fiziki olaraq ölçülməsinin bu günə qədər öz həllini tapmamasıdır. Yüksək temperatur şəraiti, katalizator zərrelərinin abraziv təsiri və qətranlı mühit koklaşmanın birbaşa ölçülməsini həyata keçirən ölçü cihazının yaradılması qarşısında ciddi maneə olaraq bu günə qədər qalmaqdadır. Dünya praktikasında yalnız dolayı qiymətləndirmə (virtual ölçmə) metoduna istinad olunma cəhdləri formalaşmışdır ki, bunların effektivliyi arzu olunandan çox aşağı sayılır.

Hal-hazırda baxılan proseslər üçün dünya praktikasında həm ölçmə və həm də idarəetmə sahələrində həll olunmamış problemlər mövcuddur. Bununla əlaqədar olaraq lokal tənzim sistemlərinin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması xüsusi diqqət mərkəzində olsa da, bunun bir yanaşma olaraq idarəetmə probleminin tam həllinə təminat verməyəcəyi də özünü göstərməkdədir. İdarəetməyə global model əsasında yanaşma istənilən halda lokal tənzimləyicilərin mövcudluğunu da istisna etməsə də, məsələyə kompleks yanaşmanın zərurəti özünü aşkar göstərir.

Beləliklə, bu müddəalar obyektin qeyri xətti və global model əsasında vəziyyət dəyişənlərinin geniş diapazonda idarə olunma texnologiyasının işlənilməsinə yönəldilmiş tədqiqatın aktual olduğunu göstərir.

Tədqiqatın obyektini və predmetini. İşdə tozşəkilli (mikrosferik) katalizatorun fasiləsiz regenerasiyası şəraitində qaynar təbəqə rejimində paralel aparılan iki müxtəlif kimyəvi prosesi əhatə edən reaktor-regenerator (RR) bloku nəzərdən keçirilir. Periodik rejimə aparılan karbohidrogenlərin dehidrogenləşmə (KD) proseslərindən fərqli olaraq, bu texnologiyada proseslər fasiləsiz istehsal rejimində xammalın dövrü axını şəraitində həyata keçirilir. Sənaye miqyasında

bu texnologiyadan istifadəyə nümunə kimi butanın, izobutanın və izopentanın RR sistemində dehidrogenləşmə prosesləri göstərilə bilər.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Tədqiqatın məqsədi KD proseslərini həyata keçirən RR bloklarının istilik vəziyyətlərinin dinamikasının riyazi modelinin işlənməsi və bunun əsasında sistemin istilik rejimlərinə dinamikada nəzarət və idarəetmə məsələlərinin həllidir.

İki müvafiq aparatın çıxışında katalizatorun kokslanma dərəcəsinin riyazi modelləşdirmə əsasında virtual qiymətləndirilməsi, lokal nəzarət probleminin həlli, vəziyyət dəyişənlərinə geniş diapazonda nəzarət və idarəetmə məsələlərinin həlli tədqiqatın məqsədini təşkil edir.

Tədqiqat metodları. Tədqiqatda fiziki və kimya-texnoloji proseslərin riyazi modelləşdirilməsi üçün effektiv metodologiya olan maddə və istilik balansı kinetika tənliklərinin qurulması, diferensial tənliklər nəzəriyyəsi, idarəetmə və dayanıqlıq nəzəriyyələri, dinamik sistemlərin identifikasiyası üsulları və real vaxt rejimində simulyasiya üsullarından istifadə edilmişdir.

Müdəfiyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. KD proseslərinin RR bloklarının idarəetmə məqsədi daşıyan kinetik modelinin riyazi quruluşu.

2. Qaynar təbəqə texnologiyası əsasında qurulmuş RR sistemlərində həyata keçirilən karbohidrogenlərin katalitik dehidrogenləşməsi proseslərində katalizatorun koklaşma dərəcəsinin virtual rejimdə ölçülmə məsələsinin qoyuluşu.

3. Xüsusi növ meyletmə funksiyalarının daxil edilməsi hesabına həm statik rejimləri, həm də keçid proseslərini əskətdirən statistika əsasında dinamika modelinin parametrik identifikasiya məsələsinin həll üsulu.

4. Mürəkkəb dinamik sistemlərin qeyri-xətti riyazi modeli əsasında real vaxt rejimində idarəetmə alqoritmləri.

Tədqiqatın elmi yenilikləri:

1. KD proseslərinin RR bloklarının dinamik vəziyyətlərinin idarə edilməsi üçün qeyri-xətti istilik modelin riyazi quruluşu.

2. KD proseslərinin dinamika modeli əsasında ölçülə bilən koordinatlarının bir hissəsinin cari sensor informasiyasından istifadə olunaraq sistemin fiziki ölçülə bilməyən digər koordinatlarının dolaylı ölçülmə üsulu.

3. Yüksək məsaməli mikrosferik (tozvari) bərk katalizatorun məsaməli strukturunun fraktal təsviri əsasında kanallarda koks çöküntülərinin əmələ gəlmə modelinin yaradılması.

4. Sınaq impulsları paketinin formalaşdırılması əsasında KD prosesi RR blokunun istilik modelinin parametrik identifikasiyasının iki kriteriyalı məsələsinin tərtibi və həlli.

5. KD prosesinin idarə olunmasında vizuallaşdırma probleminin həlli üçün dinamika modelinin tərtibinin bir faza koordinatının avtonom tənzimlənməsi əsasında azaldılması.

6. KD prosesləri RR blokunun istilik koordinatlarının böyük meyletmələrinə nəzarət və idarəetmə məsələsinin qoyuluşu.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. İzobutanın izobutilenə dehidrogenləşməsi prosesi nümunəsində katalizator da koksün çökməsi və yandırılaraq təmizlənməsi proseslərini birləşdirən sistemin riyazi modeli alınmışdır. Tətbiq olunan metod və alqoritmlər oxşar reaktor-regenerasiya sistemlərinin idarə edilməsində bir nümunə olaraq istifadə oluna bilər. Alınan nəticələrin qaynar təbəqə rejimli digər proseslərin də istilik dinamikasının real vaxt rejimində monitorinqi üçün tətbiqi oluna bilər.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin əsas müddəaları Sumqayıt Dövlət Universitetinin Elmi Şurasının iclaslarında, həmçinin aşağıdakı elmi-texniki konfrans və forumlarda müzakirə edilmişdir: Akademik Toğrul Şaxtaxtinskiyin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika elmi konfransı, Bakı, 2015; 2017-ci ildə Ufa şəhərində keçirilmiş Beynəlxalq Elmi konfransı; Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI Respublika elmi Konfransı, Bakı, 2017;

İnformasiya sistemləri və texnologiyalar nailiyyətlər və perspektivlər- Beynəlxalq elmi konfransın materialları, Sumqayıt, 2018; İnformasiya sistemləri və texnologiyalar nailiyyətlər və perspektivlər. Beynəlxalq elmi konfransın materialları, Sumqayıt, 2020, Riyaziyyatın və Yeni İnformasiya Sistemlərinin Tətbiqi Problemləri. IV Respublika Elmi Konfransı, Sumqayıt, 2021.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.

Dissertasiya işi Sumqayıt Dövlət Universitetinin Avtomatika və idarəetmə kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsil, nəticə, istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı və əlavələrdən ibarətdir. İşin əsas məzmunu 178 səhifə, 29 şəkil və 7 cədvəldə öz əksini tapır. Ədəbiyyat siyahısında 116 adda mənbə göstərilmişdir. Dissertasiya işinin ümumi və struktur bölmələrinin işarə ilə həcmi təqribi olaraq aşağıdakı qaydada paylanmışdır:

Ümumi – 182418 işarə; Giriş - 6044 işarə; Birinci fəsil – 27954 işarə; İkinci fəsil –64788 işarə; Üçüncü fəsil –72320 işarə; Dördüncü fəsil – 43983 işarə; Nəticə -2630 işarə.

İŞİN MƏZMUNU

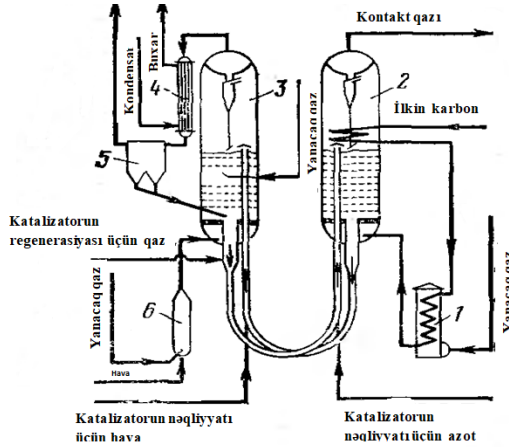
Girişdə dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsədi şərh olunmuş, həlli tələb olunan əsas məsələlər müəyyən edilmiş, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar göstərilmiş, alınmış nəticələrin elmi yenilikləri və praktiki əhəmiyyəti göstərilmişdir.

Birinci fəsildə KD proseslərinin kimyəvi mahiyyətinə və bu proseslərin modelləşdirilməsi və idarə edilməsi sahəsində ədəbiyyat mənbələrinə, xüsusən də katalizatorun qaynar təbəqəsində izobutanın dehidrogenləşməsi prosesinin şərhinə həsr edilmişdir.

Karbohidrogenlərin qaynar təbəqədə dehidrogenləşməsi üçün katalitik proseslərin həyata keçirilməsinin texnoloji xüsusiyyətləri. İdarəetmə problemlərinin həlli üçün elmi mənbələrin təhlili.

Karbohidrogenlərin katalitik dehidrogenləşməsi (KD) prosesləri RR sistemlərində həyata keçirilən kimyəvi proseslər sinfinin ən çox diqqəti çəkən nümunələrindən biridir. Karbohidrogen xammalının narın dənəli katalizatorla təması ən optimal olduğuna əsaslanaraq, katalizatorun qaynar təbəqə halına gətirilmə (QR) texnologiyasını həm reaktorda, həm də regeneratorda tətbiq etmək lazım gəlir. Xammalın kifayət qədər yüksək sürətlə getməsi, katalizatorun tez kokslanması və aktivliyinin azalması ilə müşayiət olunur ki, bu da onun yandırılaraq regenerasiyası ilə paralel olaraq təmizlənməsini zəruri edir. Katalizatorun təmizlənmə prosesi QR-də, onun reaktor ilə regenerator arasında dövrüyyəsi sistemində baş verir. Bu isə baxılan sistemlərin əsas xüsusiyyətidir ki, RR qurğusunun istilik rejimlərinin nəzarət və idarə edilməsində bir sıra spesifik problemlərin meydana çıxmasına səbəb olur.

Şəkil 1-də alkanların (butan, izobutilen, izopentan) dehidrogenləşdirilməsi üçün geniş istifadə edilən dizaynlardan biri göstərilir. Burada katalizator eyni tipli, yəni U-şəkilli borularla reaktordan hava ilə regeneratorda, geriyə isə xammalın və azotun köməyi ilə aparatlara daşınır.



Şəkil 1. U-şəkilli nəqliyyat xətləri ilə alkanların dehidrogenləşdirilməsi üçün qurğu

Texnoloji sxemin mürəkkəbliyi ilə bağlı texniki çətinliklər, ilk növbədə, avtomatik idarəetmə məsələsinin həllinə öz şərtini irəli sürür. Katalizatorun koklaşma dərəcəsinə operativ nəzarət mühüm texnoloji ölçmələrdən biri olaraq, həlli texniki cəhətdən çətin olan problemi təşkil edir. Katalizatorun reaksiya aparatında orta qalma müddəti 10-16 dəqiqədir və bu müddət ərzində katalizatorun vəziyyətinin qiymətləndirilməsi heç bir hiss olunan gecikmə olmadan aparılmalıdır. Aydındır ki, bu problem yalnız axın xəttlərində yerləşdirilən operativ ölçmə vasitələrindən istifadə yolu ilə həll edilə bilər. Lakin mühitin yüksək temperaturu və aqressivliyi səbəbindən yaradılması bu günə qədər problemlə olaraq qalan müvafiq ölçmə vasitələrinin yaradıla bilməməsi prosesin idarə edilməsində əsas çətinliyi təşkil edir.

Bununla əlaqədar olaraq elmi ədəbiyyatda bəzi müəlliflər RR sisteminin istilik vəziyyətlərinin sabitləşdirilməsi problemini həll etmək üçün xətti avtomatik idarəetmə sisteminin tənzimləmə parametrlərinə roblast nəzarət məsələsini, Kalman filtrasiya strategiyasını irəli sürürlər.

Elmi-texniki ədəbiyyatda PİD nəzarəti əsasında xətti sistem ilə rejimin sabitləşdirilməsi məsələləri işıqlandırılır. Bu sistemlərdə proqramlaşdırılan məntiqi kontrollerlər (PMK) və SCADA sistemlərinə müraciət diqqəti cəlb edir.

İdarəetmənin vizuallaşdırılması mövzusunda gəldikdə, sənaye avtomatlaşdırılmasında proqramlaşdırılan məntiqi kontrollerlərdən (PMK) istifadə təcrübəsi son vaxtlar xüsusilə real vaxt rejimində idarəetmə prosesinin gedişinə dinamikada nəzarət baxımından xeyli dərəcədə mükəmməlləşmişlər.

Reaktor-regenerator tipli kimya-texnoloji sistemin məlum idarəetmə model nümunələr

Katalizator dövranı RR sistemlərinin modelləşdirilməsində Qahirə Universitetinin professoru S.S. Əl-Naşainin təklif etdiyi kompleks yanaşma sonrakı tədqiqatlara bir təkan olmuşdur. Dehidrogenləşmə proseslərinin kinetikasi Ölkəmizin kimya mühəndisləri tərəfindən ətraflı öyrənilmişdir. Prosesin kinetik mexanizminin öyrənilməsi prosesin optimal rejim şəraitində aparılmasını təmin etməklə bərabər, həm də koks əmələ gəlmə qanunauyğunluqlarının öyrənilməsini təmin etmişdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, apardığımız tədqiqatda qaynar təbəqələr üçün qəbul edilmiş psevdohomogen reaksiya şəraiti fərziyyəsi məhz yuxarıda göstərilən elmi konsepsiyalardan başlanğıc götürür.

Riyazi modelləşdirmə sahəsində xüsusi istiqamət olaraq diqqəti çəkən informasiya aspektinin ön sıraya çəkilməsi texniki kibernetika və idarəetmə elminin əldə etdiyi nailiyyətlərlə bağlıdır.

Bu baxımdan RR sisteminin idarə olunmasında modelləşdirmə, situasiyaya görə idarəetmə və qeyri-səlis məntiqdən istifadə konsepsiyası diqqəti cəlb edir. Qeyri-səlis məntiq paradixmasının regeneratorda qaynar təbəqə rejimlərinin pozulmasına səbəb ola biləcək kritik vəziyyətlərin baş vermə ehtimalının qiymətləndirilməsinə həsr edilən bir sıra məqalələr də öz orijinal yanaşmaları ilə diqqəti cəlb edirlər.

Beləliklə, elmi ədəbiyyat təhlilindən çıxarılan nəticə kimi aşağıdakı bir sıra aspektlərə diqqət yetirilməlidir.

1. Aşağı və orta karbohidrogenlərin, o cümlədən izobutanın dehidrogenləşdirilməsi proseslərinin həyata keçirildiyi RR bloklarının konstruktiv-texnoloji ümumiləşdirilməsi olaraq U-şəkilli nəqliyyat xəttli modelin qəbul edilə bilər.

2. Katalizatorun koklaşma dərəcəsinin hər iki aparatın çıxışında abraziv təsir və yüksək temperatur şəraiti ilə əlaqədar fiziki ölçülməsi texniki problemlə qarşılaşır ki, bu kəmiyyətlərin real vaxt rejimində model qiymətləndirilməsinə zərurət yaranır.

3. Məhz RR bloklarında baş verən müxtəlif proseslərin kvazistasionarlıq əlamətlərinin nəzərə alınması nəticəsində riyazi modeldə koks əmələ gəlmə modelinin statik kinetik asılılıq şəklində, regenerasiya prosesinin isə yanma modeli əsasında diferensial tənliklər sistemi formasında ifadə etmək özünü doğrulda bilir.

4. Real şəraitdə fəaliyyət göstərən sənaye sisteminin riyazi modelləşdirilməsi yalnız konkret sənaye qurğusunun məlumatlarına əsasən parametrik identifikasiyaya olunduqda özünü doğrulda bilər. Parametrik identifikasiya probleminin həlli üçün aktiv eksperimentlərin aparılması elmi ədəbiyyatda demək olar ki, işlənilməmiş olduğuna baxmayaraq bu sahədə konkret hesablama eksperimentlərinin nəticələri belə bir identifikasiya istiqamətinin perspektivli olacağına əminlik yaradır.

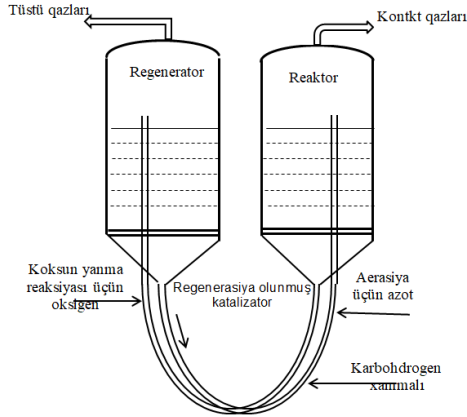
İkinci fəsil RR sistemlərində həyata keçirilən karbohidrogenlərin dehidrogenləşdirilmə proseslərinin riyazi modelləşdirilməsinə həsr olunur.

PROSESİN RİYAZİ MODELƏŞDİRİLMƏSİ.

Ümumiləşdirilmiş RR blokunun struktur sxemi. Faza koordinatların təsnifatı.

Katalitik KD prosesləri struktur olaraq iki reaksiya aparatının maddə və energetik baxımdan katalizator dövrəni ilə qarşılıqlı dinamik əlaqədə birləşməsi və vətdət yaratması kimi təsvir oluna bilərlər (şəkil 2). Burada katalizator axınının həlledici rolu reaksiya

nəticəsində koks əmələ gəlməsi və onun regenerasiyası zamanı böyük istilik ayrılması ilə müşayiət olunan aktivliyinin bərpası ilə bağlıdır. Katalizator aktivliyinin daha bir mühüm amili də vardır ki, bu katalizator matrisinə yeridilmiş xromun valentlik faktorudur.



Şəkil 2. Material axınları və sistemin əsas koordinatları baxımından reaktor və regeneratör arasında əlaqənin sadələşdirilmiş variantı

Regenerasiya zamanı yüksək temperatur şəraiti və oksigen mühitinin olması xromun oksidləşmə dərəcəsi baxımından valentinin yüksəlməsinə şərait yarada bilər (katalitik aktiv olan üç valentli oksiddir Cr_2O_3). Dezaktivasiyanın bu növü də özünü göstərir ki, riyazi model və idarəetmə məsələsində bu sevrilmə bilavasitə nəzərə alınmalıdır.

Vəhdət təşkil edən RR cütlüyünün idarəetmə modeli baxımından faza koordinatlarının aşağıdakı təsnifatını qeyd edək:

1. Giriş koordinatları. Bu texnoloji parametrlər həm idarəetmə, həm də operator-texnoloqun nəzarətində olan həyəcanlandırıcı təsir faktorunu, xüsusən də qurğuya verilən xammalın sərfini, və onun koks yaratma xassəsini əhatə edir. İdarə

edici parametrlər isə sistemdə katalizatorun dövr sürəti, regeneratordan qızdırılması üçün əlavə yanacağıın miqdarı, katalizatorun asan nəql edilməsi üçün nəqliyyat xəttində aerasiya üçün verilən azotun sərfini daxil edir.

2. Vəziyyətlər fəzası koordinatları. İstilik rejimi dinamikasının modeli dörd koordinatla kifayət qədər tam şəkildə göstərilə bilər:

- reaktorun və regeneratordan temperaturları;

-həmin aparatların çıxışlarında katalizatorun kokslaşma dərəcəsi.

Aparatlarda operativ temperaturun ölçülməsi heç bir çətinliklə qarşılaşmırsa, digər iki koordinatın operativ ölçülməsi bu işdə diqqət yetirilməli olan əsas vəzifələrdən birini təşkil edir. Təqdim olunan işin xüsusi bölməsi bu parametrlin fiziki ölçülməsi problemləri ilə bağlı məsələyə həsr edilmişdir. Burada yalnız onu qeyd etməklə kifayətlənirik ki, hal-hazırda bu koordinata operativ nəzarət etmək üçün texnoloji ölçmələr praktikasında effektiv üsul hələ də müəyyən olunmamışdır.

Qeyd etmək vacibdir ki, sadalanan bu dörd koordinat, RR blokunun istilik vəziyyəti fəzasını təşkil edir və onların sayı istilik dinamikasının idarə olunma məsələsinin qoyuluşundan irəli gəlmişdir. Belə ki, hər iki aparatın daxilində katalizator üzrə xromun valentlilik göstəriciləri istilik dinamikasına təsir etmədiyi üçün onlar baxılan modelin faza koordinatları kimi sistemə daxil edilməmişdir.

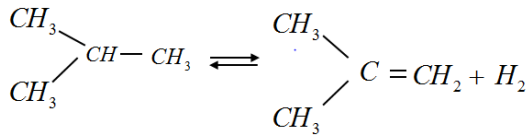
3. Çıxış koordinatları. Tədqiqat probleminin bu prinsip üzrə tərtibində çıxış koordinatları bir-birindən fərqli müxtəlif kriterilər əsasında formalıdır. Vəziyyət koordinatları ilə bağlı olan müxtəlif effektivlik göstəriciləri və məqsəd funksiyası ilə müəyyənləşən fiziki-kimyəvi parametrlər ola bilər. Məsələn, variantlardan biri hədəf məhsulun çıxımı ola bilər.

Aydındır ki, bu tədqiqat çərçivəsində əsas diqqət bu siyahının ikinci bəndinə, yəni istilik dinamikası baxımından faza koordinatlarına nəzarət probleminə yönəldilir, başqa sözlə RR sistemində dəqiq dinamik proseslərin riyazi modelləşdirilməsinə

yönəlmiş olur ki, idarətmə proseslərinin demək olar ki, əsas məsələləri bu model ilə əlaqədar öyrənilir.

İzobutanın dehidrogenləşməsi reaksiyası nümunəsində katalizator kokslaşmasının və xromun valent dəyişmə effektinin kinetik təsviri.

Kokslaşmanın kinetik asılılığını izobutanın izobutilenə çevrilmə nümunəsində şərh edək:



Göründüyü kimi, reaksiya nəticəsində hidrogen molekulu maddə tərkibindən ayrılaraq, daha yüksək reaksiya qabiliyyətli izobutilenin yaranmasına səbəb olur. Qeyd etmək vacibdir ki, baxılan reaksiya ilə yanaşı, burada yan reaksiyalar da baş verir ki, onların nəzərə alınması kokslaşma baxımından xüsusi olaraq diqqətə cəlb edir. Koks ağır karbohidrogenlərin və bilavasitə kömürün məcmusudur – orta çəki nisbəti C:H = 12-19 civarında dəyişir.

Koks çöküntülərinin əmələ gəlməsi reaksiyalarının kinetikasının təsviri üçün dissertasiyada verilmiş diferensial tənliklər sistemi şəklində dəqiq ifadələri ötürərək, burada yalnız formal ifadədən istifadə edək:

$$w_k = F_1(\bar{k}_k, T_1, v),$$

harada ki, \bar{k}_k – koks əmələ gəlməsi reaksiyalarının ümumiləşdirilmiş sürət əmsalı, T_1 – reaksiya zonasının temperaturu, v – koks əmələ gətirən reaksiyaların ümumiləşdirilmiş qatılığına ekvivalent kimi qəbul edilən xammalın reaktora daxil edilməsinin kütlə sürətidir.

Koksun yanma reaksiyası üçün sürət tənliyinin formal yazılışını aşağıdakı formada təqdim etmək məqsədəuyğundur:

$$v = F_2(k_2, T_2, f_o, v_2),$$

harada ki, $\nu, k_2, T_2, f_6, \nu_2$ – müvafiq olaraq katalizatorun regenerasiya reaksiyasının sürəti, ümumiləşdirilmiş sürət sabiti, regeneratordan temperaturu, regeneratordan hava axını və koksün yanma zonasına verilən qaz axınının kütlə sürətidir.

Katalizatorun regenerasiyası prosesində üçvalentli və altivalentli xromun qarşılıqlı dönən proses olduğunu nəzərə alaraq bu kinetik asılılıq aşağıdakı formada tərtib olunmuşdur:

$$\frac{dC_{Cr^{6+}}^{(2)}}{d\tau} = k_{+3} \exp(-E_2 / RT_2) C_{Cr^{6+}};$$

$$\frac{dC_{Cr^{3+}}^{(1)}}{d\tau} = k_{+6} \exp(-E_1 / RT_1) (1 - C_{Cr^{6+}}^{(1)}) C_{2,3};$$

burada $C_{Cr^{3+}}^{(1)}, C_{Cr^{6+}}^{(2)}$ – regeneratordan üçvalentli və altivalentli xromun konsentrasiyaları, k_{+3}, k_{+6} – müvafiq reaksiyaların sürət əmsalları; E_1, E_2 – koks əmələ gəlmə və yanma reaksiyalarının (katalizator aktivliyinin bərpası) aktivləşmə enerjiləri; R – universal qaz sabiti, τ – reaksiya müddətidir.

RR blokunun vəhdət halında maddə və istilik balanslarına əsaslanan istilik modelinin işlənməsi

Sistemin vəhdət halında dinamika modelinin qurulmasında aparatlar arası müxtəlif kanallar üzrə düz və əks əlaqə mexanizminin struktur cəhətdən təsvirindən tədqiqatda əsas yanaşma olaraq istifadə edilmişdir:

$$\begin{aligned}
G_1 \frac{dC_1}{dt} &= F_k (C_2 - C_1) - \phi_1(T_1, C_1, C_2, w) G_1; \\
G_2 \frac{dC_2}{dt} &= F_k (C_1 - C_2) + \phi_2(T_2, C_2) G_2; \\
G_1 c_k \frac{dT_1}{dt} &= F_k c_k (T_2 - T_1) - \phi_1(T_1, C_2, w) q_2 G_1 + \\
&\quad + c_{raw} F_{raw} (T_{raw} - T_1) + k_{en} S_1 (T_{en} - T_1); \\
G_2 c_k \frac{dT_2}{dt} &= F_k c_k (T_1 - T_2) + \phi_1(T_2, C_1) q_1 G_2 + q_3 F_{fu} + \\
&\quad + q_4 \delta F_k + F_{air} c_{air} (T_{air} - T_2) + k_{en} S_2 (T_{en} - T_2);
\end{aligned} \tag{1}$$

Burda C_1, C_2, T_1, T_2 – reaktorda və regeneratorda koks konsentrasiyaları və temperaturalar; F_k, F_{air}, F_{raw} – katalizatorun, regeneratorda verilən havanın və reaktora verilən xammalın kütlə axın sürətləri; $k_{en}, S_1, S_2, G_1, G_2$ – ətraf mühitə istilik ötürmə əmsalı, reaktor və regeneratordan mühiti ilə təmas sahələri, və müvafiq reaksiya aparatlarındakı katalizatorun kütləsi; C_k, C_{raw}, C_{air} – katalizatorun, xammalın və havanın istilik tutumu; $\phi_1(T_1, C_2, w), \phi_2(T_2, C_2)$ kinetik asılılıqları Arrhenius formasında təsvir edilən funksiyalar olub, koks əmələ gəlmə və yanma reaksiyalarının sürətlərini ifadə edirlər; q_1, q_3, q_4 – koksun, adsorbsiya olunmuş karbohidrogenlərin və yanacaq qazının istilik törətmə qabiliyyəti; q_2 – dehidrogenləşmə reaksiyasının istilik effekti.

Qeyd edək ki, (1) bəndində koks əmələ gəlməsi və katalizatorun aktivliyinin bərpasını əks etdirən sürət funksiyaları aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\begin{aligned}
\phi_1(T_1, C_1, C_2, w) &= k_{01} \exp(-E_1 / RT_1) \frac{\alpha w C_1}{1 + \exp(-\beta C_2)}; \\
\phi_2(T_2, C_2) &= k_{02} \exp(-E_2 / RT_2) C_2^\eta; \eta = 1.0 - 1.4
\end{aligned} \tag{2}$$

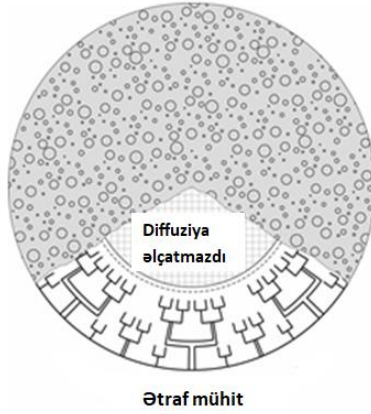
Burada w – xammalın verilməsinin çəki sürəti; α, β, η – sabit ədədlərdir.

RR sisteminin istilik rejiminin dinamikasının riyazi strukturu katalizatorun səthində və ya məsamələrində çökən koksun oksidləşmə reaksiyalarını heç cürə fərqləndirmir. Qaynar təbəqə modelinə uyğun olaraq reaksiya mühitinin kvazihomogen təsvirinə əsaslanaraq, həmin reaksiya sürəti üçün yekun sürət ifadəsi tərtib edilir. Yalnız xüsusi rejimlərdə, yəni regeneratordan əlavə qaz hesabına qızdırılması zəruri olduqda mürəkkəbləşdirilmiş kinetik təsvirdən istifadə olunur ki, bunun üçün tədqiqatda səthi prosesləri məsamədaxili proseslərdən fərqləndirməyə imkan verən “psevdo kanal” anlayışından istifadə olunur. Psevdo kanal konsepsiyası katalizatorun məsaməli strukturunun fraktal analizinə əsaslanır. İşdə fraktal konsepsiyası əsasında məsaməli bərk katalizatorun xaotik məsamə strukturu üçün dendrit modeli təklif olunur və bu modelə uyğun fraktal parametrlərinin müəyyənləşdirilməsinə imkan verən metodikadan istifadə olunur.

Koklaşma prosesinin katalizator məsamə strukturunun fraktal təsviri əsasında modelləşdirilməsi

Tədqiqat işində katalizator üzərinə koks çökmə proseslərinin və oksidləşmə yolu ilə katalizatorun aktivliyinin bərpası reaksiyalarının sürətləri stoxastik həndəsi strukturların fraktal təhlilinə də ayrıca diqqət yetirilir. Fraktal konsepsiyasının istifadəsi məsaməli mühitin makro, mezo və mikro kanallarında molekulyar diffuziya proseslərinin təsvirində effektiv üsul kimi özünü göstərir.

Bu baxımdan, ədəbiyyatda bərk materialın məsamə sisteminin dendrit modeli kimi tanınan hipotetik strukturun çox effektiv olduğu ortaya çıxdı. Bu hipotetik, həndəsi konstruksiyadan istifadə edərək və mücərrəd “psevdo-kanal” modelinə əsaslanaraq, məsaməli materialın dərinliklərində bəzi kütlə ötürmə əmsallarını hesablamaq üçün düsturdan istifadə olunur. Aşağıdakı həndəsi model katalizator zərrəsinin məsamə strukturunu statistik mənada kifayət qədər dolğun əks etdirmə imkanına malikdir.



Şəkil 3. Məsaməli katalizatorlarda hipotetik dendrit strukturlarının sxematik təsviri

Maddə kütlə ötürmə əmsallarını qiymətləndirmək üçün aşağıda verilən həndəsi-fraktal yanaşmadan istifadə olunmuşdur.

ℓ uzunluğa malik kanalların perimetr cəmləri $\Pi'(\ell)$ ilə, kəsiklərin sahələri $S'(\ell)$ ilə, ℓ uzunluğu olan budağın həcmi $V'(\ell)$ ilə ifadə etməklə silindrik kanalın uzunluğunun radiusa nisbətini $r = b\ell$ ilə ifadə edilərsə, bu düsturları adekvat fraktal kəmiyyətlər kimi qəbul etmək olar:

$$\Pi'(\ell) = \frac{2\pi\ell}{b} \left(\frac{\ell_0}{\ell} \right)^{D_1} \quad (3)$$

$$S'(\ell) = \frac{\pi\ell^2}{b} \left(\frac{\ell_0}{\ell} \right)^{D_2} \quad (4)$$

$$V'(\ell) = \frac{\pi\ell^3}{b^2} \left(\frac{\ell_0}{\ell} \right)^{D_3} \quad (5)$$

harada ki, D_{Π}, D_S, D_V qeyd olunan həndəsi kəmiyyətlərə görə fraktal

 l c l ri olub, $a = \frac{r_{n+1}}{r_n} = \frac{\ell_{n+1}}{\ell_n}$, $\frac{r_n}{\ell_n} = b$, $\frac{\chi_{n+1}}{\chi_n} = c$ nisbət parametrlərinə nəzərən aşağıdaki ifadələrlə hesablanır:

$$D_V = 3 + \frac{\ln c}{\ln a}; \quad D_S = 2 + \frac{\ln c}{\ln a}; \quad D_{\Pi} = 1 + \frac{\ln c}{\ln a}.$$

Sonuncu ifadələrdə r_n, ℓ_n – silindrik kanalın radiusu v  uzunluğunu; χ_n – dendritin gövdəsindəki budaqların sayını; n – dendrit strukturunda “nəsillərə” verilən  rti n mr ni iad  edir.

(3)–(5) ifadələri kanal  l c l rinin funksiyası olaraq maddə k  c r lm sində diffuziya l ngiml rinin qiymətləndirilməsinə xidmət edir. Başqa sözlə, həcm və ya səth üzrə molekulyar diffuziyaya məhdudiyət n  qədər böyükdürsə, yanma reaksiyası  c n kanalın dərinliyinə oksigenin çatdırılma  raitinin pisləşməsi də bir o qədər nəzərə çarpan olacaqdır.

Regeneratorun əlavə qaz yanacağı ilə qızdırılma rejimlərində istilik dinamikası modeli.

İdar tm  prosesində regeneratara əlavə olaraq müəyyən miqdarda qaz yanacağının daxil edilməsi zərurəti yaranan situasiyalar mövcuddur. Bu hallarda yalnız hidrodinamik vəziyyət dəyişmələri deyil, həm də yanma reaksiyası  c n oksigen balansında ciddi dəyişikliklər meydana  uxur. Belə ki, nominal rejimlərdə reaksiya mühitində oksigen artıqlığı olduğı halda, bu rejimdə, indi əksinə, yanma prosesində oksigen defisiti özünü göstərir. Bu vəziyyət yanma proseslərinin riyazi yazılışının strukturuna yenidən baxılmasını tələb edir, yəni artıq qaynar təbəqədə iki fazanın m vcudluğı nəzərə alınmalı olur ki, bu fazalardan biri sıx faza, yəni hava qabarcıqlarının olmadığı faza müstəqil surətdə nəzərdən keçirilməli və yanma prosesi bilavasitə modell şdirilm li olur. Digər faza – hava qabarcıqlarının təşkil etdiyi fazadır ki, orada yanma prosesləri və fazalar arası oksigen k  c r lm  effektləri h km n nəzərdə tutulmalı olur. Tənliklərin strukturu təkcə hidrodinamik vəziyyətin dəyişməsi səbəbindən deyil,

həm də bu iki faza üçün müxtəlif tənliklərin tərtib olunması ilə əlaqədar olaraq ciddi dəyişikliyə məruz qalmış olur.

Dissertasiya işində qaynar təbəqənin strukturunun sıx və seyrəkləşmiş fazalardan ibarət olması əsasında ayrılıqda seyrəkləşdirilmiş və sıx fazalar üçün diferensial tənlik modelləri tərtib olunur və situasiyaya görə idarəetmə konsepsiyası əsaslandırılır.

Üçüncü fəsildə RR bloku modelinin parametrik identifikasiyası əsasında sistemin statik və dinamik xüsusiyyətləri tədqiq olunur.

Sənaye qurğusunun məlumatlarına əsasən riyazi modelin parametrik identifikasiyası.

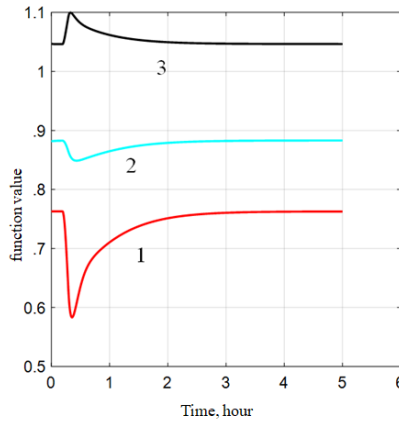
Qeyd olunmalıdır ki, sənaye miqyaslı RR sistemlərinin parametrik identifikasiyası sahəsində bir müsbət təcrübə mövcuddur ki, onun baxılan tədqiqatda nəzərə alınması çox effektivdir. Bu təcrübə aktiv təsirlərin sınaqdan keçirilməsi prinsipi kimi adlandırıla bilər. İdeya ondan ibarətdir ki, meyletmə funksiyası tarazlıq vəziyyətlərini əks etdirən statistik məlumatlar əsasında əldə edilən parametrik identifikasiya ilkin mərhələ olaraq qəbul edildikdə, sonradan onun bir sıra eksperimental keçid rejimlərinin dinamikası əsasında dəqiqləşdirilməsi çox müsbət nəticələr verə bilər. Daha öncə elmi ədəbiyyatda digər sistemlər nümunəsində öz müstət effektlərini sübut etmiş olan bu prinsipin baxdığımız tədqiqat obyektinin identifikasiyasında bir sıra texnoloji xüsusiyyətlərin nəzərə alınması ilə tətbiq edilməsi uğurlu nəticələr verə bilmişdir. Baxdığımız modelləşmə obyektini əlaqədar olaraq təklif etdiyimiz meyletmə funksiyası aşağıdakı şəkli almışdır:

$$R(p_1, p_2) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^{N_1} (y_{ij}^M(p_1, p_2, u_j) - \xi_{ij}^T)^2 + \alpha \cdot \sum_{i=1}^4 \sum_{n=1}^{N_2} [Y_i^M(p_2, u_n, t_n) - Y^T(t_n)]^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

harada ki, $p_1 \in P_1; p_2 \in P_2$ – müəyyən ediləcək identifikasiya parametrlər vektorları; y_{ij}^M, Y_i^M – müvafiq olaraq (1), (2) sisteminin dörd ölçülü vəziyyət vektorunun komponentləri və sınaq impulsundan sonra məcburi

hərəkəti əks etdirən vektor; ξ_{ij}^T – statistik məlumatların eksperimental qiymətləri; N_1 – müşahidələrin sayı (statistikanı təşkil edən toplum); M, T – müvafiq olaraq tənliklərdən hesablanmış və eksperimental qiymətlər; t_n – diskret zaman; $\alpha \in (0,1)$ – meyletmə funksiyasının statik və dinamik (keçid prosesləri baxımından) hissələri üçün prioriteti müəyyən edən çəki əmsalındır. Qeyd edək ki, identifikasiyada sağ tərəfləri sifirə bərabər edilən (1) diferensial tənlikləri və (2) statik asılılıqlar şəklində verilmiş modellərdən istifadə edilmişdir.

Statik vəziyyətlər çoxluğunda parametrik identifikasiya üçün adi passiv təcrübə statistikasına kifayət edirsə, dinamik vəziyyətlərin adekvat əks etdirilməsi üçün bir sıra kanallar üzrə keçid proseslərindən ibarət bir paket tərtib etmək lazım gəlir (şəkil 4).



Şəkil 4. Sistemdə katalizator dövriyyə sürətinin impuls şəklində azalmasına qarşı sistemin dinamikada reaksiyası:
1- regenerasiyadan sonra koksun konsentrasiyası; 2-reaktorda temperatur; 3- regeneratörün temperaturu

Qrafikdə göstərilən üç keçid prosesi aktiv təcrübə olaraq (6) ifadəsində p_2 identifikasiya parametrlər vektorunun korreksiyası üçün istifadə olunur.

RR blokunun istilik rejimlərinin lokal tənzimlənmə sistemləri üçün (1), (2) modeli əsasında ötürmə funksiyalarının əldə edilməsi

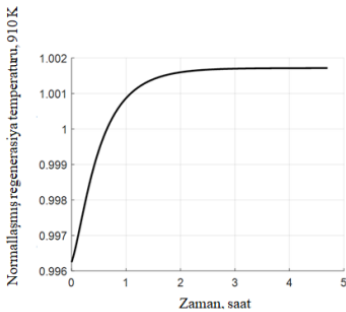
Sistemin dinamik modelinin (1), (2) şəklində olması onu müvafiq girişlərdə 5% -li “pillə” formasında xarici təsirə məruz qoyaraq, sistemin reaksiyasını asan bir şəkildə əldə etməyə və praktikada hər zaman texniki baxımdan asanlıqla əldə edilə bilməyən işəburaxma əyrisinin qurulmasına imkan yaradır.

Şəkil 5-də. (a, b əyriləri) regeneratora verilən havanın həcm sürətinin 5% amplitud ilə pilləli azalmasından sonra yeni stabil vəziyyətə keçidin qrafiki göstərilmişdir ($F_{raw}(t_0) = 1.15 F_{raw}^{nom}$). Digər qrafik xammalın reaktora daxil olma sürətinin 15%-li pilləvari azalmasına sistemin reaksiyasını (temperatur üzrə) (

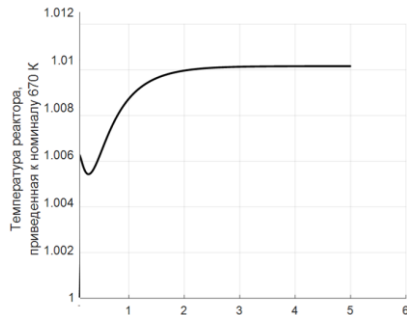
$$F_{raw}(t_0) = 1.05 \cdot F_{raw}^{nom}$$

əks etdirir.

Göründüyü kimi, 1,2-1,4 saat ərzində sistem yeni regenerasiya temperaturunun əsas hissəsini alır və sonra bu vəziyyət dəyişəninin artımı nəzərə çarpmır.



a)



b)

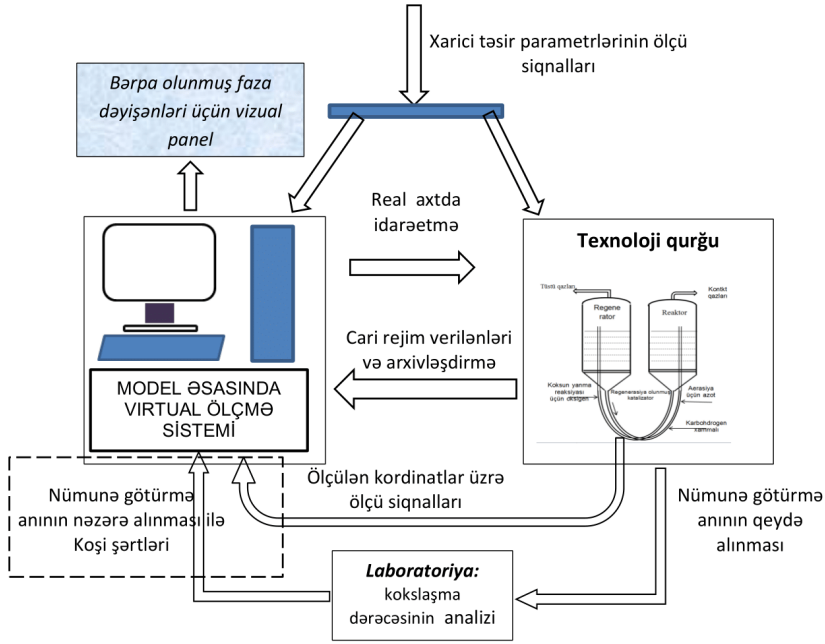
Şəkil 5. Regenerasiyaya verilən havanın həcm sürətinin 5%-li azalmasından sonra regeneratordan (a) və reaktorun (b) temperatur dəyişmələri

Dördüncü fəsil sistemin qeyri-xətti riyazi modeli əsasında RR blokunun istilik rejiminə nəzarət və idarəetmə probleminin həlli üçün alqoritmlərin işlənilməsinə həsr edilmişdir.

(1), (2) modeli əsasında katalizatorun kokslaşma dərəcəsinin operativ qiymətləndirilməsi.

Qeyd olunduğu kimi, katalizatorun kokslaşma dərəcəsinin bilavasitə (fiziki olaraq, ölçü cihazı ilə) operativ ölçülməsi öz həllini indiyədək tapmamış olaraq qalır. Aparatlarda yüksək temperatur, kokslaşma və abraziv aşınma mühitlərinin olması problemi daha da ciddiləşdirir.

Katalizatorun kokslaşma dərəcəsinin fiziki ölçülməsinə olan ehtiyac özünü bu qədər kəskin büruzə verdiyinə baxmayaraq hazırkı dövrdə hələ də bu mühüm kəmiyyətin dolayı qiymətləndirilməsinə müraciət zərurəti qalmaqdadır. Hərçənd, bəzi ədəbiyyat nümunələrində regeneratordan çıxan tüstü qazları tərkibində karbon və dəm qazları konsentrasiyaları əsasında dolayı olaraq qiymətləndirmə məsələsi qarşıya qoyulur, lakin qeyd olunan tərkiblərin məhz koksun yanması ilə bilavasitə korelyasiyada olması heç bir obyektiv faktlarla təsdiq olunmamışdır. Başqa sözlə, yanmada adsorbsiya olunmuş bütün digər karbohidrogenlərin də iştirak etməsi bir fakt kimi praktiki olaraq ölçmə-qiymətləndirmə metodu kimi bu təklifinin səmərəli olacağı ehtimalını həddən artıq aşağı salır.



Şəkil 6. Hər iki aparatda koklaşma dərəcəsinin operativ ölçülməsini təmin edən sistemin funksional-alqoritmik quruluşu.

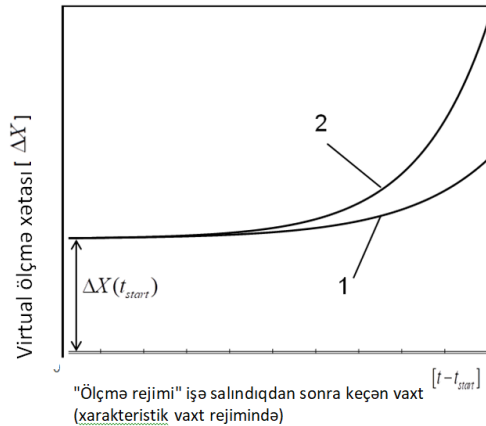
Virtual ölçmədə xəta mənbələrinin təhlili.

Aydındır ki, ölçmənin başlanğıc qiyməti laborator analizinə istinad etdiyi üçün ümumilikdə sistemin ölçü dəqiqliyinin maksimumu məhz laborator analizi ilə müəyyən olunur. Hesablama eksperimentləri ilə bağlı xətalara çüzi olduğunu nəzərə alsaq, görünür ki, riyazi model ilə yanaşı iki ardıcıl olaraq aparılan laborator qiymətləndirməsinə istinad edən Koşü məsələsi həlləri arasındakı zaman müddəti də iki əsas xəta mənbəyində biri kimi diqqət cəlb edir. Yəni diferensial tənlik başlanğıc şərtlərinin veniləşdirilməsi zaman üzrə uzaqlaşdıqca, “model-obyekt” sinxronlaşdırılması nəzərə alınmayan küylərin hesabına zəifləyir və bu, əlavə xəta mənbəyinə çevrilir $\varphi(\eta, \tau)$. Yekun xəta belə ifadə olunur:

$$\Delta Z(\eta, \tau) = \Delta Y \pm \varphi(\eta, \tau); \tau = t - t_{start}; \varphi = e^{\alpha\eta\tau}.$$

kimi göstərək, harada ki, ΔY – obyektin modelini; τ – başlanğıc nöqtəsi “ölçmə rejimi” startı anından götürülən cari zaman; t_{start} – “model-obyekt” sinxronləşmə anı; α – aproksimasiya edici əmsal; η – giriş vektoruna nəzərən siqnal-küy nisbətini göstərir.

Şəkil 7-də virtual ölçmə xətasının startdan sonrakı müddətdə xətasının artım diaqramı göstərilmişdir.



Şəkil 7. Virtual ölçməyə “model-obyekt” sinxronizminin zəifləməsini əks etdirən diaqram

Qeyd edək ki, RRB də aparılan KD proseslərinin yüksək ətalətliyi və həm də giriş vektorunu xarakterizə edən siqnal-küy nisbətinin yüksək olması katalizator kokslaşma dərəcəsinin operativ qiymətləndirilməsi məsələsini praktiki cəhətdən də təməmilə real edir.

Reaktor temperaturu ATS-nin tətbiqi ilə sistemin istilik modelinin sərbəstlik dərəcəsinin azaldılması.

Bu məsələ (1), (2) sisteminə daxil edilməmiş xarici təsir vasitəsindən stabilləşdirici amil kimi istifadə edərək dinamik modelin ölçüsünün azaldılması insan-maşın idarəetmə sistemlərində idarəetmənin vizuallaşdırma probleminin həllinə yönəldilmişdir. Qeyri-xətti sistemlərin idarə olunmasında xüsusi önəmə malik olan sistem dinamikasının

izlənməsi məhz üç ölçülü koordinat sistemində əyani təsəvvürlər əks etdirmə imkanına malikdir. Real vaxt rejimində idarəetmə proseslərinin vizuallaşdırılması üç ölçülü trayektoriyalar fəzasında önəmli informasiya mənbəyi kimi çox əhəmiyyətlidir.

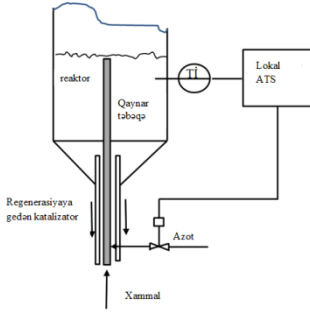
RR blokunun koordinatlarından birinin yüksək dəqiqliklə stabilləşdirilməsi, başqa sözlə, üç ölçülü fəza fəzasında dinamikamın izlənilməsi işəburaxma prosesinin idarə olunma praktikasına xüsusi əhəmiyyətli şərait yarada bilər.

Qeyd edək ki, reaktor temperaturunun stabil saxlanması (1), (2) sisteminin aprior olaraq üç ölçülü sistemə çevirir. Burada məsələ onunla bağlıdır ki, baxılan modelə daxil edilməmiş xarici idarə təsiri mövcuddur və onun təsiri avtonomluq xassəsi daşıyaraq, diferensial tənliyin heç bir xassəsini dəyişdirmir. Məhz bu texnoloji cəhət sistemin (həm real obyektin, həm də onun diferensial tənliyinin) ölçüsünün bir dərəcə azaldılmasına imkan yaratmış olur. Biz azotun nəqliyyat xəttinə daxil edilməsi üçün texnoloji xəttin mövcudluğuna diqqət çəkdik (şəkil 8 a).

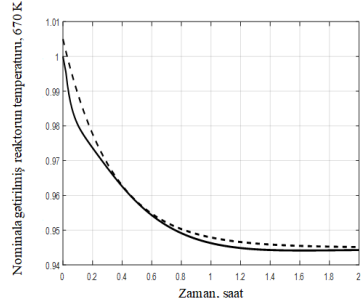
Şəkil 8b-də azot xəttinə 5%-li təkanın verilməsindən sonra reaktor temperaturunun keçid prosesi göstərilmişdir.

Reaktor temperaturuna kifayət qədər böyük təsir vasitəsi kimi bu kanal digər vəziyyət dəyişənlərindən və idarə edici parametrlərdən təmamilə təcrid olunaraq, avtonom şəkildə temperaturu stabilləşdirmə imkanına malikdir.

Azot sərfi ilə bağlı parametr texnoloji olaraq yalnız nəqliyyat xəttində tıxaclar yaranma ehtimalına qarşı yönəlmiş olduğundan riyazi modelə, sadəcə, daxil edilməmişdir. Digər tərəfdən azotun kimyəvi baxımdan tam passiv maddəni təşkil edərək, heç bir reaksiyada iştirakının olmadığı və ondan yalnız istilik balansı parametri kimi avtonom tənzimləmə sisteminin idarə təsiri olaraq istifadəni mümkün etmişdir.



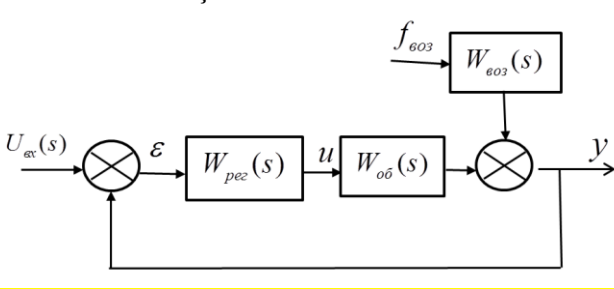
a)



b)

Şəkil 8. Nəqliyyat xəttinə verilən azotun sərfi ilə həyata keçirilən reaktor temperaturu ATS-in prinsipial sxemi və azot sərfi üzrə pilləvari təkana (1),(2) sisteminin reaksiyası (bütöv xətt) və onun eksponensial approksimasiyası (punktir xətt)

Şəkil 9-da reaktor temperaturunun stabiləşdirilməsini təmin edən əks əlaqə strukturu verilmişdir.



Şəkil 9. Reaktor temperaturu tənzim sisteminin strukturu

Sxemdə girişlərdən biri temperatura tapşırıq qiyməti, digəri isə əsas həyəcanlandırıcı təsiri ifadə edir. Hər iki kanal üzrə çıxış parametri y -in bu təsirlərə reaksiyası diqqət mərkəzindədir.

Tənzim qanunun müəyyən edilməsində əsas strategiya olaraq “sadədən mürəkkəbə” prinsipi rəhbər tutulmuşdur. Başqa sözlə qəbul

edilmişdir ki, baxılan kontekstdə hər hansı mürəkəbləşdirmə çıxarılacaq nəticənin əyaniliyini azaldaraq, özünü doğrultmaya da bilər.

Struktur sxemə müvafiq Laplas təsviri əsasında yazıla bilər:

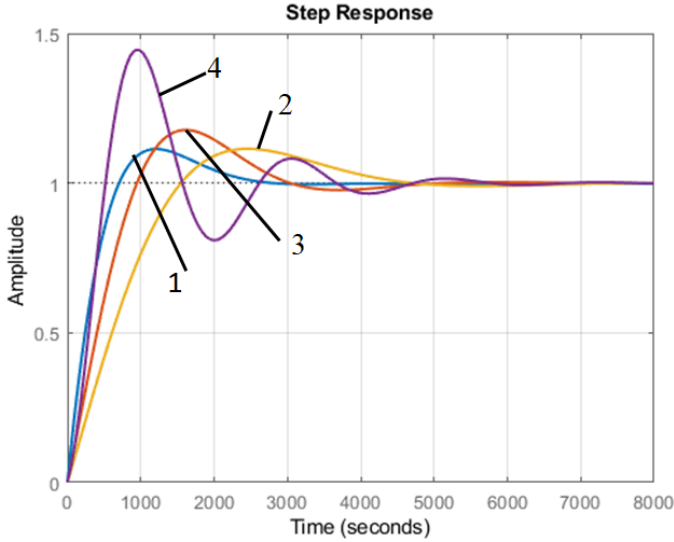
$$u(s) = \left(K + \frac{1}{T_u s} \right) \varepsilon(s) ; W_p(s) = \left(K + \frac{1}{T_u s} \right)$$

" $U_{ex} - y$ " kanalı üzrə qapalı sistemin ötürmə funksiyası:

$$G_z(s) = \frac{W_p(s)W_{o\delta}(s)}{1 + W_p(s)W_{o\delta}(s)} .$$

İfadədə $W_p(s)W_{o\delta}(s)$ hasilini aşağıdakı kimidir:

$$\begin{aligned} W_{ob}(s) \cdot W_p(s) &= W_0(s) = \left(\frac{k}{T^2 s^2 + 2T\zeta s + 1} \right) \left(K \cdot s + \frac{1}{T_u s} \right) = \\ &= \frac{KkT_u s + k}{T^2 T_u s^3 + 2T\zeta T_u s^2 + T_u s} . \end{aligned}$$



Şəkil 10. İdarə kanalı üzrə qapalı sistemin keçid prosesi

Aşağıda şəkil 10 –da idarə kanalı üzrə keçid prosesləri dörd variantda öz əksini tapmışdır. Göstərilən variantlar müvafiq olaraq mütənasib-inteqral tənzimləyicinin parametrlərinin aşağıdakı qiymətlərinə uyğundur:

1. $K = 2.55; T_u = 200;$
2. $K = 1,24; T_u = 300;$
3. $K = 0.85; T_u = 600;$
4. $K = 0,9; T_u = 100.$

Göründüyü kimi əks əlaqə dövrəsində inteqrallayıcı manqanın istifadə olunması ümumən keçid prosesinin rəqsi xarakter daşmasının qarşısını ala bilməmişdir. Lakin Pİ tənzimləmə sistemində müvafiq köklənmə parametrlərinin əlverişli variantda seçilməsi nəticəsində daha münasib keçid proseslərinin əldə edilməsi mümkündür.

Proqramlaşdırılan məntiq kontrollerlərindən istifadə etməklə vəziyyət dəyişənlərinə lokal nəzarət sistemlərinin işlənməsi

Bu bölmədə diqqət mərkəzi (1), (2) sisteminin vəziyyət koordinatlarının bir-biri ilə qarşıqıçlı əlaqədə olduğuna köçürülür. Bu baxımından avtonom idarə (stabilizasiya) olunma probleminə bir koordinatın stabilliyinin təminatı ilə digərlərinə interval məhdudluğu qoyulma məsələsi alternativ kimi irəli sürülür.

Faza koordinatlarına təsir kanallarının qismən məhdud olmasının mənfi təzahürü özünü məhz bu məsələnin həllində büruzə verir. Ümumi götürüldükdə, məlum olduğu kimi, bu məsələnin kompleks həlli yalnız bütün faza koordinatlarının fiziki ölçülən olması daxilində xəttilləşdirilmiş model əsasında çoxəlaqəli tənziqlənmə sistemləri sinfində həll oluna bilər. Nəzəri baxımdan bu məsələnin həllini xeyli dərəcədə mürəkkəbləşdirən cəhət təsir kanallarının sayının yetərinə olması tələbidir ki, bu kriteri avtonomluq şərti kimi elmi ədəbiyyatda özünü təsbit etmişdir.

Bu şəraitdə stabilizasiya məsələsini bir koordinat üçün qarşıya qoyaraq, məsələn, dolayı qiymətləndirilən koordinat üzrə əks əlaqə dövrəsi yaratmaqla digər koordinatlara intervaldan uzaqlaşma xəbərdarlığı formasında nəzarət sistemi tətbiq etmək yolundan istifadə oluna da bilər.

Qeyd edək ki, bu və ya digər faza koordinatlarına avtomatik nəzarətin təşkili proqramlaşdırılan məntiqi kontrollerlərin istifadəsi ilə çox effektiv sürətlə öz həllini tapa bilər.

SMATIK seriyalı proqramlaşdırılan məntiqi kontrollerlər əsasında katalizatorun regenerasiya dərəcəsinin stabilləşdirmə sistemi

Koklaşma dərəcəsinin operativ dolayı qiymətləndirmə məsələsinin uğurlu həlli RR blokunun bir sıra rejim parametrlərinin əks əlaqə dövrəsi yaratmaqla avtomatik stabilləşdirilməsinə real imkanlar açır.

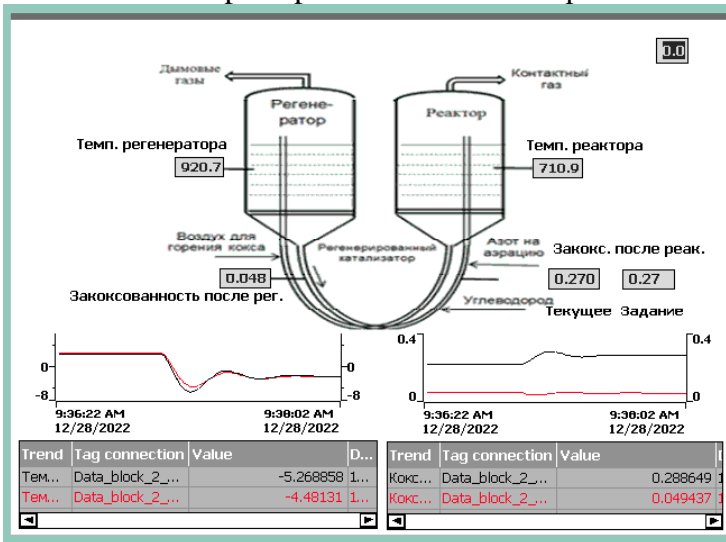
Bu parametrlər kimi bütün faza dəyişənləri, o cümlədən - reaktorda temperatur, regeneratorda temperatur, reaktorun çıxışında katalizatorun koklaşma dərəcəsi və regenerasiyadan sonra katalizator qalıq kokun miqdarı göstərilə bilər.

Qeyd olunan parametrlərin hamısı katalizatorun dövretmə sürətindən güclü asılıqda olduğu üçün axırını eyni zamanda yalnız bir parametrin tənziqlənməsində əks əlaqə konturu kimi istifadə etmək

mümkün ola bilər. Məsələn, reaktorda temperatur katalizatorun dövretmə sürəti hesabına tənzimlənəcəksə, bu zaman həm aparatların çıxışında koklaşmaya, həm də regenerasiya temperaturuna interval məhdudiyəti qoyulmalıdır, yəni “reqlamenti aşma siqnalizasiyası” yaradılmalıdır.

Dissertasiya işində tərkibində 5 müstəqil Network komponent olan LAD proqramlaşdırma dilində yazılmış proqram-funksiyalar verilmişdir ki, onun fəaliyyətinin əsasını “Screen” vizuallaşdırma mühitində tərtib olunmuş proqram təşkil edir. Belə sistemin ekran təsvir formatı şəkil 11-də göstərilmişdir.

Həmin tənzimləmə sistemlərinin koklənməsi və sistemin dayanıqlıq məsələlərinin həllinə gəldikdə isə qeyd edək ki, həm Matlab sisteminin “Simulink” əlavəsində, həm də Siemens şirkətinin proqramlaşdırma mühiti Simatic sistemində müvafiq modullar mövcuddur ki, onların istifadəsi ilə məsələnin prinsipial həllinə nail olmaq mümkündür.



Şəkil 11. Real zaman miqyasında ölçmə və rəqəmsal nəzarət funksiyalarını yerinə yetirmək üçün istifadə olunan

vizuallaşdırma prosesini həyata keçirən modulun Ekran (Screen) bloku

Onu da qeyd edək ki, adları çəkilən proqramlaşdırma mühitlərində yalnız bir konturlu ATS-lərin simulyasiyası və sintezi üçün standart bloklar nəzərdə tutulmuşdur. Məsələn, kaskad tənzimləmə standart prosedur kimi layihələndirilə bilmir. Bununla əlaqədar qeyd edək ki, bu sahədə müsbət təcrübə mövcuddur. Belə ki, bu məsələ Sumqayıt Dövlət Universitetinin bir qrup mütəxəssisləri¹ tərəfindən işlənmiş proqram məhsulundan istifadə edilməsi problemin tam həllinə nail olmağa imkan verə bilər.

DİSSERTASIYA İŞİNİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ

1. Ədəbiyyat təhlili göstərmişdir ki, faza dəyişənlərinin geniş diapazonunda KD proseslərinə nəzarət etmək üçün riyazi modelləşdirmə problemi hələ də işlənməmişdir.

2. Texnoloji prosesin istilik rejimlərinin idarə olunmasında müstəsna əhəmiyyəti olan, lakin fiziki ölçülə bilməyən katalizatorun kokslaşma dərəcəsinin dolayı olaraq model qiymətləndirmə məsələsi qarşıya qoyulmuş, əsaslandırılmış və metodik baxımdan işlənmişdir.

3. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, qoyulmuş ölçmə və idarəetmə probleminin həlli RR aparatlar blokunun birgə dinamika modelinin səmərəliliyindən bilavasitə asılıdır ki, bu məsələ reaktorda koks əmələ gəlmə endotermik, regeneratorda isə yanma ekzotermik reaksiyalarının kinetikasını əks etdirən diferensial tənliklər əsasında əldə oluna bilər.

¹ Алекперли, Ф.А., Аскерова С.Ф., Симуляция системы управления технологическими процессами и адаптация ее программного обеспечения к промышленным условиям // Вестник компьютерных и информационных технологий. –Москва: –2018, №9 (171),–с.39-48.

4. Sistemdə təcili qızdırılma ehtiyacının meydana çıxdığı bütün hallarda regeneratorda əlavə qaz yanacağına verilməsi ilə xüsusi rejim yaranır. Bu situasiyada riyazi model struktur dəyişikliyinə məruz qaldığı üçün situasiyaya görə idarəetmə məsələsinin həll olunması zərurəti yaranır.

5. Katalizatorun strukturunun məsaməli olması daxili mikroskopik kanallar vasitəsilə oksigen kütləsinin ötürülməsi proseslərinin nəzərə alınmasını zəruri edir. Təklif olunan modeldə katalizator strukturunun fraktal təsvirindən istifadə olunması öz səmərəsini vermişdir.

6. Karbohidrogen dehidrogenləşdirmə dinamika modelinin parametrik identifikasiyası üçün spesifik yanaşma ondan ibarətdir ki, burada parametrik identifikasiya həm qurğunun tarazlıq iş rejimlərinin məlumatlarına əsasən, həm də aktiv təsirlər əsasında yaradılan keçid proseslərindən istifadə əsasında həll edilir.

7. İdarəetmə prosesinin vizuallaşdırılması məqsədi ilə əlaqədar olaraq riyazi modelin tərtibinin üçə endirilməsi, yəni vizual baxımdan əyani fəza təsvirinin əldə edilməsi və trayektoriya məvhumundan istifadə üçün reaktor istilik tənliyinin sistemdən çıxarılmasını təmin edən avtomatik stabilləşdirmə sisteminin tətbiqi təklif olunur.

8. Eyni başlanğıc vəziyyətə gətirilmiş “obyekt-model” cütliyünün real zaman üzrə sinxronizminin təmin olunma şərtlərinin nəzərə alınması ilə dinamika modeli əsasında dolaylı ölçmə sisteminin prinsipial sxemi işlənmişdir.

9. Vəhdət təşkil edən RR qeyri-xətti dinamika modeli əsasında komputer hesablama eksperimentlərindən istifadə edilərək yüksək dəqiqliyi təmin edən lokal tənzim sistemləri layihələndirmə imkanı əldə edilmiş olur. Tədqiqatda bu sistemlərin TİA (Totally Integrated Automation) mühit modullarından istifadə edilməsi ilə bir sıra nümunələri real vaxt rejimində tərtib olunur.

DISSERTASIYA İŞİNİN MÖVZUSUNA DAİR DƏRC OLUNMUŞ ELMİ ƏSƏRLƏRİN SİYAHISI

1. Нагиев, А.Г., Амрахова, Н.А. Моделирование нестационарных тепловых режимов реакторного блока установки кк для пуска и управления в критических ситуациях// Азербайджанский химический журнал. –Баку: -2000, №4. -с.40-45.

2. Нагиев, А.Г., Мамедов, Дж. И., Гулиева, Н.А. Моделирование нестационарных процессов переноса вещества и адсорбции в пористой среде на основе фрактала «Дендрит»// Химия и химическая технология.- Иваново: -2014. т:57, №8. -с.80-84. (Web of Science)

3. Гулиева, Н.А. О фрактальном представлении структуры высокопористых твердых катализаторов для математического моделирования адсорбционных процессов// Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XIX respublika elmi konfransinin materialları. -Bakı: -2015, - с.169-170

4. Нагиев, Г.А., Гулиева, Н.А. Об аппроксимации решений моделей реакторов вытеснения для описания их нестационарных режимов функционирования// Akademik Toğrul Şaxtaxtinskiyin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş respublika elmi konfransı. -Bakı: -2015, - с.84.

5. Алиев, А.М., Нагиев, Г.А, Гулиева, Н.А. Об эволюции функций распределения концентрационных и температурных полей в моделях химических реакторов вытеснения и проблема описания траекторий // Сумгаитский государственный университет. Научные Известия. Серия: Естественные и технические науки. –Сумгаит: -2015.т:15, №1, - с.50-54

6. Нагиев, Г.А., Садыгов В.В., Гулиева Н.А. Жесткие системы дифференциальных уравнений и пути совершенствования алгоритмов численного решения // Сумгаитский государственный университет. Научные Известия.

Серия: Естественные и технические науки. –Сумгаит: 2016, т:16, №2, - с.61-65

7. Нагиев, Г.А., Садыхов, В.В., Гулиева, Н.А. Алгоритмизация численного анализа динамических систем с дифференциально-алгебраическими связями. // интеллектуальные технологии в машиностроении. международная научно-техническая конференция. – Баку: - 2016, -с.48-50.

8. Нагиев, Г.А., Садыхов, В.В., Гулиева, Н.А. Дендритовая модель пористого зерна адсорбента как пространственно-геометрический объект со свойством фрактальности//III Respublika elmi konfrans. Riyaziyyatin tətbiqi məsələləri və yeni informasiya texnologiyaları. -Sumqayıt: - 2016, - с.149

9. Гулиева, Н.А. О численном решении модельных уравнений механических систем с вариаторами// Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI respublika elmi konfransı.-Bakı: -2017, –с. 42

10.Нагиев, Г.А., Гулиева, Н.А. Двухфазная модель структуры кипящего слоя катализатора для моделирования процессов дегидрирования углеводородов// Международная научно-техническая конференция, посвященная дню химика и 40-летию кафедры химико-технологических процессов филиала уфимского государственного нефтяного технического университета г. Салават-Уфа:- 2017, -с.189-190

11. Гулиева, Н.А. Математическое моделирование для управления тепловыми режимами реакционно-регенерационной системы, осуществляющей дегидрирование изобутана// Сумгаитский государственный университет. Научные Известия. Серия: Естественные и технические науки. –Сумгаит: -2018, т:18, №2, - с.66-70

12. Нагиев, Г.А., Гулиева, Н.А. Моделирование каталитических процессов дегидрирования с учетом меняющейся валентности хрома // Международная научная конференция, информационные системы и технологии: достижения и перспективы. -Сумгаит: -2018,- с.155-157

13. Нагиев, А.Г., Нагиев, Г.А., Гулиева, Н.А. О структуре пространства состояний тепловой модели реакционно-регенерационных систем с кипящим слоем катализатора и принципах визуализации управления // Теоретические основы химической технологии. –Москва: -2019. т:53, №1.-с.31-45. (Web of Science)

14. Нагиев, Г.А., Гулиева, Н.А. Об одном подходе к снижению размерности динамической системы для визуализации управления на примере процесса дегидрирования углеводородов//Informasiya sistemləri və texnologiyalar nailiyyətlər və perspektivlər. II beynəlxalq elmi konfransi. –Sumqayıt: -2020, –с. 40-42

15. Нагиев, Г.А., Гулиева, Н. А. Косвенная оценка переменных состояния реакционно-регенерационных систем на основе компьютерной симуляции// Измерительная техника. –Москва: –2021, № 8.-с.41-49. (Web of Science)

16. Гулиева, Н.А. Оперативный контроль степени закоксованности катализатора в реакционно-регенерационных системах по измерениям их температурных координат// прикладные вопросы математики и новые информационные технологии, IV Республиканская научная конференция. -Сумгаит: -2021, - с.237-239

17. Гулиева Н.А. Снижение степени свободы четырехмерной модели системы реактор-регенератор для визуализации управления процессом дегидрирования углеводородов // -Bakı: Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri, - 2022, с.17. №6, -s.156-164.

Həmmüəlliflərlə birgə işlərdə iddiaçının şəxsi fəaliyyəti:

[1,2] -Katalizator məsələli strukturunun dendrit fraktalı əsasında parametrik identifikasiyası və modelə tətbiqi;

[4]-İdeal sıxışdırma modelinin kimyəvi kinetika parametrlərin qiymətləndirilməsi;

[5]-Katalizator nəqliyyat xətlərində porşenli axın modelinin hidrodinamik parametrlərinin qiymətləndirilməsi;

[6] - Kimyəvi prosesin kinetik tənliyində sürət əmsallarının təyini;

[7] -Diferensial-cəbri əlaqəli sistemin ədədi həlli üçün iterasiya addımlarının dinamik qiymətləndirilməsi proqram modulunun işlənməsi;

[8,10]-Dehidrogenləşdirmə prosesində reaksiya sürət əmsallarının temperaturdan asılılığını müəyyən edən kinetik əmsalların təyini;

[10]-Qaynar təbəqə modelində fazalar arası maddə mübadilə əmsallarının qiymətləndirilməsi;

[13]-Qaynar təbəqəli reaksiya-regenerasiya sistemlərinin dinamika modelinin parametrik identifikasiyası və kompüter həlli;

[14]-Karbohidrogenlərin dehidrogenləşdirmə prosesində reaktor temperaturunun avtomatik tənzim sisteminin sintezi.

[15] -Dolaylı ölçmədə riyazi modelləşdirmə və ölçü dəqiqliyinin hesablanması;

Dissertasiyanın müdafiəsi 3 may 2024-cü il tarixində saat 14:00 Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1073, Bakı şəhəri, Hüseyn Cavid prospekti 25

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 2 aprel 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb:29.03.2024

Kağızın formatı: A5

Həcm: 37938

Tiraj: 100