

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **POLİMERLƏŞMƏ PROSESİNDƏ VİSKOZİMETRİK ÖLÇMƏ TEXNOLOGİYALARININ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ İLƏ KEYFİYYƏT NƏZARƏT PROBLEMİNİN TƏDQIQI**

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

Elm sahəsi: Texnika elmləri

**İddiaçı: Hüsniyyə Mirbağı qızı Həşimova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

### **AVTOREFERATI**

**SUMQAYIT – 2022**

Dissertasiya işi Sumqayıt Dövlət Universitetinin Proseslərin avtomatlaşdırılması kafedrasında yerinə yetirilmişdir

**Elmi rəhbər:** texnika elmlər doktoru, professor

**Əli Həsən oğlu Nağıyev**

**Rəsmi opponentlər:** texnika elmlər doktoru, professor  
**Rəhim Qurban oğlu Məmmədov**

texnika elmlər doktoru, professor  
**Qəzənfər Ərəstun oğlu Rüstəmov**

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
**Rəna Şərif qızı Əsədova**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Sumqayıt Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.25 Dissertasiya şurası



Dissertasiya şurasının sədri:

Texnika elmləri doktoru, professor

**Hüseynov Aqil Həmid oğlu**

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

Texnika elmləri namizədi, dosent

**Turqay Kilim oğlu Hüseynov**

Elmi seminarın sədri:

Texnika elmləri doktoru, professor

**Cavanşir Firudin oğlu Məmmədov**

## **İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI**

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** İdarə olunan keyfiyyət probleminin müasir polimer materialları texnologiyasında mərkəzi mövzulardan birini təşkil etməsi bir çox fiziki ölçmələr baxımından ölçü-nəzarət vasitələrinin yaradılması və ya mövcud sistemlərin təkmilləşdirilməsini tələb edir. Polimerləşmə prosesinin gedişində zərurət kimi qarşıya çıxan reaksiya mühitinin bir sıra keyfiyyət göstəricilərinə operativ nəzarət metodunun ya mövcud olmaması, ya da mövcud ölçü prinsiplərinin qoyulan tələbata cavab verməməsi keyfiyyətə nəzarət qarşısında ciddi problemlər yaradır.

Periodik proses olan kütlədə polimerləşmə bu cəhətdən bir daha ona görə əlamətdardır ki, polimerləşmənin dinamikasında bir qayda olaraq təsirdə effektin (after-effect) mövcudluğu mütəmadi ölçmə konsepsiyasını ön plana çəkir. Keyfiyyətə nəzarət və xüsusilə də onun idarə olunması polimerləşmə reaktoruna dinamik sistem mövqeyindən yanaşmanı və uyğun olaraq sistemin vəziyyət vektoru və optimal trayektoriya anlayışını tədqiqat məsələsi kimi qarşıya qoyur.

Polimerləşmə reaktoru daxilindəki reaksiya mühiti qeyri-nyuton axıcılığı təmsil edən ən tipik xassələrə malik olmaqla prosesin gedişini əks etdirə biləcək qədər zəngin viskozimetrik informasiya mənbəyidir. Bu informasiyanın əldə edilməsi, emalı və idarəetmə prosesinə tətbiqi keyfiyyətin idarə olunması məsələsinin həllində müstəsna rola malik olduğu son illərin elmi-texniki ədəbiyyatında təkzibolunmaz faktlarla göstərilir.

Bu göstərilən məsələlər bu günə qədər elmi-texniki ədəbiyyatda işlənilməmiş olaraq qalmaqdadır. Belə bir şəraitdə polimerləşmə prosesi cari vəziyyət vektorunun identifikasiyası və ondan idarəetmədə operativ informasiya kimi istifadə məsələsi yüksək keyfiyyətli polimer istehsalının aktual məsələlərindən birini təşkil edir.

**Tədqiqatın obyektı və predmeti.** Baxılan obyekt əsasən periodik istehsal rejimində fəaliyyət göstərən polimerləşmə prosesi olub, parametrlərinin zaman üzrə dəyişməsi ilə

səciyyələnən qeyri-nyuton xassəli yüksək molekullu maye mühitindən ibarətdir. Tədqiqatın predmeti verilmiş keyfiyyət göstəricilərinə malik polimer kütlə əldə olunmasının təminatçısı olaraq optimal idarə təsirlərinin təyin edilmə məsələsinin araşdırılmasından ibarətdir.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.** Tədqiqatda məqsəd periodik polimerləşmə proseslərində monomerin konversiyası dinamikasını ən əhatəli surətdə əks etdirən cari molekulyar kütlə paylanma funksiyalarının reoloji ölçmələr əsasında müəyyən etmə prinsiplərinin təkmilləşdirilməsindən ibarətdir. Bu sahədə reaksiya mühitinin reoloji tədqiqatının informatika aspektləri baxımından müxtəlif texnoloji şərtlərlə əlaqədar öyrənilməsi nəticəsində müvafiq ölçü cihazı layihələndirilməsi də bilavasitə dissertasiya işinin məqsədi olaraq qarşıya qoyulur.

**Tədqiqat metodları.** Tədqiqatda statistik təhlilin n-tərtibli momentlərlə parametrikləşdirilmə metodu, maye mexanikası sahəsində rotasion analiz metodu, kompüter modelləşdirilməsi və optimal idarəetmə metodları istifadə olunmuşdur.

**Müdəfiyə çıxarılan əsas müddəalar:**

1. Polimerləşmə prosesində reaksiya mühiti axıcılıq xarakteristikasının məhsulun keyfiyyət göstəricilərinin formalaşma dinamikasının kifayət qədər adekvat göstəricisi olduğunun sübutu;

2. Dəyişən sürətli rotasiya metodu ilə viskozimetrik analizin keyfiyyətə nəzarət baxımından yüksək informativliyi;

3. Relyeflənmiş silindrik səthlərə malik rotasiya sistemində özlü müqavimət momentinin ölçülməsində elektrik intiqalının parametrlərindən istifadə metodu;

4. Polimerləşmə prosesi idarəetmə məsələsində reaksiya mühitinin vəziyyət fəzası anlayışı;

5. Gel-effektə avtomatlaşdırılmış nəzarət məsələsi;

6. Polimerləşmə prosesində verilmiş keyfiyyət göstəricisinə yaxınlaşma məsələsi.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi.** Dissertasiya işinin elmi yenilikləri aşağıdakılardan ibarətdir:

1. Relyeflənmiş silindrik səthləri olan dəyişən sürətli rotasion viskozimetrin iş prinsipi və özlü müqavimət momentinin ölçmə metodunun işlənməsi.

2. Verilmiş sinif axıcılıq funksiyalarının üç tərtibli başlanğıc momentlər fəzasına inikasının statistik ayrılma xassəsi daşdığıının hesablaşma eksperimenti metodikası əsasında aşkar edilməsi.

3. Dəyişən sürətli rotasion viskozimetriya əsasında keyfiyyətə nəzarət məsələsinin tərtibi və həlli.

4. Axıcılıq funksiyası parametrlər vektorunu molekulyar-kütlə paylanma funksiyası başlanğıc momentləri fəzasına inikas edən xətti operatorun təyin edilmə məsələsinin tərtibi və həllin alqoritmləşdirilməsi.

5. Periodik polimerləşmə prosesində gel-effektin erkən proqnozlaşdırma məsələsinin riyazi işlənməsi və həll alqoritm.

6. Polimerləşmə prosesi vəziyyətlər fəzası və optimal trayektoriya anlayışlarının keyfiyyətə nəzarət məsələsinə daxil edilməsi ilə arzu olunan keyfiyyət məsələsinin riyazi qoyuluşu və həll metodu.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** Molekulyar kütlə paylanma funksiyalarının  $n$ -tərtibli başlanğıc momentlər əsasında parametrikləşdirilməsi ilə onların polimer kütlələrin keyfiyyət göstəriciləri fəzasına inikası alqoritm polimer istehsalı texnologiyası və həmçinin bir sıra yüksək molekullu birləşmələr texnologiyasında səmərəli metodika kimi istifadə oluna bilər. Əldə olunan nəzəri və praktiki məsələlərin həll alqoritmləri polimer materiallar istehsalı texnoloji proseslərinin operativ idarəetmə sistemlərində tətbiq oluna bilər.

**Aprobasiyası və tətbiqi.** Dissertasiya işinin əsas müddəaları Sumqayıt Dövlət Universitetinin Elmi Şurasının iclaslarında, həmçinin aşağıdakı elmi-texniki konfrans və forumlarda müzakirə edilmişdir: Sumqayıt, II Respublika elmi konfransı, Sumqayıt, 2012; Energetikanın müasir elmi-texniki və tətbiqi problemləri Beynəlxalq elmi konfransının materialları, Sumqayıt, 2015; Akademik Toğrul Şaxtaxtinskiyin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika elmi konfransı, Bakı, 2015; Материалы Международной научно-технической

конференции, посвященной дню Химика и 40-летию кафедры химико-технологических процессов филиала Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Салавате, УФА, 2017; Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI Respublika elmi Konfransının materialları, 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.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.** Dissertasiya işi Sumqayıt Dövlət Universitetinin Proseslərin avtomatlaşdırılması kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

**Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi.** Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyası tərəfindən qoyulan tələblərə uyğun qaydada yazılmışdır. Dissertasiya işi titul səhifəsi 421 şərti işarə sayı, mündəricat 7245 şərti işarə sayı, giriş 5699 şərti işarə sayı, birinci fəsil – 72319 işarə, ikinci fəsil – 37931 işarə, üçüncü fəsil – 53386 işarə, dördüncü fəsil – 24949 işarə, nəticə - 2134 işarə sayı, istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısının və əlavələrdən ibarətdir.

Dissertasiya işi cədvəlsiz, şəkilsiz və ədəbiyyat siyahısız 204084 işarədən ibarətdir.

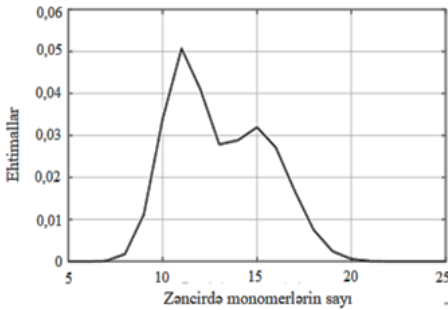
## **İŞİN ƏSAS MƏZMUNU**

Dissertasiya işinin **Giriş** hissəsində 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.

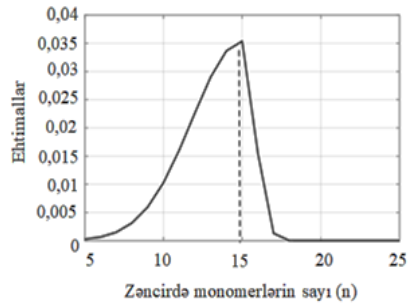
**Birinci fəsil**də polimerləşmə proseslərinin kimyəvi mahiyyəti, texnoloji quruluş müxtəlifliyi və bunlara uyğun zəruri ölçmələrin prinsip və aparat realizasiyalarının təhlili verilir. Polimerləşmənin molekulyar-kinetik mexanizmi ilə əlaqədar

olaraq formalaşan molekulyar kütlə paylanma funksiyalarının (MKPF) özəl cəhətləri qeyd olunur. MKPF-lərin praktiki ölçmə metodları haqqında məlumat verilməklə, paralel olaraq, onların müqayisəli təhlili və istehsal şəraitində istismar çətinlikləri diqqətə çatdırılır. Osmometrik metod ilə eksklyüzion və ya gəl-nüfuzetmə xromatoqrafiyası üsullarının polimerləşmə reaktoru şəraitinə uyğunluq dərəcəsi və dəqiqlik baxımından müqayisəli təhlili verilir.

Burada polimerlərin molekulyar kütlə paylanma funksiyalarının Qauss funksiyası parametrləri vasitəsi ilə approksimasiyası məsələsi qarşıya qoyulur. Polimerləşmə ədədinin dəyişmə intervalında empirik paylanma funksiyalarının iki və üç parametrlili Qauss funksiyaları ilə approksimasiyası üçün iki konstruksiyada riyazi ifadələr təklif olunur. Bunların bir variantında *gaussianların* hər iki parametri iştirak etməklə iki funksiya cəminə daxil olan (4+1) variasiya parametrlili, digərində isə, yəni asimmetrik *gaussian* götürülən varianta uyğun 4 parametrlili identifikasiya məsələsinin praktiki həlli tələb olunur. Şəkil 1.a-da üz parametrlili, şəkil 1.b-də isə asimmetrik *gaussianın* əsasında approksimasiya edici funksiyaların variantları göstərilir.



a)



b)

Şəkil 1. Qaus funksiyaları ilə approksimasiya

(a) İki Qaus funksiyası cəmi və asimmetrik Qaussian (b) ilə approksimasiya nümunələri

Approksimasiyanın 5 parametrlı variantında axtarılan paylanma funksiyaları aşağıdakı cəm kimi ifadə olunurlar:

$$f(x) = \frac{\mu}{\mu_0} \varphi_1(x) + (1 - \mu) \varphi_2(x);$$

$$\varphi_1(x) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-(x-\bar{x}_1)^2/2\sigma_1^2}; \varphi_2(x) = \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-(x-\bar{x}_2)^2/2\sigma_2^2}; \mu_0 = \frac{\xi_1}{\xi_2}; x \in [a, b]$$

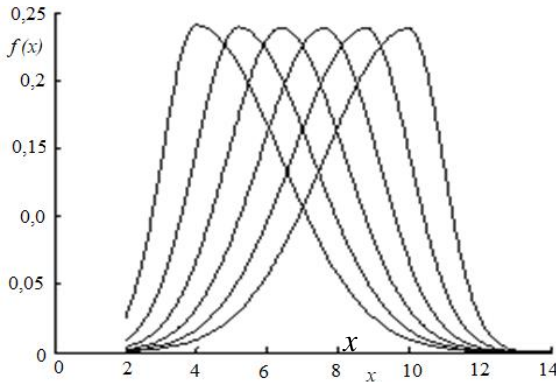
harada ki,  $\xi_1, \xi_2$  – müvafiq paylanma funksiyalarının öz arqumentlərinin dəyişmə intervalı üzrə ( yəni  $x \in [a, b]$  intervalı üzrə) inteqral qiymətləri,  $\mu, \bar{x}_1, \bar{x}_2, \sigma_1, \sigma_2$  – isə variasiya olan parametrlərdir.

Dörd parametrlı asimmetrik qaussian variantında variasiya parametrləri aşağıdakı kimi ifadə olunurlar:

$$F(x) = \frac{1}{\xi} \left[ \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \varphi_1(x) + \varphi_2(x) \right]$$

harada ki, approksimasiyada iştirak edən  $\varphi_1(x), \varphi_2(x)$  funksiyaları yalnız  $x \in [a, \bar{x}]$  və  $x \in [\bar{x}, b]$  təyin olunma intervalları və  $\sigma_1, \sigma_2$  dispersiyalarının müxtəlifliyi ilə fərqlənilirlər.

Təklif olunan asimmetrik qaussianla approksimasiyanın bir neçəsi şəkil 2-də verilmişdir.



Şəkil 2. Molekulyar paylanma funksiyalarına qarşı qoyulan tələblərə cavab verən funksiyalar ailəsinin qrafik təsviri

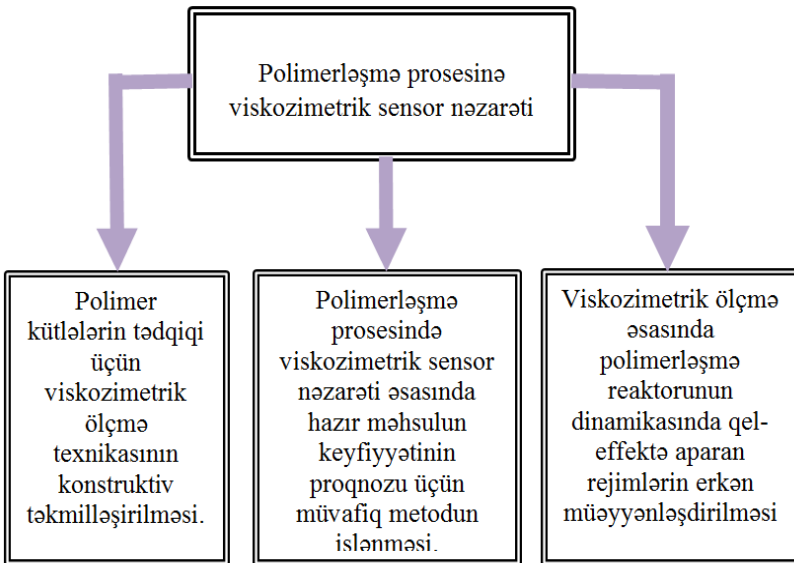


Belə bir approksimasiyanın dəqiqliyini qiymətləndirmək üçün sintez olunmuş paylanma funksiyalarının orta kvadratik meyletmə kriterisi əsasında empirik nümunə ilə tutuşdurulmasından istifadə edilmişdir:

$$F = \int_a^b (\tilde{f}(x) - f(\bar{x}, \sigma_1, \sigma_2))^2 dx \rightarrow \min$$

harada ki,  $\tilde{f}(x)$  – empirik funksiya,  $f(\bar{x}, \sigma_1, \sigma_2)$  - parametrləri məhdud intervallarda dəyişdirilərək meyletməni minimuma yaxınlaşdıran approksimasiya edici funksiyanı ifadə edir.

Daha sonra 1-ci fəsildə keyfiyyətə nəzarət baxımından ən zəruri ölçmələrin təhlili, ölçmə prinsipləri və cihazların konstruktiv xüsusiyyətləri haqqında məlumat verilir, Muni viskozimetri, sabit sürətli rotasion reometr haqqında məlumat verilir. Bu təhlilə əsaslanaraq, viskozimetrik ölçmə və təhlil əsasında həll ediləcək keyfiyyət qiymətləndirilməsi və idarəetmə məsələlərinin məqsədi və mahiyyəti 1-ci fəsildə şərh edilir.

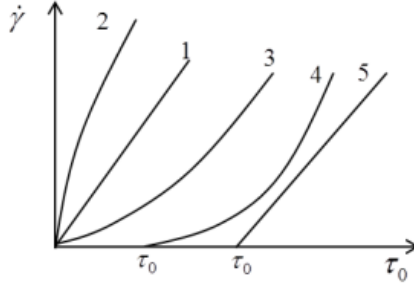


Şəkil 3. Polimerləşmə proseslərinə sensor nəzarəti üçün qarşıya qoyulmuş əsas funksional məsələlər

**İkinci fəsil** polimer əsaslı polidispers struktura malik qeyri-nyuton axıcı mühitin rotasion reoloji tədqiqi məsələlərinə həsr edilmişdir. Burada maye mühitində daxili müqavimət qüvvələri, özlülük və qeyri-nyuton axıcılıq funksiyası, anomal özlülük və onun növləri diqqət mərkəzinə gətirilir. Elmi ədəbiyyatdan əldə olunan məlumata istinadən nəticə çıxarmaq olur ki, polimerləşmə proseslərinin tədqiqində adları çəkilən axıcılıq növlərinin bir çoxu (bəzi məlumatlara istinadən isə əksəriyyəti) özlərini bürüzə verirlər (Şəkil4)

Şəkildə: 1- Nyuton asılılığına malik xarakteristika; 2- dilatant axıcılığı; 3- psevdoplastik axıcılıq; 4- kəskin qeyri-xətti psevdoplastik axıcılıq; 5- binqam axıcılığı göstərilmişdir.

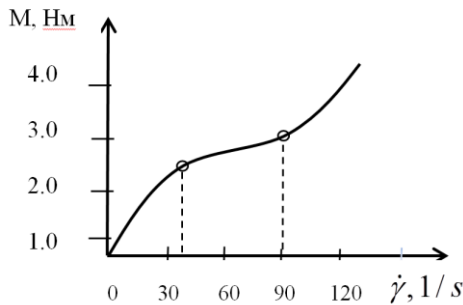
2-ci fəsildə ənənəvi reoloji tədqiq texnologiyaları və polidispers axıcı mühitin analizində meydana çıxan maneələr təhlil edilərək, bu maneələrin aradan qaldırılmasına xidmət edən ölçmə metodu və konstruktiv quruluş təklif edilmişdir. Bu prinsip rotasiya qurğusu əsasında reoloji analizə əsaslanır.



Şəkil 4. Qeyri-nyuton axıcılıq əyrilərinin keyfiyyətcə müxtəlifliyi

Məsələ ondadır ki, dəyişməz rotasiya sürəti ilə aparılan təcrübələrdə eyni axıcılıq əyrisinə malik olan iki müxtəlif material tapmaq xeyli dərəcədə çətinidir. Başqa sözlə, dəyişən rotasiya sürəti ilə aparılan təcrübələrdə (ölçmələrdə) nəticə materialın özəl xassələrini müqayisə edilməz dərəcədə daha çox bürüzə vermiş olur.

Şəkil 5-də epoksid qətranı üzərində aparılmış təcrübədən əldə olunan axıcılıq əyrisi öz əksini tapmışdır.



Şəkil 5. Xarakterik “S” –vari axıcılıq əyrisi

### **Relyefləndirilmiş silindrik səthlərə malik dəyişən sürətli viskozimetrik qurğu.**

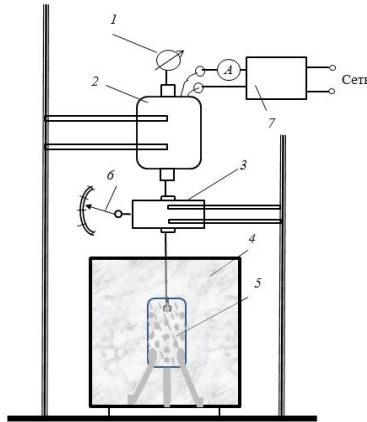
Qeyd olunmalıdır ki, viskozimetrik ölçü-nəzarət sisteminin bir problemi axıcılıq əyrilərinin emalı ilə bağlıdırsa, digəri həmin əyrilərin əldə edilməsi üçün effektiv prinsip və qurğuların yaradılmasıdır. Bu məqsədlə dəyişən sürətli rotasiya viskozimetrlərinin yaradılması sahəsində təklifimiz aşağıdakıdan ibarət olmuşdur. Qurğunun analogi ölçü cihazlarından prinsipial fərqi bir-birinə nəzərən sürüşmə hərəkəti yerinə yetirən silindrik quruluşların (stəkanların) səthində müəyyən düzülüşdə qeyri-hamarlıq yaradılmasındadır. Bu relyefləndirmənin aparıcı ideyası yaradılan maneələrin silindirlər arası mühitdə əmələ gətirəcəyi özlü müqavimətin rotasiya sürətinə kəskin reaksiya göstərməsi ilə bağlıdır. Reaksiya mühitində təşəkkül tapan qobullaşmanın miqyası və polidisperslik göstəricisi nəticə etibarlı ilə axıcılıq funksiyasına ciddi təsir göstərir. Bu ideyanın təməli polimerizasiya aparatlarında istifadə olunan qarışdırıcılar üzərinə düşən müqavimət momentinin reaksiya kütləsinin vəziyyəti ilə sıx korelyasiya əlaqəsinə olduğu faktdan qaynaqlanır.

Özlü mühitin viskozimetrik tədqiqi üçün təklif etdiyimiz laborator qurğusunun prinsipial rotasiya elementləri (stəkanlar: “rotor-sator” cütü) şəkil 6-da göstərilmişdir.



Şəkil 6. Viskozimetrik qurğunun sensor elementləri:  
a) stator, b) rotor

Şəkil 7-də təklif olunan prinsip əsasında müqavimət momentini ölçməyə əsaslanan rotasiya viskozimetrinin laborator qurğusu göstərilmişdir.



Şəkil 7. Rotasiya elektromexaniki xarakteristika əsasında  
özlü mühitin axıcılıq funksiyasının əldə edilməsi  
üçün laborator qurğusu

Qurğunun əsas hissələri: 1- fırlanma sürətini ölçən taxometr, 2- sabit cərəyan mühərriki, 3- pilləsiz friksion ötürücü (variator), 4- içərisinə tədqiq olunan material doldurulmuş çən, 5- cihazın həssas elementi (relyefləndirilmiş “rotor-stator” cütü), 6- göstərici əqrəb, 7-gərginlik stabilizatoru.

Gərginlik stabilizatoru ölçmənin dəqiqliyinin təminatçısı kimi cihazda mühüm rol oynayır. Variatorun friksion kontakt qüvvəsi stasionar rejimlərdə çarxlar arası sürüşmənin minimuma endirilməsi baxımından kökləndirilmiş olur. Variatorun çıxış valına qoşulmuş bucaq göstəricisi vasitəsi ilə ötürmə ədədi vizual olaraq diqqətə çatdırılır və qeyd olunur.

Bu prinsip əsasında ölçmənin kalibrleməsi etalon materialdan və baza ölçü cihazından (nümunəvi cihaz) istifadə olunmasını tələb edir. Tədqiqatın ilkin mərhələsi olaraq baxılan işdə yalnız götürülmüş sınaq materialı üçün axıcılıq əyrisinin əldə olunması həyata keçirilmişdir. Bunun üçün çən özlülük əmsalı məlum olan (12 – 20 Pa/s) ЭД-20 markalı epoksid qətranı ilə doldurulmuş, variatorun ötürmə ədədi minimum qiymətinə gətirildikdən sonra rotasiya sistemi işə salınmış və tədricən sürət hər 10-15 saniyədən bir olmaqla 5-10% artırılmışdır. Bu qayda üzrə fırlanma sürətinin verilmiş diapazonunda müqavimət momenti təcrübi olaraq müəyyənləşdirilmiş, fırlandırıcı moment isə sabit cərəyan mühərrikinin lövbər dövrəsi cərəyanına əsasən hesablanaraq, axıcılıq əyrisi “müqavimət momenti – bucaq sürəti” koordinatlarında qurulmuşdur.

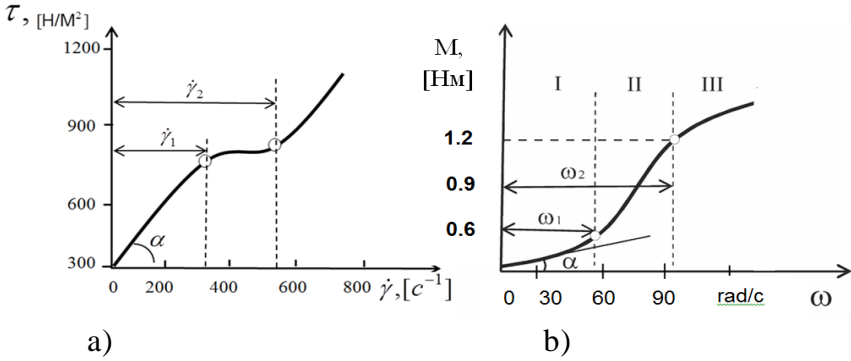
Cihazın həssaslığının qiymətləndirilməsinə yönəldilən aşağıdakı riyazi ifadə intiqalın elektriki və mexaniki itgilərinin nominal (istehsalçı zamanəti) qiymətlərinin ayrı-ayrılıqda nəzərə alınması əsasında əldə edilmişdir:

$$\frac{\partial I}{\partial M} = \frac{\omega}{U_n (U_n^2 + 4(r_a + r_d)(M\omega + P_n(1-\eta)))^{\frac{1}{2}}}$$

**Üçüncü fəsil** viskozimetrik ölçmələrin informativlik göstəricilərinin təhlili, onların keyfiyyətin proqnozuna və idarə olunmasına cəlb edilməsi məsələlərinə həsr edilmişdir. Burada

polimerləşmədə anomal axıcılıq funksiyalarının approksimasiyası üçün alqoritmlər işlənir.

Periodik polimerləşmə proseslərində reaksiya kütləsinin konversiyası yüksəldikcə mühidə diqqətə çatan ən mühüm dəyişiklik axıcılıq əyrisinin formasında özünü əks etdirir. Şəkil 8-də müqayisə üçün iki axıcılıq funksiyasının (AF) təsviri verilmişdir.



Şəkil 8. Polimer əsaslı materialların axıcılıq əyriələrinin iki prinsipial fərqli forması və xarakteristik parametrlər

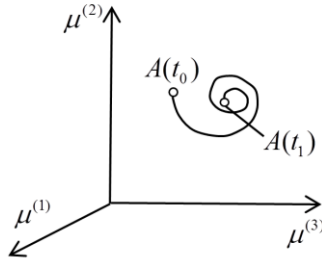
a) farmoseptik məlhəm üçün məlum toxunan gərginliyin sürüşmə sürətindən asılılıq qrafiki, b) epoksid qətranı üzərində aparığımız təcrübədən alınmış rotasion-viskozimetrik xarakteristika

Şəkildə (b) qrafiki aparığımız tədqiqatın nəticəsindən götürülmüşdür, müqayisə üçün nümayiş olunan, (a) qrafiki isə ədəbiyyatından əxz olunmuşdur.

Tədqiqatda axıcılıq funksiyasının üç ölçülü başlanğıc momentlər fəzasına inikasından bu funksiyaların parametrikləşdirilməsi üçün əsas vasitə kimi istifadə olunur. Axıcılıq funksiyaları üçün  $\omega \in [a, b]$  intervalında 1-ci, 2-ci və 3-cü tərtib başlanğıc momentlər yazılır:

$$\mu^{(1)} = \int_a^b \omega \cdot \varphi(\omega) d\omega; \quad \mu^{(2)} = \int_a^b \omega^2 \varphi(\omega) d\omega; \quad \mu^{(3)} = \int_a^b \omega^3 \varphi(\omega) d\omega;$$

Şəkil 9-da verilmiş  $\varphi_A(\omega, t)$  ixtiyari qeyri-stasionar axıcılıq funksiyasına  $(\mu^{(1)} \times \mu^{(2)} \times \mu^{(3)})$  fəzasına müvafiq inikas  $(A(t_0),$  nöqtələri  $A(t_1))$  və müvafiq trayektoriya göstərilmişdir.



Şəkil 9. Axıcılıq funksiyasının bir nümunəsinin üç tərtibli başlanğıc momentlər fəzasına inikası və  $t \in [t_0, t_1]$  intervalında  $A(t_1)$  nöqtəsinin fəzada cızdığı trayektoriya

### **Sadə polimer məhlullarının axıcılıq funksiyalarının ölçmə-hesablama əsasında təhlili.**

Polimer kütlələrin hazır material formasına gəlmə prosesinin keçdiyi intibah yolundan, başqa sözlə, momentlər fəzasında cızdığı trayektoriyadan asılılığının öyrənilməsi istiqamətində apardığımız alqoritmik təhlil vasitələrinin içərisində ən bəsit test olaraq polimer nümunələrinin həlledicilərlə müxtəlif nisbətlərdə qarışıqlarının rotasion axıcılıq xarakteristikalarının əldə edilməsi və onların bir sıra fiziki kəmiyyətlərlə necə əlaqədar olduğunun təyiniidir.

Məhz bu məqsədlə epoksid qətranından polimer material kimi istifadə edərək, onun əsasında müvafiq təcrübi nəticələrin təhlili həyata keçirilmişdir. Həlledici olaraq aseton götürülmüş, “aseton-qətran” nisbəti qabaqcadan nəzərdə tutulmuş variantlarda təcrübənin gedişində dəyişməz saxlanılmışdır.

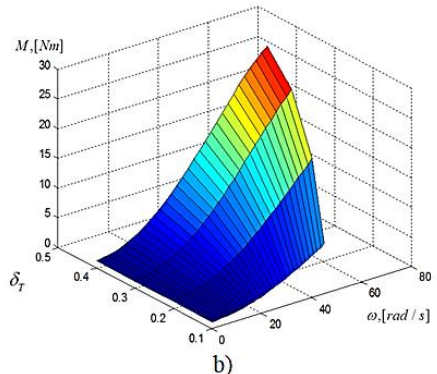
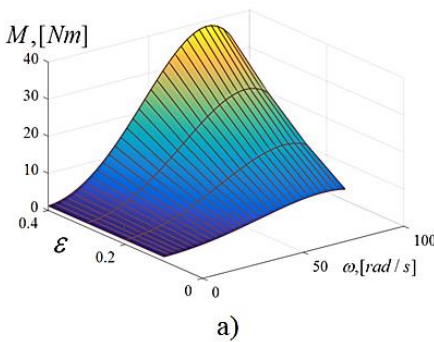
Təcrübələr iki faktorlu təcrübə planı (temperatur və qatılıq) əsasında həyata keçirilmiş və nəticələr üç ölçülü qrafik təsvir formasına təhlil edilmişdir (şəkil 10 (a və b)).

Qrafiklərdə koordinatların biri olaraq  $\omega, [rad / s]$  götürülmüşdür. Digər arqumentlər olaraq isə, yəni hər qrafikə uyğun temperatur və qatılıq koordinat oxları daxil edilmişdir. Həmin kəmiyyətlər mərkəzləşdirmə və normallaşdırmadan sonra aşağıdakı kimi ifadə olunmuşlar:

$$\delta_T = \frac{T - \bar{T}}{\bar{T}}; \varepsilon = \frac{C - \bar{C}}{\bar{C}} \quad , \quad (1)$$

harada ki,  $T, C$  – ölçmənin aparıldığı temperatur və məhlulun qatılığı,  $\bar{T}, \bar{C}$  – həmin kəmiyyətlərin ortalaşdırılmış qiymətləridir.

Ölçmələr müvafiq variantlarda temperatur və qatılıqların qeyd olunmuş qiymətlərində ( $T = 25 \text{ } ^\circ\text{C}; \varepsilon = 0.1;$ ) aparılmışdır. Müvafiq arqumentlərin dəyişdirilməsi 4 sayda ölçmə ilə məhdudlaşmışdır:



$\varepsilon = \{0.1; 0.2; 0.3; 0.4;\}$ ,  
 $T = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$  qiymətlərində

$\delta_T = \{0.1; 0.2; 0.3; 0.4;\}$ ,  
 $\varepsilon = 0.1;$  qiymətlərində

**Şəkil 10.** Asetonda həll edilmiş epoksid qətranının viskozimetrik ölçmədə rotasiya sürətindən asılı olaraq müqavimət momentinin dəyişməsi

Bu ölçmələrin nəticələri ilə bağlı gəldiyimiz əsas qənaət axıcılıq əyrilərinin özlərində kifayət qədər informasiya daşımaları olmuşdur. Qrafiklərdən görüldüyü kimi, ölçmələr həm



temperatura, həm də qatılıqların dəyişməsinə qarşı xeyli dərəcədə həssasdırlar. Bu nəticə o qənaətə gəlməyə əsas verir ki, özlülüyün sadəcə qeyd olunmuş bir rotasiya sürəti şəraitində ölçülməsi ilə axıcılıq əyrilərinin qurulmasında informativlik nöqtəyi-nəzərindən böyük fərq vardır. Beləliklə, bu fakt keyfiyyətin proqnozu və idarə olunması baxımından polimer kütlələrin axıcılıq funksiyaları fəzasında tədqiq olunmasının effektivliyi haqqında aprior təsəvvürü xeyli dərəcədə qüvvətləndirir.

### **Axıcılıq əyriləri çoxluğunun üç tərtibli başlanğıc momentlər fəzasında separat oblastlara bölünməsi.**

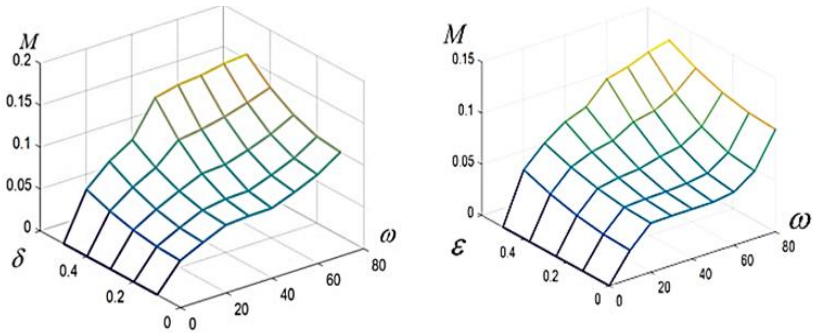
Axıcılıq əyrilərinin xaraktercə (forma etibarı ilə) temperatura və həlledicilərin təsirinə xeyli dərəcədə həssas olduğu onların proqnoz məsələsinə argument kimi daxil edilməsinə etibarlı əsas yaratmış olsa da, bu əsasın daha da qüvvətləndirilməsinə xidmət göstərə biləcək əlavə bir təhlil üsulu olaraq çoxluqların separat oblastlara bölünmə dərəcəsinin yoxlanılmasını qəbul etmək olar. Yəni texniki imkanlarımızın yol verdiyi epoksid qətranından təcrübə materialı kimi istifadəyə istinad edərək, AF-lərin momentlər fəzasına inikasının mənzərəsi araşdırılmışdır.

İnformativliyin yoxlanılması üçün təcrübə materialların süni surətdə “başqalaşdırmaq” üsuluna müraciət edilmiş və bu məqsədlə eyni epoksid qətranını sınaq materialı kimi müxtəlif miqdar palıd tozu ilə qarışdırmış ( 0.12 və 0.18 çəki nisbəti ilə) və viskozimetrik tədqiqat aparılmışdır.

Beləliklə, epoksid qətranı və palıd tozundan ibarət 1-ci və 2-ci nümunəni viskozimetrik ölçü-tədqiqat materialı kimi həlledicinin müxtəlif nisbətdə qarışığı şəraitində axıcılıq əyrisi qurulur. Əldə olunmuş təcrübə nöqtələr polinomial approksimasiya olunur, yəni iki qrup təcrübələrdə hərəsində 5 variant olmaqla 5 nöqtədən keçən polinom qurulur:

$$M = \phi_{ik}(\omega, \varepsilon); 0 \leq \omega \leq \omega_{\max}; \varepsilon_{\min} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\max}; i = 1, 2.$$

Həmin polinomların əsasında qurulan qrafik təsvirlər şəkil 11-də göstərilmişdir.

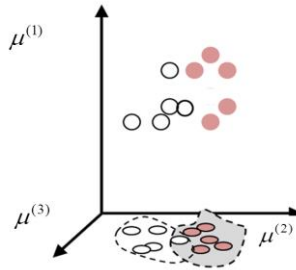


Şəkil 11. İki təcrübə nümunə üçün qurulmuş axıcılıq əyrilərinin 5 variantda götürülmüş qatılıqlara görə genişləndirilməsi və iki ölçülü polinomial approksimasiyası

Əldə edilmiş approksimasiyalar momentlər fəzasına  $(\mu^{(1)}, \mu^{(2)}, \mu^{(3)})$  köçürülür. Yəni həlledici nisbətinin dəyişdirilməsi ilə sınaq aparılır və momentlər fəzasında müvafiq sayda eksperimental nöqtələr çoxluğu əldə edilir.

Eksperimental tədqiqatlar həyata keçirilərkən diqqət yetirilmişdir ki, rotasiya sürəti intervaları eyni genişliyə malik olsun. Bunu əldə etmək üçün pəlid tozu-qətran nisbəti (çəki nisbəti) 0.2 həddini keçmiş olmasın. Bu nisbət daha yüksək qiymətlərində özlüliyün kəskin artması baş verdiyindən rotasiya müqavimət momenti nəzərdə tutulan yuxarı həddi ötmüş olur.

Beləliklə, təcrübələrin nəticəsi olaraq şəkil 12-də əksini tapmış üç ölçülü momentlər fəzasında eksperimental nöqtələri ifadə edən təsvir əldə edilmişdir.



Şəkil 12. Axıcılıq əyriləri çoxluğunun müvafiq üç ölçülü başlanğıc momentlər çoxluğunda təsviri

Şəkil 12-də verilmiş təsvirdən əldə edilən mühüm nəticə ondan ibarətdir ki, momentlər fəzasında axıcılıq əyrilər çoxluğu ayrılaraq separat alt çoxluqlara bölünürlər. Bu isə o deməkdir ki, axıcılıq əyriləri özlərində materialın fiziki xassələri haqqında kifayət qədər informasiya daşıyırlar və bu informasiya lazımi tərzdə emal olunarsa, həmin xassələr aşkarlana bilərlər.

Aşağıdakı approksimasiyalar hesablama eksperimenti proseduruna material kimi yazılmışdır:

$$M = \phi_k(\omega, \varepsilon), \quad M = \phi_\ell(\omega, \delta), \quad k = \overline{1, K}; \ell = \overline{1, L} \quad (2)$$

harada ki,  $k$  indeksi asetonun miqdarına nəzərən variasiyaları,  $\ell$  isə temperatura nəzərən variasiyaların sayını ifadə edir.

Yenə də bu approksimasiyalara uyğun momentlərin hesablanması mərhələsi yerinə yetirilir və nəticələr aşağıdakı düsturlar üzrə emal olunur:

$$k_\varepsilon^2 = \frac{1}{K} \frac{1}{(\bar{\varepsilon} - \varepsilon_k)^2} \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^2 (\bar{\mu}_k^{(i)} - \mu_k^{(i)})^2; \quad (3)$$

$$k_\delta^2 = \frac{1}{L} \frac{1}{(\bar{\delta} - \delta_\ell)^2} \sum_{\ell=1}^L \sum_{i=0}^2 (\bar{\mu}_\ell^{(i)} - \mu_\ell^{(i)})^2;$$

harada ki,  $k_\varepsilon^2$ ,  $k_\delta^2$  – uyğun olaraq qatığın və temperatur variasiyalarına qarşı həssaslığın momentlər vektorunun uzunluğuna gətirilmiş miqyasda qiymətini ifadə edir,  $\varepsilon_k, \bar{\varepsilon}$  – uyğun olaraq təcrübələrdə götürülmüş kompozit-aseton nisbətləri və onlar üçün hesablanmış orta qiymət,  $\bar{\delta}, \delta_\ell$  – analogi göstəricilərin temperatura nəzərən qiymətlərini ifadə edən parametrlər,  $\bar{\mu}_\ell^{(i)}, \mu_\ell^{(i)}; \bar{\mu}_k^{(i)}, \mu_k^{(i)}; i=0, 2$  – müvafiq variasiyalara görə 0,1,2-ci tərtib momentlərdir.

Qeyd edək ki, hesablamalar bir daha təsdiq edirlər ki, (3) düsturlarında  $k_\varepsilon^2$ ,  $k_\delta^2$  həssaslıq göstəriciləri olan  $(\bar{\delta} - \delta_\ell)$  və  $(\bar{\varepsilon} - \varepsilon_k)$  meyletmələrinə görə normallaşdırmış olduqlarından momentlər vektoru axıcılıq əyrilərinin ortalaşdırılmış ordinatına deyil, onların formasına reaksiya verirlər. Bu xassə bir daha sübut

edir ki, həmin düsturlar həssaslığın qiymətləndirilməsi üçün kifayət dərəcədə effektivdirlər.

**Cədvəl 1.**

Müxtəlif nisbətdə həlledici (aseton) əlavə edilmiş nümunələr üzrə əldə edilmiş eksperimental axıcılıq əyrilərinin momentlər fəzasına inikas parametrləri

Təcrübələrin aparıldığı temperatur, $T = 25^{\circ}C$ ;						
Birinci nümunə: Aseton-toz nisbəti =0.12						
Kompoziti-aseton nisbəti $\varepsilon = m_s / m_r$	Momentlərin qiymətləri			Qrupdaxili nöqtələr arasında toplam məsafə	Qrupların mərkəzləri arasında məsafə	
	$\mu^{(1)}$	$\mu^{(2)}$	$\mu^{(3)}$			
0.0	0.0615	0.0431	0.0322	0.102	0.230	
0.04	0.0518	0.0351	0.0227			
0.08	0.0478	0.0332	0.0225			
0.12	0.0461	0.0330	0.0216			
0.16	0.0442	0.0316	0.0145			
İkinci nümunə: Aseton-toz nisbəti =0.18						
kompozit-aseton nisbəti $\varepsilon = m_s / m_r$	$\mu^{(1)}$	$\mu^{(2)}$	$\mu^{(3)}$			
0.0	0.0517	0.0360	0.0239	0.097		0.230
0.04	0.0467	0.0327	0.0268			
0.08	0.0447	0.0324	0.0188			
0.12	0.0440	0.0265	0.0108			
0.16	0.0416	0.0243	0.0103			

**Dolaylı ölçmə məsələsinin qoyuluşu.**

Fərz edilir ki, reoloji tədqiqə yararlı olan bir sinif ( n- sayılı nümunədə) polimer materialı vardır ki, onların hər biri üçün qabaqcadan MKPF-lər laborator üsulu ilə analiz olunmuşdur. Qəbul edilir ki, həm də MKPF-lar əsasında m-tərtibdən başlanğıc momentər hesablanmışdır. Həmin MKPF-ləri  $\varphi_i(N); i = \overline{1, n}$ , ilə

onlar əsasında əldə olunmuş başlanğıc momentləri  $\mu^{(j)}$ ;  $j = \overline{1, m}$  ilə işarə edilmişdir.

Həmin nümunələr üzərində viskozimetrik (reoloji) təcrübələr aparılmış və  $n$  sayda müvafiq axıcılıq əyriləri əldə edilmişdir. Axıcılıq əyriləri  $m$  sayda xarakteristik parametrlərə malikdir və onlar hər bir nümunə üçün fərdi qaydada qiymətləndirilmişdir:  $x_{ij}; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ . Məsələn, üç xarakteristik parametr olan varianta uyğun olaraq, dəyişənlərin ədədi qiymətləri  $x_{i1} = \omega_{i1}; x_{i2} = \omega_{i2}; x_{i3} = \alpha_i; i = \overline{1, n}$  kimi olacaqdır.

Məsələdə qəbul edilmiş əsas hipotezlər:

1. Nümunələr eyni məhdud sinfi təşkil edən materiallar olub, yəni  $x_i \in X \subset R^m$ , onları fərqləndirən cəhətlər yalnız istehsalda yol verilmiş texnoloji rejim müxtəlifliyi ola bilər.

2. Qəbul edilir ki, reoloji tətqiqat eyni aparatda, eyni standart metodika əsasında yerinə yetirilmişdir.

3. İlk olaraq təyinedici alqoritmin sazlanmasını təmin etmək üçün öyrədilmə mərhələsi həyata keçirilir. Yəni təcrübədən əldə olunmuş axıcılıq əyriləri o materiallar əsasında əldə olunmuşlar ki, o materialların MKPF-ləri aprior məlum funksiyalardır, yəni  $x_k \rightarrow y_k; k = \overline{1, K}$ , harada ki,  $x_k$  – təcrübədən alınan axıcılıq əyriləri,  $y_k$  – materialın MKPF – göstəricisinə uyğun moment vektorlarıdır.

Bu hipotezlər dolaylı ölçmə və qiymənləndirmənin dəqiqliyini təmin edən amillər kimi nəzərdə saxlanılır.

**Tələb olunur:** İxtiyari  $x \in X$  nümunəsi üçün məlum viskozimetrik təcrübi nəticələr əsasında  $m$ –sayda MKPF-lərə görə başlanğıc  $y_1 = \mu^{(1)}; y_2 = \mu^{(2)}; y_3 = \mu^{(3)}$  momentləri verilmiş dəqiqliklə təyin etməli.

Qarşıya qoyulan məsələni əvvəlcə determinik yanaşma əsasında həll edək. Aydınlıq üçün yuxarıda şərh olunmuş üç xarakteristik parametr nümunəsində, yəni  $x_{i1} = \omega_{i1}; x_{i2} = \omega_{i2}; x_{i3} = \alpha_i; i = \overline{1, n}$  kimi üç ölçülü məsələnin həllində nəzərdən keçirək. Fərz edək ki, parametrlərin dəyişdiyi kifayət qədər məhdud oblastda təsir göstərən hər hansı bir A operatru

vardır ki, o,  $X$  çoxluğunun hər bir elementini  $Y$  çoxluğuna inikas etdirir  $A: X \rightarrow Y$ . Bu operatoru xətti çevrilmə operatoru kimi qəbul edək:

$$Y = AX$$

harada ki,  $Y - (m \times 1)$  ölçüdə sütun matrisi olub, 3- başlanğıc momentlərdən təşkil olunmuşdur;  $X -$  həmin ölçüdə, yenə də sütun matrisi olub, elektromexaniki axıcılıq əyrisi əlamətlərini əks etdirirlər;  $A -$  isə  $(m \times m)$  ölçüdə çevrilmə matrisini ifadə edir.

Məsələnin həlli həmin  $A$  operatorunun təyin edilməsindən ibarət olacaqdır ki, bunu determinik yanaşmanın ən sadə variantı kimi qəbul etmək olar.

Bu məqsədlə təcrübi nümunələr içərisindən üç ixtiyari variantı seçək: yəni, elə  $y_i = \{y_{1i}, y_{2i}, y_{3i}\}, i = 1, 2, 3$ , vektorlarını seçək ki, onların proyeksiyaları qeyd olunan 1-ci, 2-ci və 3-ci tərtib momentlərdən ibarətdir. Qeyd olunduğu kimi bu momentlər məlum MKPF əsasına qabaqcadan əldə edilmişlər. Hər bir nümunənin ayrılıqda rotasiya eksperimentindən keçirilməsindən sonra müvafiq  $x_i = \{x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}\}; i = 1, 2, 3$  vektorları əldə edilir.

Məsələni ümumi hal olaraq  $m -$  ölçülü sistem üçün qarşıya qoymuş olsaq, o zaman aşağıdakı uyğun sayda  $X, Y$  matris bloklarını yazmalı olarıq:

$$X = (x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m) ; Y = (y_1 \ y_2 \ \dots \ y_m)$$

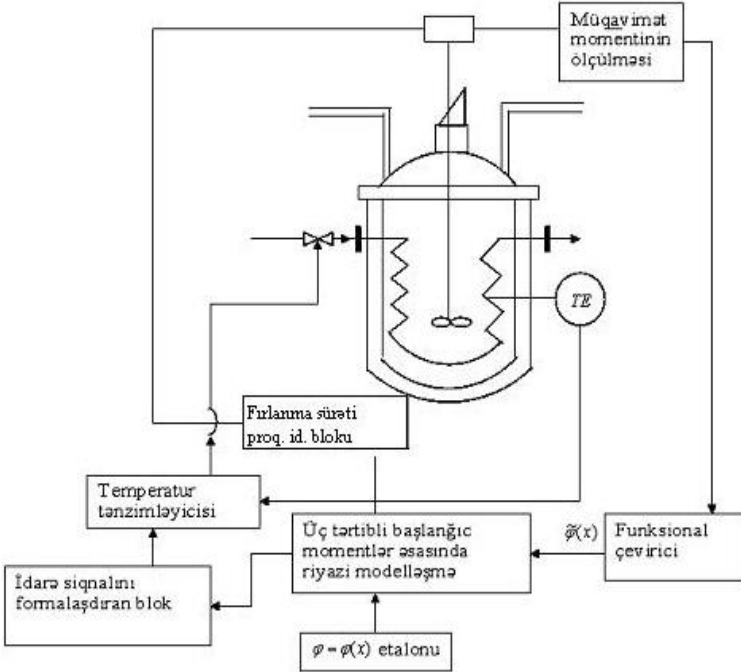
Xətti operatorlar nəzəriyyəsinə mənəvi ki, bazis təşkil edən ilkin  $X$  vektorlar sistemini ixtiyari  $Y$  vektorlar sistemine inikas etdirən xətti operator birqiyəmətli təyin olunmuşdur. Bu matrisi tərs matris qurma yolu ilə əldə etmək mümkündür.

Matris cəbrinə əsaslanaraq çevirici  $A$  matrisini aşağıdakı şəkildə təyin etmək mümkündür:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mm} \end{pmatrix}^{-1}$$

Cədvəl 1-də epoksid qətranının müxtəlif markaları üzrə aparılmış rotasiya eksperimentlərinin ədədi qiymətləri öz əksini tapmışdır. Təcrübələrin sayı və vektorların ölçüsü 3-ə bərabər götürülmüşdür. Həmin oliqomer molekulları üçün MKPF-lər əsasında momentlərin hesablanması Qaus funksiyası formasında götürülmüş empirik funksiyaya görə hesablanmışdır. Nümunə xarakteri daşıyan bu hesablamaların dəqiq nəticələrlə əvəz olunması üçün , təbii, daha geniş laborator-eksperimental imkanlar tələb olunur ki, müasir dövrdə belə şəraitin yaradılması heç bir prinsiplial çətinliklə qarşılaşmır.

Şəkil 13-də yuxarıda təsvir olunan alqoritm üzrə real texnoloji prosədə MKPF-lərin identifikasiyasə üçün həyata keçirilən prosedurun blok-sxemi göstərilmişdir.

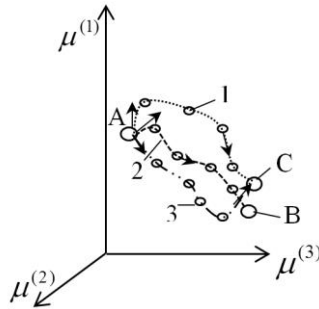


Şəkil 13. Molekulyar kütlə paylanma funksiyasının dolayı təyin etmə sisteminin funksional quruluşu

**Dördüncü fəsildə** periodik polimerləşmə prosesi üçün vəziyyətlər fəzası konsepsiyası əsasında optimal idarəetmə alqoritmləri işlənir. Periodik polimerləşmə prosesinin idarə olunmasında viskozimetrik vəziyyətlər fəzası anlayışı daxil edilir.

Fərz edək ki, polimerləşmə prosesinin fundamental olaraq vəziyyətini əks etdirmək qabiliyyətinə malik olan  $(\mu^{(1)}, \mu^{(2)}, \mu^{(3)})$  kompleksi ölçmə yolu ilə zamanın ixtiyari anında  $0 < t < T$  əldə edilə bilər. Burada  $T$  – periodik polimerləşmə prosesinin tam bir gedişi üçün nəzərdə tutulan müddətdir (periodudur). Şərtləşək ki, molekulyar kütlə paylanma funksiyalarının üç komponentli başlanğıc momentlər fəzasına inikası verilmiş dəqiqlik çərçivəsində təqribi olaraq birqiymətlik tələbini ödəyir.

Vəziyyətlər fəzasının tərtib olunma məsələsi ilə əlaqədar diqqətimizi cəlb edən mühüm bir məsələ baxdığımız dinamik sistemin “*təsirardı effektinə*” (after-effect) malik olub-olmaması məsələsidir. Bu effektin şərhini həyata keçirmək və nəticəyə gəlmək üçün əvvəllərdə daxil etdiyimiz üç ölçülü fəzada trayektoriya anlayışını da daxil etməli olmuşuq. Şəkil 14-də həmin trayektoriyalardan bir neçəsi öz əksini tapmışdır.



Şəkil 14. Momentlər fəzasında üç trayektoriyanın təsviri:  
1 və 3 ayrıləri hər ikisi üçün eyni olan C nöqtəsində məhdudlaşırlar;  
2-əyrisi B nöqtəsi ilə məhduddur

Şəkildəki təsvirdə eyni nöqtədən çıxan üç trayektoriya zamanın müxtəlif anlarında fəzanın müxtəlif nöqtələrində qərar tuturlar. Üç ölçülü koordinat sistemində zaman koordinatı iştirak



etməsə də hesablama – idarəetmə sistemində zaman koordinatının da qeyd olunması həyata keçirilir. Axıcılıq əyrilərinə MKPF-lərin inikası, momentlərə isə axıcılıq funksiyalarının parametrləri kimi baxılır.

Meydana çıxan bu məsələnin dəqiq cavabı, əlbəttə, eksperimental yollardan istifadə əsasında əldə oluna bilər. Məntiqi mühakiməyə əsaslanan cavab isə o müddəaya istinad edir ki, molekulyar kütlə paylanma funksiyaları polimer kütlələr üçün kifayət qədər əsasla keyfiyyət xarakteristikası kimi özünü təsbit etmişdir. Beləliklə, qəbul edilir ki, polimerləşmədə viskozimetrik vəziyyətlər fəzası aşağıdakı xassələri daşıyır:

1. Axıcılıq funksiyalarına əsasən tərtib olunmuş momentlər fəzasında hər bir nöqtə polimer kütlənin konkret keyfiyyət xarakteristikası olaraq unikalığa malikdir;

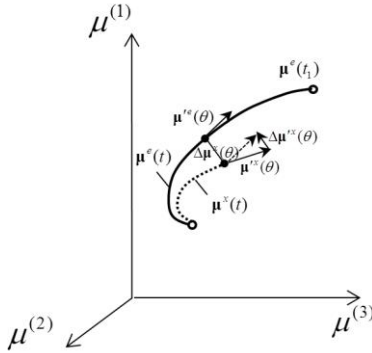
2. Keyfiyyət həmin fəzada yalnız nöqtənin koordinatları ilə müəyyən olunur, həmin koordinatlara gətirən yol (trayektoriya) keyfiyyəti praktiki olaraq müəyyən etmir.

Bu xassələr , hesab edirik ki, optimal trayektoriya anlayışının daxil edilməsinə və ondan keyfiyyətin idarə olunma məsələsinin həllinə zəmin yaradır.

### **Vəziyyətlər fəzasında etalon trayektoriya, meyletmə və sürət vektoru.**

Axıcılıq funksiyalarının momentlər fəzasına inikas etdirilməsi və bu funksiyanın zamandan asılı olaraq dəyişməsi Şəkil15-də verilmiş təsviri yaratmış olur.

Təsvirdə əsas mövqelərdən birini etalon trayektoriya, yəni  $\mu^e(t)$  ilə işarə olunan əyri tutur. Prosesin bitirildiyi zaman kəsiyi qrafikdə  $t_1$  kimi qeyd edilmişdir. Zamanın dəyişdiyi intervalın ixtiyari nöqtəsi  $\theta \in (0, t_1]$  kimi işarə edilmişdir. Həmin qrafikdə optimal trayektoriyadan fərqli, digər trayektoriya və onun  $t_x$  anında  $\mu^e(t)$  nöqtəsindən meyletməsini ifadə edən  $\|\Delta\mu^x(\theta)\|$  parçası göstərilmişdir. Həmin parçanın uzunluğu aşağıdakı kimi müəyyən olunur:



Şəkil 15. Momentlər fəzasında optimal və cari trayektoriyalar, ixtiyari  $\theta$  zamanında meyletmə və müvafiq sürət vektorları

$$\varepsilon = \|\Delta\mu^x(\theta)\| = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (\mu^{e,(i)}(\theta) - \mu^{x,(i)}(\theta))^2}$$

harada ki,  $\mu^{e,(i)}(\theta), \mu^{x,(i)}(\theta)$  – uyğun olaraq zamanın etalon və cari trayektoriyalar üzərində müvafiq nöqtələri ifadə edir.

İdarəetmə məsələsini belə ifadə edək: ixtiyari  $\theta$  anında  $\Delta\mu^x(\theta)$  meyletməsinə müvafiq elə idarəetmə təsiri təyin etmək lazımdır ki, bu təsir meyletməyə mütənasib və onun əksinə yönəlmiş olsun.

Məsələnin bu şəkildə qoyuluşu ilə əlaqədar olaraq polimerləşmə prosesində idarəetmə təsirinin mövcud olduğunu qəbul edərək, onu  $u$  ilə işarə edək.

Baxdığımız  $u$  kəmiyyətinin sistemin dinamikasına təsirini aperiodik keçid prosesli olacağı şübhə doğurmur. Bunu nəzərə alaraq, sistemin ixtiyari vəziyyətində idarə təsirinə olan reaksiyanı aperiodik qəbul etməyə tam əsas vardır. Bu reaksiyanı təyin etmək üçün Şəkil 15-də verilmiş grafikdəki daha iki vektorun iştirak etdiyini və onların sürət vektorları olduğuna diqqət yetirək. Qeyd edək ki, həmin sürət vektorları iki yaxın  $h$  zaman kəsiyində sistemin vəziyyət vektorlarının fərqi ilə müəyyən olunurlar:

$$\mu^{rx}(\theta) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\mu(\theta + h) - \mu(\theta)}{h}$$

Meyletmənin  $\mu^{e(i)}(\theta), \mu^{x(i)}(\theta)$  vektorları arasındakı bucaqdan asılılığını əsas tutaraq, həmin bucağa  $u$  skalyarının təsirini modelləşdirilməsini nəzərdən keçirək. Üç ölçülü vektor fəzasında qalan  $\xi$  bucağın təyin edilməsi üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edilmişdir:

$$\xi = \arccos \frac{\sum_{i=1}^3 \mu^{e(i)}(\theta) \mu^{x(i)}(\theta)}{\left( \sum_{i=1}^3 (\mu^{e(i)}(\theta))^2 \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left( \sum_{i=1}^3 (\mu^{x(i)}(\theta))^2 \right)^{\frac{1}{2}}}$$

harada ki,  $\mu^{e}(\theta), \mu^{x}(\theta)$ - momentlər fəzasında uyğun olaraq etalon və cari sürət vektorlarıdır.

Bundan sonra etalona nəzərən  $\varepsilon$  meyletməsini  $\xi$  bucağı və trayektoriya üzrə  $\tau$  müddət ərzində qət edilən  $L$  məsafəsi ilə əlaqələndirərək, həmin  $\varepsilon$  kəmiyyəti üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\varepsilon = L \sin \xi; L = \int_0^{\tau} \sum_{i=1}^3 (\mu^{x(i)}(\theta))^2 d\theta \quad (4)$$

Bundan sonra idarəetmə kanalı üzrə keçid prosesinin aperiodik olduğunu əsas qəbul edərək, müvafiq keçid prosesi diferensial tənliyi yazılır:

$$a_1 \frac{d\varepsilon}{dt} + a_2 \varepsilon = 0; \text{ və ya } \frac{d\varepsilon}{dt} + a\varepsilon = 0$$

Alınmış ifadəni idarə kanalı üzrə keçid prosesi kimi, idarə təsirini isə düzbucaqlı impuls sinfinə mənsub olduğunu nəzərə alaraq, yəni:

Bu əsasla keçid prosesi üçün aşağıdakı tənliyi yaza bilərik:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + a\varepsilon = u(t) \quad (5)$$

### **Arzu olunan keyfiyyəti təmin edən optimal trayektoriya məsələsi.**

Son illər polimer texnologiyasında arzu olunan keyfiyyətə malik materiallar əldə edilmə məsələsi çox aktualıq kəsb etmiş və qeyd edək ki, bu məsələni molekulyar kütlə paylanma

funksiyalarının nəzərə alınması ilə həll etməyə üstünlük verilir. Axıcılıq funksiyası və həm də onun momentlər fəzasındakı inikasını əks etdirən kəmiyyətlər ilə molekulyar kütlə paylanma funksiyaları arasında sıx əlaqənin olduğundan bu məsələdə də müvəffəqiyyətlə istifadə oluna bilər.

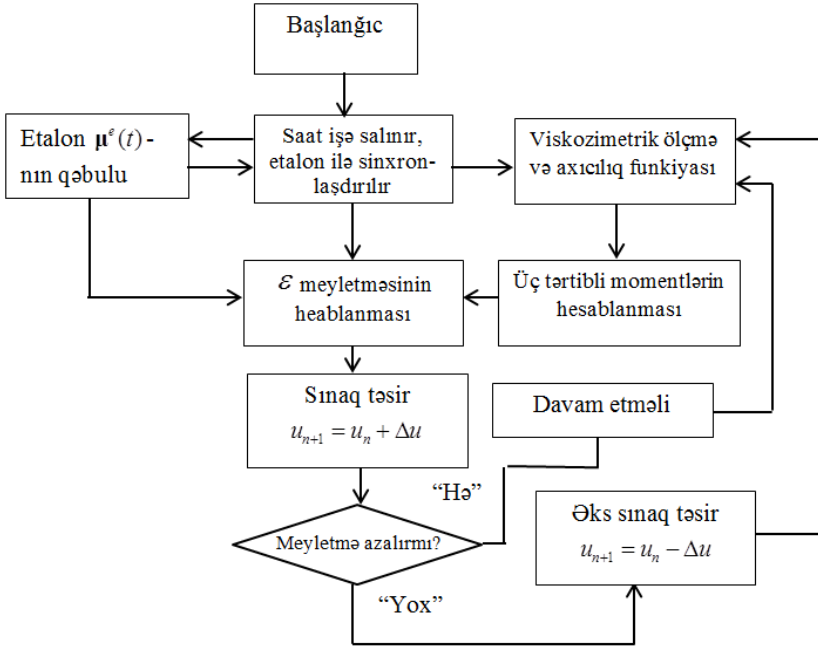
Ümumi idarəetmə konsepsiyasına istinadən deyə bilərik ki, (5) diferensial tənliyinin  $t = t_1$  zaman kəsiyində etalon moment vektoruna yaxınlaşmanı təmin edən alqoritmın işlənməsi qarşıda durur. Həmin düsturda meyletmə meyarı olan  $\varepsilon(t)$  funksiyası zamanın  $t_1$  anında sıfıra yaxınlaşmalı və bununla da optimallıq kriterisini təmin etməlidir. Zamanın ixtiyari anında isə əks əlaqə prinsipi əsasında meyletməyə mütənasib aşağıdakı idarəetmə tənliyini yazı bilərik:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + a\varepsilon = k(t)\varepsilon; \text{ və ya } \frac{d\varepsilon}{dt} + (a - k(t))\varepsilon = 0; \quad (6)$$

Qeyd edək ki, (6) ifadəsi əslində ənənəvi mütənasib əks əlaqə konsepsiyasının diferensial tənlik formasını özündə əks etdirir. Bu yanaşmanı alqoritmləşdirmək prinsipial çətinlik yaratmır. Zamanın hər kəsiyində momentlər ölçülməli, müvafiq moment vektorunun norması hesablanmalı, (4) düsturuna əsasən  $\varepsilon$  meyletməsi hesablanmalı və onun qiymətinə və işarəsinə uyğun ya polimerləşdirmə reaksiyasını sürətləndirən, ya da sürətini aşağı salan təsir tətbiq edilməlidir. Əks əlaqə mexanizmi əsasında idarəetmə Şəkil 16-da blok sxemi verilmiş alqoritm ilə əyani surətdə ifadə oluna bilər.

Göründüyü kimi idarəetmə prosesinin əsas məsələsi olaraq idarə təsirinin momentlər vektoruna gətirdiyi yerdəyişmənin müəyyənləşdirilməsidir.

Qeyd edək ki, üç ölçülü momentlər fəzasında sürət vektoru fəzada məhz üç koordinat oxuna nəzərən əmələ gətirdiyi bucaqla müəyyən olunur.



Şəkil16. Polimerləşmə prosesinin gedişində viskozimetrik ölçmələr əsasında etalon trayektoriyaya yaxınlaşma alqoritminin blok-sxemi

İdarə təsiri vektorunun reaksiya inisiatoru, inqibitor və temperaturdan ibarət olduğunu qəbul edək. Belə olduqda aşağıdakı xətti çevrilmə operatoruna yenidən müraciət özünü doğrulda biləcəkdir. Lakin, daha yüksək səmərəliliklə üç ölçülü reqressiya asılılığı empirik modelləşdirmə metodu ilə əldə oluna bilər.

Aşağıda reqressiya asılılığına istinad edən modelin strukturu təsvir edilmişdir.

$$\begin{aligned}
 \varphi_{1,2} &= a_{11}u_1 + a_{12}u_2 + a_{13}u_3 + a_{14}; \\
 \varphi_{1,3} &= a_{21}u_1 + a_{22}u_2 + a_{23}u_3 + a_{24}; \\
 \varphi_{2,3} &= a_{31}u_1 + a_{31}u_2 + a_{31}u_3 + a_{34};
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

harada ki,  $\varphi_{1,2}; \varphi_{2,3}; \varphi_{1,3}$  – uyğun olaraq sürət vektorunun koordinat oxları ilə əmələ gətirdiyi bucağı,  $u_1, u_2, u_3$  – isə prosesin sürətini artırmaq üçün nəzərdə tutulan inisiatorun nisbi miqdarını (reaksiya kütləsinin vahid həcminə gətirilmiş miqdarını, reaksiya sürətinin məhdudlaşdıran inqibitorların miqdarını, reaksiya qarışığının temperaturunu ifadə edir.

### **İdarə kanalı üzrə keçid prosesinin nəzərə alınması.**

Tədqiqatda nəzərə alınmışdır ki, böyük ətalət xassəsinə malik texnoloji proseslərin idarəetmə praktikasında idarəetmə modeli olaraq impuls keçid xarakteristikasından qismən az hallarda istifadə olunmasının əsas səbəbi bu modelin empirik təyin olunmasında texniki çətinliklə, yəni eksperimental olaraq çəki funksiyalarının qeyd edilməsində böyük xətalara yol verilə bilər. Ona görə də keçid prosesi üçün yazılmış (5) diferensial tənlik modelini çəki funksiyası formasına gətirmək və sonra onun əsasında sistemin reaksiyasını Dyüamel inteqralı formasında ifadə etmək zərurəti yaranır.

Dyüamel inteqralı, məlum olduğu kimi, xətti sistem üçün əldə olunmuş ötürmə funksiyası əsasında yazıla bilər. Laplas operatoru formasında olan hər bir ötürmə funksiyasının girişinə delta-impuls ilə təsir etdikdə həmin xətti sistemin çıxışında alınan reaksiya çəki funksiyasını müəyyən etmiş olur.

Delta impulsu, sadəcə olaraq kifayət qədər ensiz və yüksək amplitudlu impuls kimi qəbul etməklə sistemin çıxış reaksiyasını əldə etmək və onu Laplas çevirməsi şəklində təsvir etmək hazırki dövrdə standart proqramlar vasitəsilə asan həll oluna bilər.

Sistemə olan xarici təsirin, yəni polimerləşmə reaktoru daxilində inisiatorun və ya inqibitorun qatılıqlarından ibarət

olduğu və onların  $\frac{d\delta}{dt} + a\delta = u(t)$  modelində  $u(t)$  ilə işarə

etdiyimizlə əlaqədar olaraq, qeyd etməliyik ki, baxılan halda idarə təsirinə yalnız zamana görə törəməsindən, yəni  $u'_t$  – dən istifadə etmək imkanımız vardır. Bu arqument də öz növbəsində idarə kanalı üzrə keçid prosesini məhz dyüamel inteqralı formasında

yazılmış modelindən istifadə olunmasını şərtləndirir. Bu halda sistemin idarə təsirinə reaksiyasını aşağıdakı kimi ifadə edirlər:

$$y(t) = U(0)h(t) + \int_0^t U'(\xi)h(t-\xi)d\xi \quad (8)$$

harada ki,  $U(0)$ –idarə təsirinin (inisiatorun reaktordakı başlanğıc qatılığı),  $h(t)$ –idarə kanalı üzrə impuls keçid xarakteristikası,  $U'(t)$ –idarə təsirinin zamana görə törəməsi (reaktora verilən inisiator axınının kütlə sürəti),  $y(t)$ – sistemin vəziyyətinin dəyişmə funksiyasıdır.

Baxdığımız (5) diferensial tənliyinə müvafiq  $W(p) = \frac{k}{\frac{1}{a}p + 1}$

şəkilində olan ötürmə funksiyasına uyğun çəki funksiyası aşağıdakı şəkildədir:

$$h(t) = k \cdot a \cdot e^{-at}$$

(9)

harada ki,  $\frac{1}{a}$  – təsir kanalı üzrə keçid prosesinin zaman sabiti,  $k$  – kanalın gücləndirmə əmsəlidir.

Kanalın çəki funksiyası formasında verilmiş modeli olan  $h(t) = kae^{-at}$  ifadəsinə əsasən sistemə təsir göstərən impulslara reaksiyanı təyin etmək üçün (7) ifadəsindən istifadə edək:

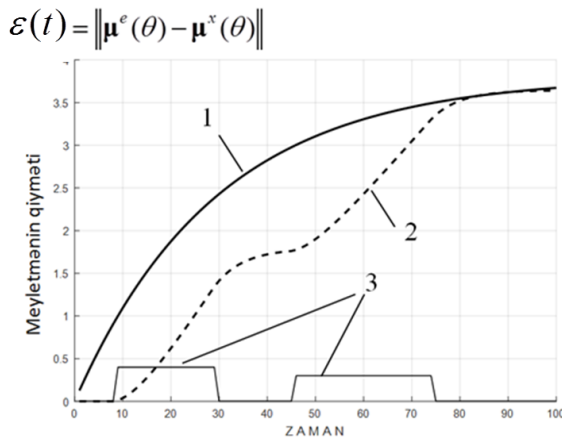
$$\varepsilon(t) = ka \int_0^t e^{-(at-\xi)} u'(\xi) d\xi \quad (10)$$

harada ki,  $k, a$ – (10) modelinin parametrləri (onlar parametrik identifikasiya mərhələsindən keçərək qiymətləndirilir),  $\varepsilon(t)$ – etalon trayektoriyadan meyletmə,  $u'(t)$ –reaktora verilən inisiatorun və /vəya inqibitorun kütlə sürətini əks etdirən vektor-funksiyadır.

Baxılan idarəetmə konsepsiyası əsasında model məsələsinin nümunə üçün tərtib olunan variantı MATLAB proqramlaşdırma mühitində həll edilmişdir. Nümunə üçün tərtib olunan məsələdə idarə təsiri kimi inisiatorun sərfi qəbul edilmişdir. İki koordinatlı

idarə vektoru olan məsələ skalyar idarə təsirli məsələdən yalnız o zaman fərqlənməyəcəkdir ki, hər iki idarəetmə faktorunun birgə təsiri additivlik xassəsinə malik olub, ortoqonallıq əlamətini də daşımış olsun. Əlbəttə belə ağır şərt ilə bağlı tələbatı ödəməyən mürəkkəb polimerləşmə proseslərində bir faktorlu idarəetmədə olduğu kimi proqram idarəetməsinə nail olmaq mümkün deyildir. Bu hallarda insan-maşın idarəetmə sistemlərinin üstünlüklərindən istifadə olunması xeyli dərəcədə məsələni sadələşdirərək, səmərəliliyi yüksəldə bilər.

Şəkil 17-də skalyar idarə təsiri olan hal üçün model məsələsinin həlli nümayiş etdirilir. Məsələ sıfır başlanğıc şərti üçün tərtib olunmuş və idarə təsirinin impulsiv tətbiqi ilə sistemdə iki pillədən ibarət keçid prosesli idarəetmə nümunəsi əldə edilmişdir.



Şəkil 17. İmpulsiv idarə təsirləri ilə etalon trayektoriyaya yaxınlaşmanı əks etdirən qrafiklər

Sistemə inisiatorun ilkin verilməsi zamanın  $t = (7 - 30)$  deq intervalını əhatə edən impuls formasında həyata keçirilmişdir. İmpulsun amplitudu bu zaman ərzində sabit saxlanılmış və onun qiyməti  $A = 0.5$  -ə bərabər götürülmüşdür. Bu impulsun təsiri tükəndikcə, polimer əmələ gəlmə reaksiyası yenidən sürətinin hiss



olunacaq qədər azaldaraq qrafikin əyilməsini meydana gətirir. Növbəti impulsun (45–75)–ci zaman intervalında təsir göstərməsi polimerləşmə sürətini yenidən artırır və etalon trayektoriyaya yaxınlaşma prosesi meydana çıxır.

## **DİSSERTASIYA İŞİNİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ**

1. Polimerləşmə proseslərinin xarakterik cəhətləri avtomatik nəzarət və idarəetmə obyektini nöqtəyi-nəzərindən təhlil olunmuş, polimer kütlələr istehsalında keyfiyyətə nəzarət probleminin həlli istiqamətində elmi məlumat ümumiləşdirilmişdir. [1,4]

2. Polimerləşmə proseslərində tətbiq olunan ölçmə-idarəetmə metodlarının müqayisəli təhlili aparılmış viskozimetrik keyfiyyətə nəzarət məsələsinin perspektivləri əsaslandırılmışdır.[8,9]

3. Polimer kütlələrin keyfiyyət baxımından effektiv keyfiyyət göstəricisi olan molekulyar kütlə paylanma funksiyalarının dolayı qiymətləndirmə məsələsi riyazi olaraq işlənmiş və həll istiqamətində perspektivlər araşdırılmışdır. [5,6]

4. Polimerlərin molekulyar kütlə paylanma funksiyalarının Qaus funksiyası parametrləri vasitəsi ilə approksimasiyası üçün metod təklif olunmuşdur.[3,7]

5. Polimer əsaslı polidispers struktura malik qeyri-nyuton axıcı mühitin rotasion reoloji tədqiqi məsələsi qarşıya qoyulmuş və onun keyfiyyətə nəzarət baxımından informativlik göstəricilərinin qiymətləndirilməsi üçün metod işlənmişdir.[10]

6. Qeyri-nyuton xassəli polimerləşmə reaksiya mühitinin reoloji tədqiqatı üçün rotasion ölçü prinsipi işlənmiş və onun laborator ölçü cihazı nümunəsində realizasiyası əldə olunmuşdur.[15]

7. Empirik axıcılıq funksiyalarının 3 tərtibli başlanğıc momentlər oblastında parametrikləşdirilməsi metodu işlənmiş və həmin parametrlər fəzasında keyfiyyət göstəricilərinin identifikasiyası üçün üsul işlənmişdir. [9]

8. Molekulyar kütlə paylanma funksiyaları ilə keyfiyyət göstəriciləri vektorları arasında funksional əlaqə yaradan xətti operatorun qurulma alqoritmi işlənmişdir.[11]

9. Polimerləşdirmə reaktoru qarışdırıcı intiqalının rast gəldiyi müqavimət momentinin ölçülməsinə əsasən reaksiya qarışığının operativ reoloji tədqiqi üçün metodik əsaslar işlənmiş və informativlik faktoru qiymətləndirilmişdir. [12,13]

10. Polimerləşmə prosesində viskozimetrik ölçmələr əsasında zərərli gel-effektin erkən proqnozlaşdırılması və avtomatik nəzarət sistemi alqoritmi işlənmişdir. [17]

11. Periodik polimerləşmə prosesi üçün vəziyyətlər fəzası konsepsiyası əsasında optimal idarəetmə alqoritmi işlənmişdir.[16]

12. Polimerləşmə prosesində arzu olunan keyfiyyət və onun əldə olunması üçün optimal trayektoriyanın əldə olunma məsələsi tərtib olunmuş və həll alqoritmi işlənmişdir.[14]

## **DİSSERTASIYA İŞİNİN MÖVZUSUNA DAİR DƏRC OLUNMUŞ ELMİ ƏSƏRLƏRİN SİYAHISI**

1. Nağıyev Ə.H., Həşimova H.M, Əliyeva F.A. Dəyişən həcmli realizasiyaları əsasında psevdotəsadüfi ədədlər generatorlarının testləndirilməsinə dair// SDU-nun Elmi Xəbərdəri, Sumqayıt: cild.12, №3, 2012, s.52-55.

2. Nağıyev Ə.H., Həşimova H. M. Polimer materialların fiziki xassələrinin optimal idarə olunma məsələsinə dair // SDU-nun Elmi xəbərləri, Sumqayıt: 2012, c.12, s.96-99.

3. Nağıyev Ə.H., Həşimova H. M. Polimerləşdirmədə keyfiyyətə nəzarət probleminə dair. /Sumqayıt, II Respublika Elmi Konfransı, 2012, s. 105-106

4. Nağıyev Ə.H., Həşimova H. M. Polimerlərin molekulyar kütlə paylanma funksiyalarının üç ölçülü momentlər fəzasına inikası haqqında// Bakı Universitetinin Xəbərləri, 2013, №3, s.83-87.

5. Nağıyev Ə.H., Həşimova H.M. Latekslərin rotasiya xarakteristikası əsasında molekulyar kütlə paylanma funksiyasının əldə edilməsinin bir metodu haqqında, Ekologiya və

Həyat fəaliyyətinin mühafizəsi üzrə Sənaye ilinə həsr olunmuş VIII ənənəvi Beynəlxalq elmi konfransı, Sumqayıt: 2014, s.84-85

6. Нагиев А.Г., Гашимова У.М., Рагимова М.Р. Использование энергетических параметров приводов перемешивающих устройств в математическом моделировании процессов полимеризации./ Energetikanın müasir elmi-texniki və tətbiqi problemləri Beynəlxalq elmi konfransının materialları, Sumqayıt: 2015, c. 108-110.

7. Həşimova H. M. Polimerləşmə prosesində keyfiyyətə operativ nəzarət sisteminin işlənməsi/ Akademik T. Şaxtaxtinskiyin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika Elmi konfransı. Bakı: 2015, s. 242.

8. Həşimova H. M. Polimer materialların özlülük müqavimətinin elektromexaniki xarakteristikalarının parametrikləşdirilməsi haqqında/ Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XIX Respublika elmi konfransının materialları, Bakı: 2015, 154-156.

9. Нагиев А.Г., Садыхов В.В., Гашимова У.М. Идентификация функций молекулярно-массового распределения полимерных материалов по их механическим параметрам вязкого сопротивления/ Пластические массы. Москва: 2016, №7-8,

10. Sadıxov V.V, Həşimova H.M, Rəhimova M.R. Polimerlərin özlülük və axıcılıq parametrləri ilə bağlı elektromexaniki tədqiqi. , Maşınqayırmada intellektual texnologiyalar Beynəlxalq elmi–texniki konfransın materialları, Bakı: 2016. s.309-310

11. Həşimova H. M. Özlü müqavimət mexaniki parametrlərinə görə polimer materialların molekulyar-kütlə paylanma funksiyalarının identifikasiyası. // Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri, Bakı: 2017, c.19, № 2, s. 93-98.

12. Həşimova H. M. Sintetik latekslərin müxtəlif temperatur və qatılıq şəraitində rotasion tədqiqi/ Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI Respublika Elmi Konfransının materialları. Bakı: 2017, s.31-32.

13. Нагиев А.Г., Гашимова У.М. К задаче управления качеством полимерных композитных материалов на основе их фрикционно-вязкостных параметров/, *İnformasiya sistemləri və texnologiyalar nailiyyətlər və perspektivlər Beynəlxalq Elmi konfransın materialları*. Sumqayıt: 2018, s. 66-68.

14. Həşimova Н. М. Polimerləşmə prosesində viskozimetrik ölçmələr əsasında gel-effektə avtomatik nəzarət sistemi// *AzTU-nun Elmi xəbərləri*, Bakı: 2019, c.60, №3, 154-159.

15. Нагиев А.Г., В.В. Садыхов, У.М. Гашимова. Ротационное исследование внутреннего трения вязкой среды и оценивание информативности результатов по прогнозу качества синтетических латексов . Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной дню Химика и 40-летию кафедры химико-технологических процессов филиала Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Салавате. с. 184-185.

16. Nagiev A.G., Sadykhov, V.V. & Gashimova, U.M. Identification of Properties of Composite Polymer Materials in the Space of Their Rotational–Viscous Characteristics. *Tech. Phys.* 65, 232–237 (2020). <https://doi.org/10.1134/S1063784220020176>

17. Həşimova Н. М. Polimerləşmə proseslərində məhsulun keyfiyyətinə zərərli təsir göstərən gel-effektin erkən proqnozlaşdırılma məsələsi. /, *İnformasiya sistemləri və texnologiyalar nailiyyətlər və perspektivlər. II Beynəlxalq Elmi konfransın materialları*. Sumqayıt: 2020, s. 39-40.

### **Həmmüəlliflərlə birgə işlərdə iddiaçının şəxsi fəaliyyəti:**

[1] –Hesabat proqramlarının tərtibi və nəticələrin analizi;

[2,4,5] - Üç tərtibi başlanğıc momentlər fəzasının arzu olunan parametrlər vektoru fəzasına inikas alqoritminin işlənməsi.

[3,7] - Polimerləşmə reaktorunun istilik rejimlərinin optimal idarəetmə məsələsinin riyazi tərtib olunması və həll alqoritminin işlənməsi.

[6] - Qarışdırıcı intiqalda özlü müqvimət momentinin hesablanma alqoritminin işlənməsi;

[9] - Viskozimetrin həssas elementi – rotorun qarşılaşdığı müqavimət momentinin hesablanması və axıcılıq ayrılığının əldə etmə prinsipinin işlənməsi.

[10] - Polimerləşmə reaktorunun qarışdırıcı intiqalının dəyişən sürət rejimində valında yaranan müqavimət momentinin ölçülmə məsələsinin həll algoritminin işlənməsi;

[13] - Polimerləşmə proseslərinin keyfiyyət kriterili optimal idarəetmə məsələsinin riyazi tərtib olunması;

[15] - Reoloji tədqiq əsasında keyfiyyət baxımından informativliyinin qiymətləndirilmə və keyfiyyətin proqnozu məsələlərinin həlli.



Dissertasiyanın müdafiəsi “31” oktyabr 2022-ci il tarixində, saat 14.00 da Sumqayıt Dövlət Universiteti nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.25 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Sumqayıt şəhəri, 43-cü məhəllə, Bakı küç. 1, AZ5008  
e-mail: [info@sdu.edu.az](mailto:info@sdu.edu.az)

Dissertasiya işi ilə Sumqayıt Dövlət Universiteti kitabxanasında tanış olmaq olar.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları [www.sdu.edu.az](http://www.sdu.edu.az) rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat “\_\_\_” sentyabr 2022-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 20.09.2022  
Kağız formatı: A5  
Həcmi: 38785  
Tiraj: 100