

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **DİSKRET QEYRİ-XƏTTİ DİNAMİK SİSTEMLƏRƏ DAXİL OLAN PARAMETRLƏRİN TƏYİNİ ÜÇÜN PROQRAM TƏMİNATININ İŞLƏNMƏSİ VƏ TƏTBİQLƏRİ**

İxtisas: 1214.01- Dinamik sistemlər və optimal idarəetmə

Elm sahəsi: Riyaziyyat

İddiaçı: **Atif Akif oğlu Namazov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

### **AVTOREFERATI**

**Bakı – 2022**

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

**Elmi rəhbər:**

AMEA-nın həqiqi üzvü, professor  
**Fikrət Əhmədəli oğlu Əliyev**

**Rəsmi opponətlər:**

riyaziyyat üzrə elmlər doktoru, dosent  
**Şakir Şıxı oğlu Yusubov**

riyaziyyat üzrə elmlər doktoru, dosent  
**İlqar Qürbət oğlu Məmmədov**

fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent  
**Rəşad Sirac oğlu Məmmədov**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.04 Dissertasiya şurası.

Dissertasiya şurasının sədri: AMEA-nın müxbir üzvü, professor  
\_\_\_\_\_ **Misir Cumail oğlu Mərdanov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: f.r.e.n.  
\_\_\_\_\_ **Əbdürrəhim Fərman oğlu Quliyev**

Elmi seminarın sədri: f-r.e.d., professor  
\_\_\_\_\_ **Hamlet Fərman oğlu Quliyev**

## **İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI**

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi:** Neft quyularının istismarı zamanı qaz-lift üsulundan istifadə edərkən optimal rejimin müəyyənəşdirilməsi üçün proqram trayektoriyasının qurulmasını göstərmək olar. Qazlift üsulu XIX əsrin axırlarında Bakıda Nobel qardaşları tərəfindən təklif olunmasına baxmayaraq, hələ bu vaxta qədər qaz-liftin riyazi modeli mükəmməl olaraq işlənməmişdir. Bu sahədə Şurov V.İ., A.Mirzəcanzadə, Eikrem G.O. və s. müəlliflərin çoxlu sayda tədqiqatları var. Həmin tədqiqat işlərində əsasən bəzi texniki məsələlər tədqiq olunur, amma Eikremin işlərində əsasən mayenin hərəkəti maddi nöqtənin hərəkəti ilə eyniləşdirilərək müxtəlif məsələlərə baxılır. Burada həmin eyniləşdirmə çox da əsaslı olmadığından məsələdə optimal rejimin tapılması və stabilləşdirmə məsələlərinin özündə müəyyən çatışmamazlıqlar olur. Bu baxımdan ilk dəfə olaraq Əliyev F.Ə., İlyasov M.X. və Camalbəyov M.A. tədqiqat işlərində qaz-lift prosesi zamanı qaz və maye-qaz qarışığının hərəkətini xarakterizə edən mükəmməl riyazi modeli vermişlər. Sonradan isə bu modelə uyğun bəzi məsələlərin həllini Əliyev F.Ə., İlyasov M.X. və Nuriyev N.B. xətti kvadratik optimal idarəetmə məsələsinin həllinə gətirmişlər.

### **Tədqiqatın obyektı və predmeti:**

Tədqiqat işinin obyektı neftçıxarmada qazlift üsulu vasitəsi ilə identifikasiya məsələsinin həllidir. Diskret dinamik sistemlərdə, neftçıxarmada, ilk dəfə olaraq kəsr tərtib törəməli diferensial tənliklər vasitəsi ilə hidravlik müqavimət əmsalı təyin edilir, verilmiş alqoritmlər əsasında müvafiq praktiki məsələnin həlli üçün kompüterdə hesablamalar aparılmış və bu üsulun üstünlükləri məlum modellərlə müqayisədə təsdiqlənmişdir.

**Tədqiqatın məqsədi.** Dissertasiya işinin məqsədi neft sənayesində neftin çıxarılması üçün avtomatik idarəetmə sistemlərinin yaradılmasında qaldırıcı boruda hidravlik müqavimət əmsalının təyini üçün üsulların işlənməsindən, ştanqnasos qurğularında plunjerin yeni hərəkət modelinin kəsr tərtib rəqsi sistemlərlə təsviri, kəsr tərtibin təyini, fəza halında diskret Rosser

modelinin qurulması və onun vasitəsilə fəza halında hidravlik müqavimət əmsalının təyindən ibarətdir.

**Tədqiqat metodları:** İşdə xüsusi törəməli diferensial tənliklərdən, diskret çevrilmələrdən, təqribi hesablama üsullarından, müasir proqramlaşdırma və MATLAB proqram paketlərindən istifadə olunmuşdur.

**Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:**

1. Dinamik sistemlərin təyin oblastı boyu sabit qeyri-müəyyən parametrlərin təyini üçün uyğun identifikasiya məsələsi həll olunmuş və sistemə kiçik parametrlər daxil olduqda uyğun asimptotik üsul təklif olunmuşdur.
2. Neftçıxarmada nasos kompressor borusunun bütün hissələrində hidravlik müqavimət əmsalının təyini üçün üsul işlənmişdir.
3. Təyin oblastı uyğun hissələrə bölündükdə neftçıxarmada həmin hissələrin hər birində hidravlik müqavimət əmsalının təyini üçün üsul verilmişdir.
4. Neftçıxarmada quyunun dərinliyi kifayət qədər böyük olduqda ilk dəfə həmin məsafənin tərsini kiçik parametr kimi qəbul edərək nasos kompressor borusunun bütün hissələrində hidravlik müqavimət əmsalının təyini üçün asimptotik üsul təklif olunmuşdur.
5. İlk dəfə kəsr tərtib diferensial tənliklərlə yazılan rəqsi sistemin (ştanqnasos qurğularında plunjerin hərəkəti) kəsr tərtib törəməsinin statistik verilənlər vasitəsilə tapılması üçün identifikasiya üsulu təklif olunmuş və uyğun alqoritm işlənmişdir.
6. Rəqsi sistemin kütləsi kifayət qədər böyük olduqda (plunjer neftlə dolduqda bu hal əmələ gəlir) həmin kütlənin tərsi kiçik parametr kimi qəbul edilərək, kəsr tərtibin təyini üçün daha sadə asimptotik üsul təklif olunur.
7. İlk dəfə olaraq qazlift prosesinin fəza halında diskret Rosser modeli təklif olunur və hidravlik müqavimət əmsalının hesablanması üçün alqoritm verilir.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi:**

1. Hidravlik müqavimət əmsalının tapılması üçün qaldırıcı boruda yeni effektiv üsul təklif olunur.

2. Qaldırıcı boru kifayət qədər uzun olduqda hər bir müxtəlif hissələrdə hidravlik müqavimət əmsalının təyini üçün yeni alqoritm təklif olunur
3. Yük kifayət qədər böyük olduqda onun tərsi kiçik parametrikimi qəbul edilərək kəsr tərtibin təyini üçün asimptotik üsul verilir.
4. Ştanq nasos qurğularında neft çıxarma prosesində meydempferli obyektin hərəkəti kəsr tərtib adi diferensial tənliklərlə yazılaraq kəsr tərtibin təyini üçün tərs məsələ həll olunur.
5. Qaz-lift prosesi üçün diskret Rosser modeli qurularaq hidravlik müqavimət əmsalı tapılır.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:** Alınmış nəzəri elmi nəticələr oxşar problemlərin tədqiq olunmasında, daha ümumi elmi nəticələrin alınmasında istifadə edilə bilər. İşlənib hazırlanmış metodlar və alqoritmlər konkret praktiki məsələlərin, o cümlədən neft quyularının optimal istismarı məsələlərinin həllinə tətbiqi nəzərdə tutulur..

**Aprobasiyası və tətbiqi:** Dissertasiya işinin əsas nəticələri BDU-nun Tətbiqi Riyaziyyat Elmi Tədqiqat İnstitutunun seminarlarında, AMEA RMİ-nin “Maye və qaz mexanikası” və “Riyazi fizika tənliklər” şöələrinin seminarlarında və aşağıdakı elmi konfranslarda məruzə edilmişdir: “Sənaye Tətbiqli İdarəetmə və Optimallaşdırma” adlı 5-ci beynəlxalq konfransda, COIA-2015 (Bakı, 2015); Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI Respublika elmi konfransda (Bakı, 2017); “Sənaye Tətbiqli İdarəetmə və Optimallaşdırma” adlı 6-cı beynəlxalq konfransda, COIA-2018 (Bakı, 2018); Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya, I Beynəlxalq elmi-praktiki konfransın materialları, (Bakı, 2019); “Sənaye Tətbiqli İdarəetmə və Optimallaşdırma” adlı 7-ci beynəlxalq konfransda, COIA-2020, (Bakı, 2020).

**İddiəçinin şəxsi tövhəsi.** Dissertasiya işində öz əksini tapan elmi nəticələrin hamısı şəxsən iddiaçının fəaliyyətinin və elmi rəhbərin ideya istiqamətinin, məsələnin qoyuluşunun konkret tədqiqat obyektinə tətbiqinin nəticəsidir.

**Müəllifin elmi nəşrləri.** Dissertasiya işinin mövzusu üzrə 19 elmi iş nəşr edilmişdir ki, onlardan 17-si məqalə, 2-si konfrans

materialıdır. Ümümlikdə Web of Science indeksli elmi nəşrlərin sayı 9-dur.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı:**

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

**Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiya işinin ümumi həcmi:**

Dissertasiya işinin ümumi həcmi - 208077 işarədir (titul -387, mündəricat -2554, giriş – 47136 işarə, birinci fəsil –72000 işarə, ikinci fəsil – 50000 işarə, üçüncü fəsil – 36000 işarə). Dissertasiya işi giriş, üç fəsil, nəticə, 81 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiya işinə 122 səhifəlik mətn, 3 şəkil və 1 cədvəl daxil edilmişdir.

## İŞİN MƏZMUNU

**Girişdə** dissertasiya işinin aktuallığı əsaslandırılır və bu sahədə aparılmış başqa tədqiqatların analizi aparılır.

**Birinci fəsilə** diskret halda qeyri-xətti dinamik sistemin parametrlərinin təyini üçün identifikasiya məsələsinə baxılmışdır.

**1.1-də** obyektin hərəkət tənliyi qeyri-xətti fərq tənliklər sistemi vasitəsilə təsvir olunur:

$$y(i+1) = f(y(i), \alpha), \quad i = \overline{0, N-1} \quad (1)$$

$$y_j(0) = y_{0j}, \quad j = \overline{1, M}. \quad (2)$$

Məsələ elə  $\alpha$  vektorunun təyin olunmasından ibarətdir ki, (1)-(2) Koşu məsələsinin həlli

$$y_j(N) = y_{Nj}, \quad j = \overline{1, M} \quad (3)$$

şərtini ödəsin. Buna görə də (1)-(3) məsələsinin həlli üçün kvazixəttiləşdirmə üsulundan istifadə edib, (1) tənliyini xəttiləşdirək:

$$y^k(i+1) = A(y^{k-1}(i), \alpha^{k-1})y^k(i) + B(y^{k-1}(i), \alpha^{k-1})\alpha^k + \\ + C(y^{k-1}(i), \alpha^{k-1}), \quad i = \overline{0, N-1} \quad (4)$$

(4) tənliyindən  $y^k(N)$  həllini aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$y^k(N) = \Phi^{k-1} y^k(0) + \Phi_1^{k-1} \alpha^k + \Phi_2^{k-1}. \quad (5)$$

Daha sonra  $k$ -cı iterasiya üçün aşağıdakı kvadratik funksionalı quraq:

$$I^k = \sum_{s=1}^n (y_s^k(N) - y_{Ns}^k)^T A (y_s^k(N) - y_{Ns}^k) \quad (6)$$

(6) funksionalında (5) ifadəsini nəzərə aldıqdan sonra alınmış funksionalın  $\alpha^k$  parametrinə nəzərən qradientini hesablayıb sifira bərabər edirik və  $\alpha^k$  parametri üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\begin{aligned} \alpha^k = & -\frac{1}{2} \sum_{s=1}^n (\Phi_{1s}^{k-1} A \Phi_{1s}^{k-1})^{-1} (y_s^{kT}(0) \Phi_s^{k-1T} A \Phi_{1s}^{k-1} + \\ & + \Phi_{1s}^{k-1T} A \Phi_s^{k-1} y_s^k(0) + \Phi_{1s}^{k-1T} A \Phi_{2s}^{k-1} - \Phi_{1s}^{k-1T} y_{Ns}^k + \Phi_{2s}^{k-1T} \Phi_{1s}^{k-1T} - \\ & - y_{Ns}^k \Phi_{1s}^{k-1}) \end{aligned} \quad (7)$$

burada fərz olunur ki,  $(\Phi_{1s}^{k-1} A \Phi_{1s}^{k-1})^{-1}$  mövcuddur.

**Teorem 1.** Tutaq ki,  $\alpha^k$  parametri (7) düsturu ilə,  $y^k(i)$  funksiyası (4) münasibəti ilə təyin olunur və  $\lim_{k \rightarrow \infty} \alpha^k = \alpha$ ,  $\lim_{k \rightarrow \infty} y^k(i) = y(i)$  doğrudur. Onda  $\alpha$  parametri üçün  $y(i)$  funksiyası (1)-(2) məsələsinin (3) şərtini ödəyən həllidir.

**1.2-də** obyektin hərəkəti aşağıdakı kimi

$$y(i+1) = f(y(i), \alpha, \varepsilon), i = \overline{1, N-1} \quad (8)$$

qeyri-xətti fərq tənlikləri sistemi və  $n$ -ölçülü  $y(x)$  faza vektorunun müəyyən

$$y_j(0) = y_{0j}, j = \overline{1, M}, \quad (9)$$

$$y_j(N) = y_{Nj} \quad (10)$$

başlanğıc və son qiymətləri vasitəsi ilə verilmişdir. Burada  $\varepsilon$  - kiçik parametrdir.

Məsələ (8) tənliyindən elə  $\alpha$  vektorunun təyin olunmasından ibarətdir ki, bu tənliyin verilmiş (9) başlanğıc şərti daxilində həlləri (10) statistik verilənlərə maksimum yaxın olsun.

(8)-(10) məsələsinin həlli üçün kvazixəttiləşdirmə üsulundan istifadə edərək, (8) tənliyini xəttiləşdirək:

$$y^k(i+1) = (A_0(y^{k-1}(i), \alpha^{k-1}) + \varepsilon A_1(y^{k-1}(i), \alpha^{k-1}))y^k(i) + (B_0(y^{k-1}(i), \alpha^{k-1}) + \varepsilon B_1(y^{k-1}(i), \alpha^{k-1}))\alpha^k + (C_0(y^{k-1}(i), \alpha^{k-1}) + \varepsilon C_1(y^{k-1}(i), \alpha^{k-1})) \quad (11)$$

(11) tənliyindən riyazi induksiya metoduna əsasən  $y^k(N)$  ifadəsi üçün də aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$y^k(N) = (\Phi_0^{0^{k-1}} + \varepsilon \Phi_0^{1^{k-1}})y^k(0) + (\Phi_1^{0^{k-1}} + \varepsilon \Phi_1^{1^{k-1}})\alpha^k + (\Phi_2^{0^{k-1}} + \varepsilon \Phi_2^{1^{k-1}}) \quad (12)$$

Aşağıdakı kimi kvadratik funksional quraq:

$$I^k = \sum_{s=1}^n (y_s^k(N) - y_{sN}^k)^T A (y_s^k(N) - y_{sN}^k) \quad (13)$$

(12) ifadəsini (13) funksionalında nəzərə alıb, alınan funksionalın  $\alpha^k$  parametrinə nəzərən qradiyentini hesablayaq. Daha sonra  $\alpha^k$  parametrinin  $\alpha^k \approx \alpha_0^k + \varepsilon \alpha_1^k + \dots$  ayrılışını daxil edib, bu ayrılışı qradiyentin ifadəsində nəzərə alaq və sıfıra bərabər etsək,  $\alpha_0^k$  və  $\alpha_1^k$  parametrlərinin təyini üçün aşağıdakı ifadələri alırıq:

$$\alpha_0^k = - \sum_{s=1}^n \left[ \left( \Phi_{1s}^{0^{k-1}T} A \Phi_{1s}^{0^{k-1}} \right)^{-1} \left( \Phi_{1s}^{0^{k-1}T} A \Phi_{0s}^{0^{k-1}} y_s^k(0) - \Phi_{1s}^{0^{k-1}T} A y_{Ns}^k + \Phi_{1s}^{0^{k-1}T} A \Phi_{2s}^{0^{k-1}} \right) \right], \quad (14)$$

$$\alpha_1^k = - \sum_{s=1}^n \left\{ \left( \Phi_{1s}^{0^{k-1}T} A \Phi_{1s}^{0^{k-1}} (2\varepsilon + 1) \right)^{-1} \left( \Phi_{1s}^{k-1T} A \Phi_{0s}^{0^{k-1}} y_s^k(0) + \Phi_{1s}^{0^{k-1}T} A \Phi_{0s}^{1^{k-1}} y_s^k(0) + \Phi_{1s}^{k-1T} A \Phi_{2s}^{0^{k-1}} + \Phi_{2s}^{1^{k-1}T} A \Phi_{1s}^{0^{k-1}} - \Phi_{1s}^{0^{k-1}T} A \Phi_{1s}^{1^{k-1}} \left( \Phi_{1s}^{0^{k-1}T} A \Phi_{1s}^{0^{k-1}} \right)^{-1} \times \right. \right.$$



$$\times \left\{ \Phi_{1s}^0{}^{k-1T} A \Phi_{0s}^0{}^{k-1} y_s^k(0) - \Phi_{1s}^0{}^{k-1T} A y_{Ns}^k + \Phi_{1s}^0{}^{k-1T} A \Phi_{2s}^0{}^{k-1} \right\}. \quad (15)$$

(16) və (17) ifadələrini  $\alpha^k \approx \alpha_0^k + \varepsilon \alpha_1^k$  ifadəsində nəzərə alsaq,  $\alpha^k$  parametrini təyin etmiş oluruq.

**Teorem 2.** Fərz edək ki,  $\alpha_0^k$  və  $\alpha_1^k$  parametrləri (14), (15) düsturları ilə təyin olunmuşdur.  $\alpha^k = \alpha_0^k + \varepsilon \alpha_1^k$  və  $\varepsilon$  - nun kiçik qiymətlərində  $y^k(i)$  funksiyası (11) münasibətindən tapılır.  $\lim_{k \rightarrow \infty} \alpha^k = \alpha$ ,  $\lim_{k \rightarrow \infty} y^k(i) = y(i)$  olarsa, onda  $\alpha$  parametri üçün  $y(i)$  funksiyası (8)-(9) məsələsinin (10) şərtini ödəyən həllidir.

**1.3-də** qaz-lift prosesi zamanı halqavari fəzada qaz və qaldırıcı boruda qaz və qaz-maye qarışığının hərəkəti aşağıdakı kimi iki qeyri-xətti birinci tərtib adi diferensial tənliklər sistemi vasitəsilə təsvir olunur:

$$\begin{cases} \dot{Q}_i = \frac{2a_i(\lambda_c)\rho_i F_i Q_i^2}{c_i^2 \rho_i^2 F_i^2 - Q_i^2}, & Q(0) = u, \\ \dot{P}_i = \frac{2a_i c_i^2 \rho_i^2 F_i^2 Q_i^2}{c_i^2 \rho_i^2 F_i^2 - Q_i^2}, & P(0) = P_0, i = 1, 2. \end{cases} \quad (16)$$

Burada (16) sisteminin birinci tənliyi onun ikinci tənliyindən asılı olmadığından, biz birinci tənliyi dəyişənlərinə ayırma üsulu ilə ayrıca həll edə bilərik.

İndi isə (16) sisteminin birinci tənliyinə uyğun qeyri-xətti fərq tənlikləri aşağıdakı kimi təsvir olunur:

$$Q(i+1) = Q(i) + h \frac{2a_1 \rho_1 F_1 Q^2(i)}{c_1^2 \rho_1^2 F_1^2 - Q^2(i)}, \quad 0 \leq i \leq N-1, \quad (17)$$

$$Q(i+1) = Q(i) + h \frac{2a_2 \rho_2 F_2 Q^2(i)}{c_2^2 \rho_2^2 F_2^2 - Q^2(i)}, \quad N \leq i \leq 2N-1 \quad (18)$$

$$Q(0) = u. \quad (19)$$

$N$  - nöqtəsində (17) və (18) tənlikləri bir-biri ilə aşağıdakı şərtlə bağlanırlar:

$$Q(N+1) = \gamma Q(N) + (-\delta_3(Q(N) - \delta_2)^2 + \delta_1)\bar{Q} \quad (20)$$

Tutaq ki, hər hansı  $Q^0(i)$  nominal trayektoriyası,  $a^0$  parametri seçilmişdir. Fərz edirik ki,  $(k-1)$ -ci iterasiya artıq yerinə yetirilmişdir. (17), (18) tənliklərini bu verilənlər ətrafında  $(Q - Q^0, a - a^0)$  tərtibinə qədər xəttləşdirsək,

$$Q^k(i+1) = A_1 Q^k(i) + B_1 a^k(i) + C_1, \quad 0 \leq i \leq N-1, \quad (21)$$

$$Q^k(i+1) = A_2 Q^k(i) + B_2 a^k(i) + C_2, \quad N \leq i \leq 2N-1, \quad (22)$$

alınan tənlikləri  $0 \leq i \leq N-1$ ,  $N \leq i \leq 2N-1$  intervallarının son uclarında aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\begin{aligned} Q^k(N) &= \Phi_1^{k-1} Q^k(0) + \Phi_{11}^{k-1} a^k + \Phi_{21}^{k-1}, \\ Q^k(2N) &= \Phi_2^{k-1} Q^k(N+1) + \Phi_{12}^{k-1} a^k + \Phi_{22}^{k-1}. \end{aligned} \quad (23)$$

Tutaq ki, müəyyən statistik verilənlər, yəni  $\tilde{Q}_s(0)$  (quyunun ağzında qazın həcmi) və  $\tilde{Q}_s(2N)$  (quyunun sonunda qaz-maye qarışığının həcmi (debit)) məlumdur.  $s$  – statistik müşahidələrin sayıdır.

$k$ -cı iterasiya üçün aşağıdakı kvadratik funksionalı quraq:

$$I^k = \sum_{s=1}^n [Q_s^k(2N) - \tilde{Q}_s^k(2N)]^2. \quad (24)$$

Daha sonra (23) ifadəsini (24) funksionalında nəzərə alıb, alınan funksionalın qradiyentini hesablayıb, sıfıra bərabər etsək, alırıq:

$$a^k = -\sum_{s=1}^n \left[ (\Phi_{12s}^{k-1})^2 \right]^{-1} \times \sum_{s=1}^n \left[ \Phi_{2s}^{k-1} \Phi_{12s}^{k-1} Q_s^k(N+1) + \Phi_{22s}^{k-1} \Phi_{12s}^{k-1} - \Phi_{12s}^{k-1} \tilde{Q}_s^k(2N) \right],$$

burada fərz olunur ki,  $\left[ (\Phi_{12s}^{k-1})^2 \right]^{-1}$  ifadəsi mövcuddur.

**Teorem 3.** Tutaq ki,  $a^k$  (24) funksionalına minimum verən parametrdir.  $Q^k(i)$  isə (21)-(22) tənliklər sisteminin həllidir.

$\lim_{k \rightarrow \infty} a^k = a$ ,  $\lim_{k \rightarrow \infty} Q^k(i) = Q(i)$  olarsa, onda  $Q(i)$  (17)-(19) sisteminin  $a$  parametrinə uyğun həllidir.

**1.4-də** obyektin hərəkət tənliyi sağ tərəfə kiçik parametr daxil olan qeyri-xətti diskret tənliklər sistemi vasitəsilə təsvir edilmişdir:

$$Q(i+1) = Q(i) + h \frac{2a_1 \rho_1 F_1 Q^2(i)}{c_1^2 \rho_1^2 F_1^2 \mu - Q^2(i)}, \quad 0 \leq i \leq N-1, \quad (25)$$

$$Q(i+1) = Q(i) + h \frac{2a_2 \rho_2 F_2 Q^2(i)}{c_2^2 \rho_2^2 F_2^2 \mu - Q^2(i)}, \quad N \leq i \leq 2N-1, \quad (26)$$

$$Q(0) = u, \quad (27)$$

burada  $h$ - kifayət qədər kiçik ədəddir.

$N$  - nöqtəsində (25) və (26) tənlikləri bir-biri ilə (20) şərti ilə bağlanırlar.

Məsələ (26) tənliyindən elə  $a_2$  vektorunun təyin olunmasından ibarətdir ki, bu tənliyin verilmiş (20) şərti daxilində həlləri  $\tilde{Q}_s(2N)$  statistik verilənlərə maksimum yaxın olsun.

Beləliklə, (25)-(27) məsələsinin həlli üçün kvadratik funksional qurularaq onu minimalaşdırmaq tələb olunur:

$$I = \sum_{s=1}^n [Q_s(2N) - \tilde{Q}_s(2N)]^2 \rightarrow \min. \quad (28)$$

Hər hansı  $Q^0(i)$  nominal trayektoriyası,  $a^0$  parametri seçilir və fərz edirik ki,  $(k-1)$ -ci iterasiya artıq yerinə yetirilmişdir. (25) və (26) tənliklərini və (20) şərtini bu verilənlər ətrafında  $(Q - Q^0, a - a^0)$  tərtibinə qədər xəttiləşdirək:

$$\begin{aligned} Q^k(i+1) &= (A_{10} + \mu A_{11})Q^k(i) + (B_{10} + \mu B_{11})a_1^k + \\ &+ (C_{10} + \mu C_{11}), \quad 0 \leq i \leq N-1 \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} Q^k(i+1) &= (A_{20} + \mu A_{21})Q^k(i) + (B_{20} + \mu B_{21})a_2^k + \\ &+ (C_{20} + \mu C_{21}), \quad N \leq i \leq 2N-1, \end{aligned} \quad (30)$$

(29), (30)-dan riyazi induksiya üsulundan istifadə edərək,  $Q^k(2N)$  həlli üçün aşağıdakı ifadəni almış olarıq:

$$Q^k(2N) = \left( \Phi_3^{0^{k-1}} + \mu \Phi_4^{0^{k-1}} \right) Q^k(N+1) + \left( \Phi_4^{0^{k-1}} + \mu \Phi_4^{1^{k-1}} \right) a_2^k + \left( \Phi_5^{0^{k-1}} + \mu \Phi_5^{1^{k-1}} \right) \quad (31)$$

$Q^k(2N)$  üçün aldığımız (31) ifadəsini (28) funksionalında nəzərə alıb, alınan funksionalının  $a_2^k$  parametrinə nəzərən qradiyentini tapırıq. Daha sonra  $a_2^k$  parametrinin  $a_2^k = a_{20}^k + \mu a_{21}^k$  ayrılışını bu qradiyentdə nəzərə alıb, onu sifıra bərabər edək. Onda alınan tənliyi  $a_{20}^k$  və  $a_{21}^k$  parametrlərinə nəzərən həll etsək alarıq:

$$a_{20}^k = - \sum_{s=1}^n \left( \left( \Phi_{4s}^{0^{k-1}} \right)^2 \right)^{-1} \left( \Phi_{3s}^{0^{k-1}} \Phi_{4s}^{0^{k-1}} Q_s^k(N+1) + \Phi_{5s}^{0^{k-1}} \Phi_{4s}^{0^{k-1}} - \tilde{Q}_s^k(2N) \Phi_{4s}^{0^{k-1}} \right) \quad (32)$$

$$a_{21}^k = - \sum_{s=1}^n \left( \left( \Phi_{4s}^{0^{k-1}} \right)^2 + 2\mu \Phi_{4s}^{1^{k-1}} \Phi_{4s}^{0^{k-1}} \right)^{-1} \times \left( \Phi_{3s}^{0^{k-1}} \Phi_{4s}^{1^{k-1}} Q_s^k(N+1) + \Phi_{5s}^{0^{k-1}} \Phi_{4s}^{1^{k-1}} - \tilde{Q}_s^k(2N) \Phi_{4s}^{1^{k-1}} + \Phi_{3s}^{1^{k-1}} \Phi_{4s}^{0^{k-1}} Q_s^k(N+1) + \Phi_{5s}^{1^{k-1}}(i) \Phi_{4s}^{0^{k-1}} - 2\Phi_{4s}^{1^{k-1}} \Phi_{4s}^{0^{k-1}} \left( \left( \Phi_{4s}^{0^{k-1}} \right)^2 \right)^{-1} \right) \times \left( \Phi_{3s}^{0^{k-1}} \Phi_{4s}^{0^{k-1}} Q_s^k(N+1) + \Phi_{5s}^{0^{k-1}} \Phi_{4s}^{0^{k-1}} - \tilde{Q}_s^k(2N) \Phi_{4s}^{0^{k-1}} \right) \quad (33)$$

Beləliklə,  $a_{20}^k$  və  $a_{21}^k$  parametrləri üçün aldığımız (32) və (33) ifadələrini  $a_2^k = a_{20}^k + \mu a_{21}^k$  ayrılışında nəzərə alsaq,  $a_2^k$  parametrini təyin etmiş olur.  $a_2^k$  parametrini

**Teorem 4.** Fərz edək ki,  $a_{20}^k$  və  $a_{21}^k$  parametrləri (32) və (33) münasibətləri ilə təyin olunur.  $\mu$  - nün kiçik qiymətləri üçün

$a_2^k = a_{20}^k + \mu a_{21}^k$  və  $Q^k(i)$  (29), (30) tənliklərindən tapılır.

$\lim_{k \rightarrow \infty} a_2^k = a_2$ ,  $\lim_{k \rightarrow \infty} Q^k(i) = Q(i)$  olarsa, onda  $a_2$  parametri üçün  $Q(i)$  funksiyası (20), (25)-(27) sisteminin həllidir.

**2.1-də** qazlift prosesinin zamana görə ortalaşmış riyazi modeli nəzərdən keçirilir. Burada obyektin hərəkət tənliyi aşağıdakı kimi sağ tərəfə kiçik parametr daxil olan qeyri-xətti fərqlər tənlikləri və başlanğıc şərti vasitəsilə verilmişdir:

$$Q(k+1) = Q(k) + h \frac{2a_1 \rho_1 F_1 Q^2(k)}{c_1^2 \rho_1^2 F_1^2 \mu - Q^2(k)}, 0 \leq k \leq N-1, \quad (34)$$

$$Q(k+1) = Q(k) + h \frac{2a_2 \rho_2 F_2 Q^2(k)}{c_2^2 \rho_2^2 F_2^2 \mu - Q^2(k)}, N \leq k \leq 2N-1, \quad (35)$$

$$Q(0) = u, \quad (36)$$

burada  $h$ - kifayət qədər kiçik ədəddir.

Tutaq ki, qazlift quyusunda borunun  $l$  uzunluğu  $m$  sayda  $[l_i, l_{i+1}]$ ,  $i=1, 2, \dots, m-1$  hissələrə bölünmüşdür və bu halda qaz-maye qarışığının hərəkəti hər bir  $[l_i, l_{i+1}]$  intervalında aşağıdakı kimi qeyri-xətti fərqlər tənlikləri vasitəsilə təsvir olunur:

$$Q(k+1) = Q(k) + h \frac{2a_{2,i} \rho_2 F_2 Q^2(k)}{c_2^2 \rho_2^2 F_2^2 \mu - Q^2(k)}, Q(N+1) = Q_N, \\ N \leq k \leq 2N-1, \quad (37)$$

burada  $a_{2,i} = \frac{g}{\omega_c} + \frac{\lambda_{2,i} \omega_c}{2D}$ ,  $i=1, 2, \dots, m-1$ ,  $\lambda_{2,i}$  - hər bir  $[l_i, l_{i+1}]$

intervalında hidravlik müqavimət əmsalıdır.

Tutaq ki,  $n$  sayda başlanğıc verilənlər məlumdur:

$$Q^j(N+1) = \tilde{Q}_N^j, \quad j = \overline{1, n}. \quad (38)$$

$\lambda_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) hidravlik müqavimət əmsalının hər bir  $[l_i, l_{i+1}]$  intervalında elə qiymətini tapmaq tələb olunur ki, qaldırıcı borunun sonunda (37) tənliyinin  $Q(2N) = Q_{2N}$  həlli ilə (38) başlanğıc veriləninə uyğun son verilən qiymət

$$Q^j(2N) = \tilde{Q}_{2N}^j, \quad j = \overline{1, n} \quad (39)$$

arasındaki fərq minimum olsun.

Ən kiçik kvadratlar üsulundan istifadə edərək

$$I(\lambda_1, \dots, \lambda_m) = \sum_{j=1}^n [Q^j(2N) - \tilde{Q}_{2N}^j]^2 + \sum_{i=1}^m \alpha a_{2,i}^2 \rightarrow \min \quad (40)$$

kvadratik funksional qurulur, burada  $\tilde{Q}_{2N}^j$  başlanğıc veriləninə

uyğun verilmiş statistik qiymət,  $Q^j(2N)$  (37) tənliyinin həllidir.

(37) tənliyinin  $O(\mu)$  tərtibdən həlli aşağıdakı şəkildə olar:

$$Q(k+1) = Q(k) - 2ha_{2,i}\rho_2 F_2 - h \frac{2a_{2,i}c_2^2\rho_2^3 F_2^3}{Q^2(k)} \mu. \quad (41)$$

(41) tənliyinin  $l_1, l_2, l_3$  nöqtələrində qiymətini tapıb, riyazi induksiya üsulundan istifadə etsək,  $Q(l_m) = Q(2N)$  üçün birinci yaxınlaşmada

aldığımız asimptotik ayrılışı (40) funksionalında nəzərə alıb,  $a_{2,i}$

parametrinə nəzərən qradiyentini tapırıq və bu qradiyenti sifıra bərabər edib aşağıdakı kimi qeyri-xətti cəbri tənliklər sistemini alarıq:

$$\begin{aligned} \frac{\partial I}{\partial a_{2i}} = & \sum_{j=1}^n \left\{ -2 \left[ Q^j(0) - \tilde{Q}_{2N}^j - \sum_{i=1}^m 2a_{2,i}\rho_2 F_2 l_i \right] 2\rho_2 F_2 l_i + 2\alpha a_{2,i} + \right. \\ & + \left. \left( 4\rho_2 F_2 l_i \left( \frac{2a_{2,i}c_2^2\rho_2^3 F_2^3 l_i}{(Q^j(0))^2} + \sum_{i=2}^m \frac{2a_{2,i}c_2^2\rho_2^3 F_2^3 l_i}{\left[ Q^j(0) - \sum_{s=1}^{i-1} 2l_s a_{2,s} \rho_2 F_2 \right]^2} \right) - \right. \right. \\ & \left. \left. - 2 \left[ Q^j(0) - \tilde{Q}_{2N}^j - \sum_{i=1}^m 2a_{2,i}\rho_2 F_2 l_i \right] \sum_{i=2}^m \frac{2c_2^2\rho_2^3 F_2^3 l_i}{\left[ Q^j(0) - \sum_{s=1}^{i-1} 2l_s a_{2,s} \rho_2 F_2 \right]^2} \right] \mu \right\} = \end{aligned}$$

$$= A_i(a_{2,1}, a_{2,2}, \dots, a_{2,m}) + \mu B_i(a_{2,1}, a_{2,2}, \dots, a_{2,m}) = 0, \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (42)$$

$a_{2,i}$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) parametrisinin aşağıdakı şəkildə ayrılışını daxil edək:

$$a_{2,i} = a_{2,i}^0 + \mu a_{2,i}^1. \quad (43)$$

Bu ayrılışı  $A_i(a_{2,1}, a_{2,2}, \dots, a_{2,m})$ ,  $B_i(a_{2,1}, a_{2,2}, \dots, a_{2,m})$  -nin ifadələrində nəzərə alıb, (42) tənliyində yerinə yazsaq,  $a_{2,i}$ ,  $i = \overline{1, m}$  parametrinə nəzərən xətti cəbri tənliklər sistemini alarıq:

$$A_i^0(a_{2,1}^0, a_{2,2}^0, \dots, a_{2,m}^0) + \mu(A_i^1(a_{2,1}^1, a_{2,2}^1, \dots, a_{2,m}^1) + B_i^0(a_{2,1}^0, a_{2,2}^0, \dots, a_{2,m}^0)) = 0. \quad (44)$$

Asanlıqla görmək olar ki, (42) tənliyi ixtiyari  $\mu$  üçün ödəndiyindən (54)-dən alarıq:

$$\begin{cases} A_i^0(a_{2,1}^0, a_{2,2}^0, \dots, a_{2,m}^0) = 0 \\ A_i^1(a_{2,1}^1, a_{2,2}^1, \dots, a_{2,m}^1) + B_i^0(a_{2,1}^0, a_{2,2}^0, \dots, a_{2,m}^0) = 0, \quad i = \overline{1, m} \end{cases}. \quad (45)$$

(45) sisteminin birinci tənliyindən  $a_{2,i}^0$ ,  $i = \overline{1, m}$  parametrisinin tapılması üçün aşağıdakı kimi xətti cəbri tənliklər sistemini alarıq:

$$\begin{bmatrix} \rho_2 F_2 l_1 + \frac{\alpha}{n \rho_2 F_2 l_1} & \rho_2 F_2 l_2 & \dots & \rho_2 F_2 l_m \\ \rho_2 F_2 l_1 & \rho_2 F_2 l_2 + \frac{\alpha}{n \rho_2 F_2 l_2} & \dots & \rho_2 F_2 l_m \\ & & \dots & \\ \rho_2 F_2 l_1 & \rho_2 F_2 l_2 & \dots & \rho_2 F_2 l_m + \frac{\alpha}{n \rho_2 F_2 l_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{2,1}^0 \\ a_{2,2}^0 \\ \dots \\ a_{2,n}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (Q^j(0) - \tilde{Q}_{2N}^j) \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (Q^j(0) - \tilde{Q}_{2N}^j) \\ \dots \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (Q^j(0) - \tilde{Q}_{2N}^j) \end{bmatrix} \quad (46)$$

(45) sisteminin ikinci tənliyindən  $a_{2,i}^1$ ,  $i = \overline{1, m}$  parametrisinin tapılması üçün aşağıdakı kimi xətti cəbri tənliklər sistemini alarıq:

$$\begin{bmatrix} 8\rho_2^2 F_2^2 l_1^2 - 2\alpha & 8\rho_2^2 F_2^2 l_2^2 & \dots & 8\rho_2^2 F_2^2 l_m^2 \\ 8\rho_2^2 F_2^2 l_1^2 & 8\rho_2^2 F_2^2 l_2^2 - 2\alpha & \dots & 8\rho_2^2 F_2^2 l_m^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 8\rho_2^2 F_2^2 l_1^2 & 8\rho_2^2 F_2^2 l_2^2 & \dots & 8\rho_2^2 F_2^2 l_m^2 - 2\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{2,1}^1 \\ a_{2,2}^1 \\ \dots \\ a_{2,n}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1^0(a_{2,1}^0, \dots, a_{2,m}^0) \\ B_2^0(a_{2,1}^0, \dots, a_{2,m}^0) \\ \dots \\ B_m^0(a_{2,1}^0, \dots, a_{2,m}^0) \end{bmatrix} \quad (47)$$

Daha sonra, (43)-dən istifadə edərək, kiçik  $\mu$  parametrinə nəzərən birinci yaxınlaşmada  $a_{2,i}$ ,  $i = \overline{1, m}$  parametri tapılır. Nəhayət,  $a_{2,i}$ ,  $i = \overline{1, m}$ -nin ifadəsindən istifadə edərək,  $\lambda_{2,i}$ ,  $i = \overline{1, m}$  hidravlik müqavimət əmsalını tapırıq.

**Teorem 5.** Tutaq ki,  $a_{2,i}^0$ ,  $a_{2,i}^1$ ,  $i = \overline{1, m}$  parametrləri uyğun olaraq (46), (47) cəbri tənliklər sisteminin həllidir. Onda (43) şəklində tapılan və qaldırıcının müxtəlif hissələrindəki  $a_{2,i}$ ,  $i = \overline{1, m}$  hidravlik müqavimət əmsalları (34)-(36) məsələsinin (40) funksionalına minimum verir.

İkinci yarımfəsildə qaldırıcı borunun uzunluğu iki müxtəlif hissəyə bölünərək hər iki hissədə hidravlik müqavimət əmsalının təyini üçün identifikasiya məsələsinə baxılır və ən kiçik kvadratlar üsulundan istifadə edərək, aşağıdakı funksional qurulur:

$$I(a_{2,1}, a_{2,2}) = \sum_{j=1}^n [Q_{a_{2,1}, a_{2,2}}^j(l_2) - \tilde{Q}_{2N}^j]^2 + \beta a_{2,1}^2 + \beta a_{2,2}^2 \rightarrow \min,$$

Daha sonra isə 2.1-ə analogi olaraq davam etsək,  $a_{2,1} = a_{2,1}^0 + \mu a_{2,1}^1$ ,  $a_{2,2} = a_{2,2}^0 + \mu a_{2,2}^1$  parametrlərinin tapılması üçün aşağıdakı kimi xətti cəbri tənliklər sistemini alırıq:

$$\begin{bmatrix} (4l_1\rho_2 F_2 + \frac{\beta}{nl_1\rho_2 F_2}) & 4l_2\rho_2 F_2 \\ 4l_1\rho_2 F_2 & (4l_2\rho_2 F_2 + \frac{\beta}{nl_2\rho_2 F_2}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{2,1}^0 \\ a_{2,2}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n [Q^j(l_0) - \tilde{Q}_2^j] \\ \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n [Q^j(l_0) - \tilde{Q}_2^j] \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -(8nl_1^2\rho_2^2 F_2^2 + 2\beta) & -8nl_1 l_2 \rho_2^2 F_2^2 \\ -8nl_1 l_2 \rho_2^2 F_2^2 & -(8nl_2^2\rho_2^2 F_2^2 + 2\beta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{2,1}^1 \\ a_{2,2}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1^0(a_{21}^0, a_{22}^0) \\ B_2^0(a_{21}^0, a_{22}^0) \end{bmatrix}$$



Nəhayət,  $a_{2,1}$ ,  $a_{2,2}$ -dən istifadə edərək,  $\lambda_{2,i}$ ,  $i = \overline{1,2}$  hidravlik müqavimət əmsalını tapırıq.

**3.1-də** rəqsi proses Nyuton mayesinin daxilində olduqda kəsr tərtib törəmənin təyini məsələsinə baxılır. Əvvəlcə maye dempferli rəqsi proses sabit əmsallı, kəsr tərtib xətti adi diferensial tənliklə təsvir olunur:

$$\ddot{y}(t) + aD^\alpha y(t) + by(t) = f(t) \quad (t \geq t_0 > 0) \quad (48)$$

$$y(t_0) = y_0, y'(t_0) = y_1, \alpha \in (1,2), \quad (49)$$

burada  $aD^\alpha y(t)$  ifadəsi kəsr tərtib törəməli maye dempferin təsirini əks etdirən riyazi ifadədir,  $\alpha$ -kəsr ədəddir.

Sonra isə kəsr tərtib törəmənin Riman-Liuvill mənada tərifinin köməyi ilə verilmiş kəsr tərtib xətti adi diferensial tənlik ikinci növ Volterra inteqral tənliyinə gətirilir:

$$y(t) + \int_{t_0}^t K_\alpha(t-z)y(z)dz = F(t), \quad (50)$$

Verilmiş məsələnin həlli üçün (43) tənliyinin diskretləşdirilməsi məsələsini nəzərdən keçirək. Tutaq ki, (41) tənliyi  $[t_0, l]$  intervalında təyin olunub, bu intervalı  $h$  sabit addımı ilə  $n$  hissəyə bölək, yəni  $t_k = t_0 + kh$ ,  $t_n = l$  və (43) inteqral tənliyini sonlu cəm ilə əvəz etdikdə verilmiş  $y_1$  üçün sonlu  $y_n$  həlli aşağıdakı ifadə vasitəsilə təyin olunur.

$$y_n = -K_\alpha(t_n - t_1)y_1h - K_\alpha(t_n - t_2)y_2h - \dots - K_\alpha(t_n - t_{n-1})y_{n-1}h + F_n \quad (51)$$

$\alpha \in (1,2)$  parametrinin tapılması üçün  $y_{n,st}^i$  ( $i = \overline{1, k-1}$ )-i statistik verilən kimi qəbul edib aşağıdakı kvadratik funksionalı qurulur:

$$J = \sum_{i=1}^{k-1} (y_n^i - y_{n,st}^i)^2 \rightarrow \min. \quad (52)$$

$y_n$  həllini (45) funksionalında nəzərə alıb və alınan funksionalın  $\frac{\partial J}{\partial \alpha}$  törəməsini hesablayıb, sıfıra bərabər etsək, alarıq:

$$\begin{aligned} \frac{\partial J}{\partial \alpha} = & \sum_{i=1}^{k-1} \left( -\sum_{m=0}^{n-1} K_{\alpha}(t_n - t_m) y_m^i h + F_n - y_n^i \right) \times \\ & \times \sum_{m=0}^{n-1} a \frac{-(t_n - t_m)^{1-\alpha} \ln(t_n - t_m) \Gamma(2-\alpha) + (t_n - t_m)^{1-\alpha} \int_0^{\infty} e^{-t} t^{1-\alpha} \ln t dt}{\Gamma^2(2-\alpha)} \times \\ & \times y_m^i h = 0, \end{aligned} \quad (53)$$

(46) cəbri tənliyini bu və ya digər üsulla həll etsək,  $\alpha$  parametrini almış olarıq və verilmiş məsələnin həlli üçün hesablama alqoritmini verə bilirik. Praktikadan gələn misal üzərində göstərilir ki,  $y_n^i$ -nin informativliyindən asılı olaraq  $\alpha$  tərtibi uyğun olaraq (0,1) və ya (1,2) intervalına daxil olur. Kökləri tapmaq alqoritmi bir seqmenti yarıya bölməklə həyata keçirilir.

**3.2-də** fərz olunur ki,  $m$  kütləsinin qiyməti kifayət qədər böyükdür. Bu halda birinci yaxınlaşmada kütlənin tərs qiyməti üçün kiçik parametr qəbul olunur və birinci yaxınlaşmada  $f \equiv 0$  olduqda (41) tənliyinin həllini asimptotik şəkildə təsvir edək:

$$\ddot{y}(t) + \varepsilon a \dot{y}(t) + by(t) = 0. \quad (54)$$

Onda  $y(t)$ -nin təyini üçün aşağıdakı inteqral tənliyini alarıq:

$$y(t) + \varepsilon \int_{t_0}^t \left[ a \frac{(t-z)^{1-\alpha}}{(1-\alpha)!} + b \cdot (t-z) \right] y(z) dz = y_1(t-t_0). \quad (55)$$

Beləliklə, (48) tənliyinin  $y(t_0) = 0$ ,  $y'(t_0) = y_1$  başlangıç şərtləri daxilində həlli birinci yaxınlaşmada aşağıdakı formaya malikdir:

$$y(t, \varepsilon) = y_1(t-t_0) + \varepsilon y_1 \left[ -\frac{a(t-t_0)^{3-\alpha}}{(3-\alpha)!} + \frac{5b(t-t_0)^3}{6} \right]. \quad (56)$$

Tutaq ki, müxtəlif başlanğıc  $y'_i(t_0) = y_{li}$ , ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) sürətləri uyğun olaraq sonlu  $y_i$  qiymətlərinə malikdir və intervalın sonunda  $y(T) = y_T$ . Tənliyin  $y(t_0) = 0$ ,  $y'(t_0) = y_1$  başlanğıc şərtləri daxilində həllini  $y(t, \alpha, y_{li})$  ilə işarə edək.  $y$  və  $y_{li}$  statistik verilənlər kimi qəbul edilir. Onda (56) ifadəsini aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$y(T, \alpha, y, \varepsilon) = y_{li}(t - t_0) + \varepsilon y_{li} \left[ \frac{a(T - t_0)^{3-\alpha}}{(3-\alpha)!} - \frac{5b(T - t_0)^3}{6} \right]. \quad (57)$$

Beləliklə, aşağıdakı kvadratik funksional qurulur:

$$I = \sum_{i=1}^k (y(t, \alpha, y_{li}) - y_{Ti})^2. \quad (58)$$

Elə  $\alpha = \alpha^*$  tapmaq tələb olunur ki, (52) funksionalı minimum qiymət alsın. Bunun üçün (52) funksionalının  $\alpha$ -ya nəzərən törəməsini hesablayıb, sifıra bərabər etsək,  $\alpha$  parametrinin tapılması üçün alırıq:

$$\frac{a(T - t_0)^{3-\alpha}}{\Gamma(2-\alpha)} - 5b \frac{(T - t_0)^3}{6} + \frac{1}{\varepsilon} \left[ -(T - t_0) + \frac{y_{T1}y_{11} + \dots + y_{Tk}y_{lk}}{y_{11}^2 + \dots + y_{lk}^2} \right] = 0. \quad (59)$$

**3.3-də** işə müntəzəm şəbəkələrin köməyi ilə diskret sistemə daxil olan və uyğun xətti cəbri tənliklər sistemindən təyin olunan, həyəcanlanmanı göstərən Rosser modelini xarakterizə edən aşağıdakı kimi verilən fərq tənliyinə baxılır:

$$\begin{bmatrix} P_i^{j+1} \\ Q_{i+1}^j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}(\lambda) & A_{12}(\lambda) \\ A_{21}(\lambda) & A_{22}(\lambda) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_i^j \\ Q_i^j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_i^j \\ X_i^j \end{bmatrix}. \quad (60)$$

Daha sonra (60) tənliyindən istifadə etsək, aşağıdakı ifadələri alırıq:

$$\begin{cases} P_i^{j+1} = A_{11}(\lambda)P_i^j + A_{12}(\lambda)Q_i^j + B_{11}W_i^j + B_{12}X_i^j \\ Q_{i+1}^j = A_{21}(\lambda)P_i^j + A_{22}(\lambda)Q_i^j + B_{21}W_i^j + B_{22}X_i^j. \end{cases}$$

Aşağıdakı kimi kvadratik funksionallara baxılır:

$$J(\lambda) = \sum_{i=1}^m (P(i, n) - \bar{P}(i, n))^2, \quad I(\lambda) = \sum_{j=1}^m (Q(m, j) - \bar{Q}(m, j))^2.$$

Daha sonra  $\frac{dI(\lambda)}{d\lambda}$  qradiyentini təyin edib, sifıra bərabər edib həll etsək, tələb olunan hidravlik müqavimət əmsalını almış olarıq:

$$\begin{aligned} \frac{dI(\lambda)}{d\lambda} = & 2 \sum_{j=1}^n \left[ (1 + A_0(\lambda))^{j-1} (1 + A_0(\lambda) P_m^0 - A_0(\lambda) Q_m^0) + \right. \\ & + \sum_{k=0}^{j-1} f_{mk} - A_0(\lambda) g_{m-1k} - A_0(\lambda) (1 - A_0(\lambda)) Q_{m-1}^k(\lambda) - \\ & \quad \left. - A_0^2(\lambda) P_{m-1}^k(\lambda) (1 + A_0(\lambda))^{j-1-k} + \right. \\ & \quad \left. + (1 - A_0(\lambda)) Q_{m-1}^j(\lambda) + g_{m-1j} - \bar{Q}(m, j) \right] \cdot \frac{h\omega}{2FD} P_{m-1}^j(\lambda) + \\ & + A_0(\lambda) \frac{dP_{m-1}^j(\lambda)}{d\lambda} - \frac{h\omega}{2FD} Q_{m-1}^j(\lambda) + (1 - A_0(\lambda)) \frac{dQ_{m-1}^j(\lambda)}{d\lambda}. \end{aligned}$$

## NƏTİCƏ

Dissertasiya işində aparılan tədqiqatları yekunlaşdıraraq əsas nəticələr olaraq aşağıdakıları qeyd etmək olar:

1. Hidravlik müqavimət əmsalının tapılması üçün qaldırıcı boruda yeni effektiv üsul təklif olunur.
2. Qaldırıcı boru kifayət qədər uzun olduqda hər bir müxtəlif hissələrdə hidravlik müqavimət əmsalının təyini üçün yeni alqoritm təklif olunur.
3. Yük kifayət qədər böyük olduqda onun tərsi kiçik parametrlər kimi qəbul edilərək kəsr tərtibin təyini üçün asimptotik üsul verilir.
4. Ştanq nasos qurğularında neft çıxarma prosesində meyl demfer qəbul edilərək obyektin hərəkəti kəsr tərtib adı diferensial tənliklərlə yazılaraq kəsr tərtibin təyini üçün tərs məsələ həll olunur.
5. Qaz-lift prosesi üçün diskret Rosser modeli qurulub və diskret Rosser modeli vasitəsi ilə hidravlik müqavimət əmsalı tapılır.

## **Dissertasiya işi üzrə müəllifin dərc olunmuş elmi işlərinin siyahısı:**

1. Алиев, Ф.А. Об одной задаче идентификации по определению параметров динамических систем / Ф.А.Алиев, Н.А.Исмаилов, А.А.Намазов [и др.] // Proceeding of IAM, - Баку: -2014. V.3, №2, - с.139-151.
2. Aliev, F.A., Ismailov, N.A., Gasimov, Y.S., Namazov, A.A., Rajabov, M.F. A method to solving some identification problem// The 5th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, - Baku: -27 august -29 august, -2015, - p.237-239.
3. Aliev, F.A., Ismailov, N.A., Namazov, A.A. Asymptotic method for finding the coefficient of hydraulic resistance in lifting of fluid on tubing // - Novosibirsk: Journal of Inverse and Ill-posed Problems, - 2015. Volume 23, Issue 5, - p. 511–518.
4. Baigereyev, D. On an Identification Problem on the Determination of the Parameters of the Dynamic System / D.Baigereyev, N.A.Ismailov, A.A.Namazov [et.al.] // Mathematical Problems in Engineering, -2015. V.2015, -8p.
5. Aliev, F.A., Ismailov, N.A., Namazov, A.A. Algorithm for calculating the parameters of formation of gas-liquid mixture in the shoe of gas lift well // -Baku: Applied and Computational Mathematics, - 2016, V.15, № 3, - p.370-376.
6. Алиев, Ф.А. Алгоритм вычисления параметров образования газожидкостной смеси на башмаке газлифтной скважины / Ф.А.Алиев, Н.А.Исмаилов, А.А.Намазов // Proceeding of IAM, - Баку: -2016. V.5, №1, - с.123-132.
7. Алиев, Ф.А. Асимптотический метод решения задачи идентификации для нелинейных динамических систем / Ф.А.Алиев, Н.А.Исмаилов, А.А.Намазов [и др.] // Proceeding of IAM, - Баку: -2016. V.5, №1, - с.84-97.
8. Гаджиева, Н.С. Алгоритм решения задачи идентификации для определения параметров дискретных динамических

систем / Н.С.Гаджиева, А.А.Намазов, И.М.Аскеров, [и др.] // Proceeding of IAM, - Баку: -2016. V.5, №2, - с.235-244.

9. Namazov, A.A. Qazlift prosesində diskret Rosser modeli vasitəsilə hidravlik müqavimət əmsalinin təyin olunması // Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya, I Beynəlxalq elmi-praktiki konfransın materialları, - Bakı, - 18-20 dekabr, 2019, III hissə, s. 39-41.

10. Алиев, Ф.А. Асимптотический метод определения коэффициента гидравлического сопротивления на разных участках трубопровода при добыче нефти / Ф.А.Алиев, Н.А.Исмаилов, А.А.Намазов [и др.] // Proceedings of IAM, - Баку: - 2017. V.6, №1, - с. 3-15.

11. Aliev, F.A. Asymptotic Method for Solution of Identification Problem of the Nonlinear Dynamic Systems / F.A.Aliev, N.A.Ismailov, A.A.Namazov [et.al.] // -Serbia: Filomat, -2018. Vol.32, N.3, - p.1025-1033

12. Aliev, F.A., Hajiyeva, N.S., Namazov A.A., Huseynova, N.S. Asymptotical method to solution of identification problem for defining the parameters of discrete dynamical system in gas-lift process // 6th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA), - Baku: -11 july – 13july, - 2018, VOL I, - p.55-57.

13. Aliev, F.A. Identification Problem for Determining the Parameters of a Discrete Dynamic System/ F.A.Aliev, N.S.Hajieva, A.A.Namazov [et.al.] // International Applied Mechanics, -Kiev: - 2019. V.55, №1, - p.110-116

14. Алиев, Ф.А., Муталлимов, М.М., Намазов, А.А. Метод идентификации для определения порядка дробной производной колебательной системы // - Баку: Proceedings of IAM, -2019. V.8, №1, - с.3-13.

15. Намазов, А.А. Вычислительный алгоритм определения порядка дробных производных колебательных систем // - Баку: Proceedings of IAM, -2019. V.8, №2, - с.202-210.

16. Намазов, А.А. Определение коэффициента гидравлического сопротивления с помощью модели россера при

газифтном процессе // - Баку: Proceedings of IAM, -2019. V.8, №1, - с.99-105.

17. Aliev, F.A. Algorithm for Solving the Identification Problem for Determining the Fractional-Order Derivative of an Oscillatory System / F.A.Aliev, N.A.Aliev, Mutallimov M.M. [et.al.] // Applied and Computational Mathematics, -Baku: -2020. V.19, №3, -p.415-422.

18. Aliev, F.A., Hajiyeva, N.S., Namazov, A.A., Safarova, N.A. Asymptotical method to solution the identification problem for determining the parameters of discrete dynamical systems // The 7th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, - Baku: -26 august -28 august, -2020, - p.92-94.

19. Namazov, A.A., Hajiyeva, N.S., Ismailov, N.A. Determination of the coefficient of hydraulic resistance by roesser model in discrete dynamical systems // 7th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA), - Baku -26 august-28 august - 2020, VOL II, - p.287-289.



Dissertasiyanın müdafiəsi **30 iyun 2022-ci il** tarixində **14<sup>00</sup>-da** AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.04 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

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

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat **27 may 2022-ci il** tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 13.05.2022  
Kağızın formatı: 60x84 1/16  
Həcm: 36333  
Tiraj: 100